



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ HAVA
KOLLEKTÖRÜNÜN HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)
MODELLEMESİ VE DENEYSEL ANALİZİ

Farman ALIYEV

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran -2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ HAVA KOLLEKTÖRÜNÜN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) MODELLEMESİ VE DENEYSEL ANALİZİ

Farman ALIYEV

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Mahmut Sami BÜKER

2024, 70 Sayfa

Jüri

**Doç.Dr. Mahmut Sami BÜKER
Doç.Dr. Mustafa Tahir AKKOYUNLU
Doç.Dr. Muhammet Hüseyin Çetin**

Bu tezde, gelecekte dünyamızı bekleyen küresel enerji krizinin çözüm yolu olarak görülen yenilenebilir enerji teknolojilerinden birisi olan parabolik oluklu güneş kollektörünün dış ortam şartlarında deneysel çalışması ve ANSYS programında nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Parabolik oluklu güneş kollektörü sisteminin dış ortam şartlarındaki termal performansını ve verimliliğini incelemek adına yapılan deneysel testlerden elde edilen veriler incelenerek enerji, ekserji ve termo-hidrolik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Güneş ışınları parabolik ayna aracılığıyla helezonlu soğurucu tüpe odaklanarak soğurucu tüpten geçen havayı ısıtmaktadır. Kollektörün güneş ışınlarının yoğun olduğu 13:00-14:00 saatleri arasında daha yüksek verim gösterdiği tespit edilmiş ve özellikle en yüksek sistem veriminin saat 13:00 'da %65 olduğu bulunmuştur.

Deneysel çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda sistemin bilgisayar ortamında ANSYS Fluent modülü ile HAD simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışması doğrultusunda elde edilen sonuçlar ile deneysel analiz sonuçlarından elde edilen bulguların %6,71 hata oranı ile birbiriyle uyduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deneysel çalışma, HAD, Parabolik oluklu güneş kollektörü, Soğurucu tüp

ABSTRACT

MS THESIS

**COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) MODELING AND
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PARABOLIC TROUGH SOLAR AIR
COLLECTOR**

FARMAN ALIYEV

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ENGINEERING SYSTEMS ENERGY
Advisor: Assoc. Prof. Mahmut Sami BÜKER**

2024, 70 Pages

Jury

Assoc. Prof. Mahmut Sami BÜKER

Assoc. Prof. Mustafa Tahir AKKOYUNLU

Assoc. Prof. Muhammet Hüseyin ÇETİN

In this study, an experimental study and numerical analysis of the parabolic trough solar collector, which is one of the renewable energy technologies seen as a solution to the global energy crisis, has been carried out under outdoor conditions and numerical analysis in ANSYS program. Experimental tests have been carried out to investigate the thermal performance and efficiency of the parabolic trough solar collector system under outdoor conditions, and energy, exergy and thermo-hydraulic analyses have been carried out by analysing the data obtained.

The incoming solar radiation are focused on the coiled absorber tube through a parabolic mirror and heat the air passing through the absorber tube. It was found that the collector shows higher efficiency between 13:00-14:00 hours when the sun rays are intense and especially the highest system efficiency was found to be 65% at 13:00h.

In line with the data obtained from the experimental study, CFD simulation study of the system was carried out with ANSYS Fluent module in computer environment. The results obtained from the simulation study and the findings obtained from the experimental analysis results were found to be consistent with each other with an error rate of 6,71%.

Keywords: Absorber tube, CFD, Experimental study, Parabolic trough solar collector

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında ve deneysel çalışmalarda sağladıkları olanaklar ve imkanlar için Necmettin Erbakan Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve bana yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Mahmut Sami BÜKER'e teşekkürlerimi bildirmek istiyorum. Ayrıca Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü başkanı Prof.Dr. Şerife Yurdağül Kumcu'ya da gösterdikleri ilgiden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde her zaman benim yanımda olan maddi, manevi desteklerini esirgemeyen babam Vugar Aliyev'e ve annem Esmiralda Aliyeva'ya, sonsuz desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Farman ALIYEV
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş enerjisi yoğunlaştırıcı sistemleri	4
1.1.1. Merkezi kule tipi yoğunlaştırıcı sistemler	5
1.1.2. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler	6
1.1.3. Fresnel mercekle tip yoğunlaştırıcı sistemler	7
1.1.4. Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı sistemler	7
1.2. Tezin amacı ve İçeriği.....	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Deney düzeneği.....	15
3.1.2. Deney düzeneğinde kullanılan sistemler	17
3.1.3. Sistemi oluşturan bileşenler	18
3.1.4. Deney düzeneğinde kullanılan veri toplama ekipmanları.....	19
3.1.4.1. Veri kayıt cihazı.....	19
3.1.4.2. Anemometre.....	20
3.1.4.3. Piranometre	21
3.1.4.4. Termal kamera	22
3.1.4.5. Sıcaklık sensörü	23
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Enerji analizi	24
3.2.2. Termal-hidrolik analizi	25
3.2.3. Ekserji analizi	26
3.2.4. Optik analiz.....	27
3.2.5. Sayısal model.....	27
3.3. Simülasyon.....	28
3.3.1. Geometri	29
3.3.2. Sonlu elemanlara bölme işlemleri.....	31
3.3.3. Sınır şartlarının belirlenmesi.....	34
3.3.4. Çözüm.....	34
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	35

4.1. Sistemin sıcaklık değişimleri	35
4.1.2. Parabolik yansıtıcının sıcaklık değişimleri	36
4.1.3. Enerji analizi	38
4.1.4. Termal-hidrolik analizi	39
4.1.5. Ekserji analizi	40
4.1.6. Optik analiz.....	41
4.2. Simülasyon Sonuçları	43
4.2.1. 08:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	43
4.2.2. 09:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	45
4.2.3. 10:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	46
4.2.4. 11:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	48
4.2.5. 12:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	50
4.2.6. 13:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	52
4.2.7. 14:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	54
4.2.8. 15:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	56
4.2.9. 16:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu.....	58
4.3 Konseptin önceki çalışmalarla doğrulanması	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
5.1. Sonuçlar	61
5.2. Öneriler	63
6. KAYNAKLAR	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
\dot{Q}_u	: Faydalı enerji
\dot{m}	: Kütlesel debi
C_p	: Özgül ısı
T	: Sıcaklık
τ	: Zaman
DNI	: Direkt ışınım
D	: Hidrolik çap
P	: Basınç
f	: Sürtünme faktörü
L	: Uzunluk
W	: Watt
W/m^2	: Watt/metrekare
\dot{Q}_{net}	: Net enerji
η	: Verim
v	: Hız
MW	: Megawatt
GW	: Gigawatt
m	: Metre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
m^3/h	: Metreküp/saat
mm	: Milimetre
ρ	: Yoğunluk
\dot{E}_u	: Ekserji kazancı
Δs	: Entropi farkı
ΔP	: Basınç farkı
R_g	: İdeal gaz sabiti
\dot{E}_s	: Toplam ekserji
kg/s	: Kilogram /saat

kW : Kilowatt

Kısaltmalar

BİTAM : Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi

GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

HAD : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Al₂O₃ : Alüminyum trioksit

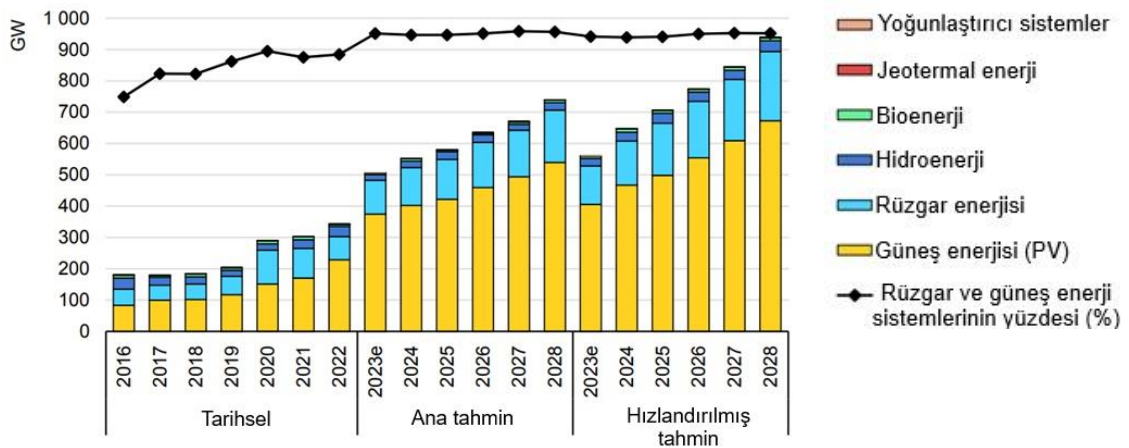
CO₂ : Karbondioksit

Fe₃O₄ : Demir oksit

1. GİRİŞ

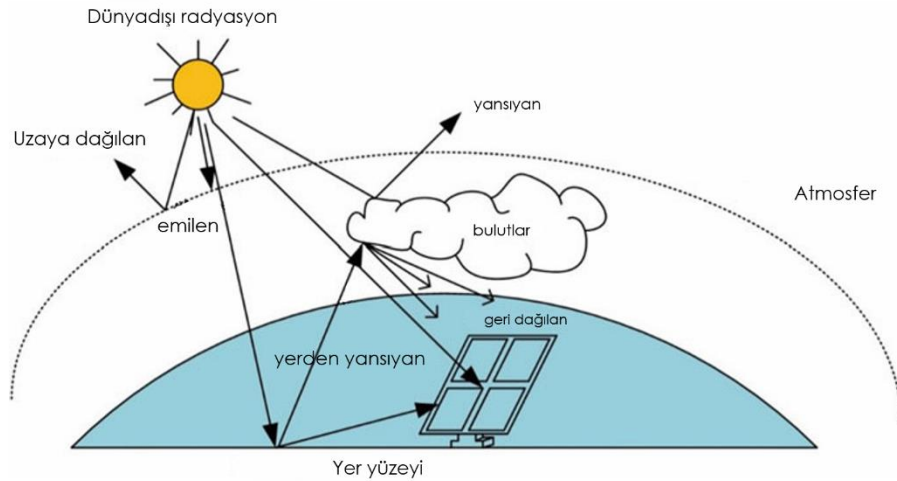
Çeşitli salgın hastalık ve savaşların yaşandığı 21.Yüzyıl dünyasında gelişmiş ülkelerin gelecek plan ve politikalarını şekillendiren en önemli faktörlerden birisi enerji bağımsızlığıdır. Enerji bağımsızlığına ulaşan ülkeler istikrarlı şekilde kendi hedeflerine ulaşarak, kalkınma ve gelişim planlarını gerçekleştirmektedirler. İnsanların temel ihtiyaçlarından birisi olan enerjiye olan talep, dünya üzerinde gözlemlenen nüfus artışına bağlı olarak her geçen gün daha da artmaktadır. Gittikçe kalabalıklaşan dünyamızda sürdürülebilir yaşamı devam ettirmek, doğayı tahrip etmeden çevreyi korumak, enerji sektörünün başlıca sorumluluklarından birisidir. Enerji talebini karşılama güdüsü, zaman zaman bu gibi faktörlerin önüne geçse de günümüz dünyasında bu konuda daha çevreci çözümler ve teknolojiler arayışı her zamankinden daha hızlı bir şekilde sürmektedir. Fosil kaynakların enerji üretiminde kullanılmasında ortaya çıkan iklim değişikliği gibi çevresel sorunlar ve bu kaynakların tükeneceği gerçeği, insanlığı daha çevreci ve elde edilmesi kolay çözüm yolları için arayışa itmiştir.

Dünya genelinde enerji tüketimi giderek daha da artsa da enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı ve bu teknolojilerin mevcut potansiyelinin, dünya üzerindeki enerji krizini atlarmaya ve fosil kaynakların enerji üretimindeki payını azaltmaya yeteceği öngörülmektedir. 2023 yılında tahmini 507 GW'a ulaşan yenilenebilir enerji kapasitesi, 2022 yılına göre neredeyse %50 artmıştır (IEA, 2024).



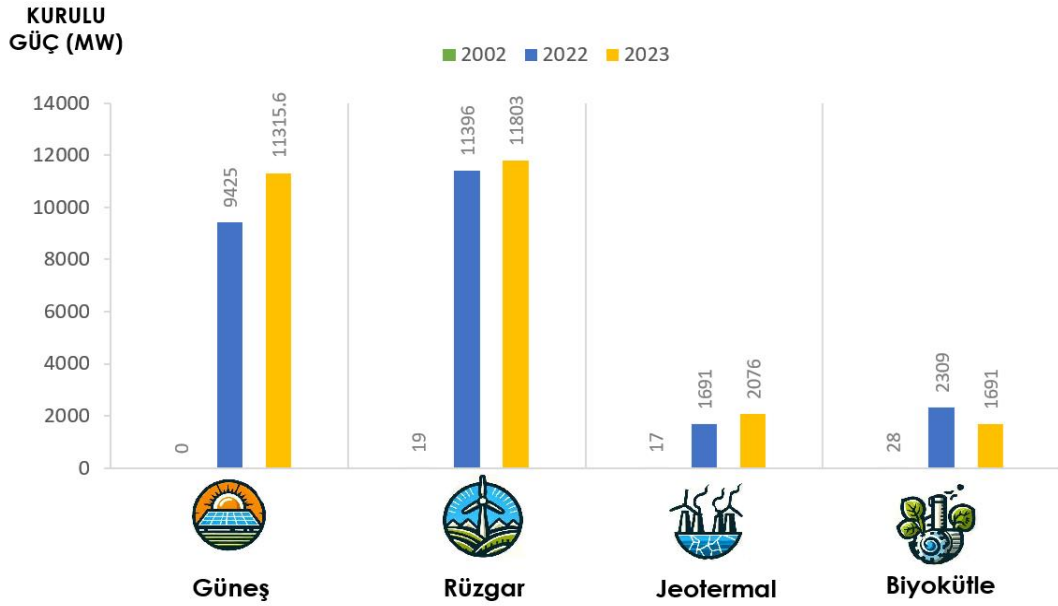
Şekil 1.1. Dünya genelinde yıllara göre tarihsel veriler (2016-2022), ana (2023-2028) ve hızlandırılmış (2023-2028) tahminlere göre yenilenebilir enerji üretim kapasitesi (IEA, 2024)

Yenilenebilir, temiz ve sınırsız olmasının da getirdiği avantajları göz önünde bulundurduğumuzda güneş enerjisi, yüksek potansiyele ve geniş kullanım alanına sahip bir enerji kaynağıdır. Sürdürülebilirlik, kurulum kullanım gibi faktörler güneş enerjisini diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha da ön plana çıkarmaktadır. Güneş, dünyanın en önemli enerji kaynağı olarak, atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen asıl enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinden en yüksek seviyede faydalanmak ve verim almak adına yoğunlaştırıcı teknolojiler geliştirilerek araştırılmaktadır. Güneş toplam olarak 3.8×10^{20} MW enerji yaymaktadır ve bu enerjinin 1.7×10^{14} kadarı yeryüzüne ulaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşınca güneş ışınlarının bir kısmı atmosferde yansıma soğurma, su buharı ve aerosollardan kademeli olarak zayıflamaktadır. Yansıtılmayan ve dağılmayan doğrudan kollektör yüzeyine ulaşan radyasyona doğrudan veya ışın radyasyonu denilmektedir. Güneş ışınlarının bir kısmı da yerden yansdıktan sonra kollektör yüzeyine ulaşmaktadır (bkz. Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Güneş ışınlarının atmosferde dağılımı

NASA'nın Güneş Radyasyonu ve İklim Deneyi'ne (SORCE) göre güneşten dünya atmosferine gelen toplam güneş ışınımının yıllık ortalama değeri 1360.8 W/m^2 olmuştur. Güneş ışınım şiddetinin 1000 W/m^2 değerinin aşmasına etki eden bir dizi faktör vardır. Atmosfer/hava koşulları, güneşin yüksekliği, yüzey yansıtıcılığı, coğrafi konum ve mevsimsel değişiklikler başlıca faktörlerdir. Güneş ışınlarını yansıtmayacak bulutsuz bir havada dünya yüzeyine daha fazla güneş enerjisi ulaşmaktadır. Güneş ışınları en yoğun güneş zirvedeyken yansımaktadır. Ayrıca yüksek rakımlar daha ince atmosfere sahip olduğundan daha fazla güneş enerjisinin geçmesine olanak sağlamaktadır (Duffie ve Beckman, 2013).

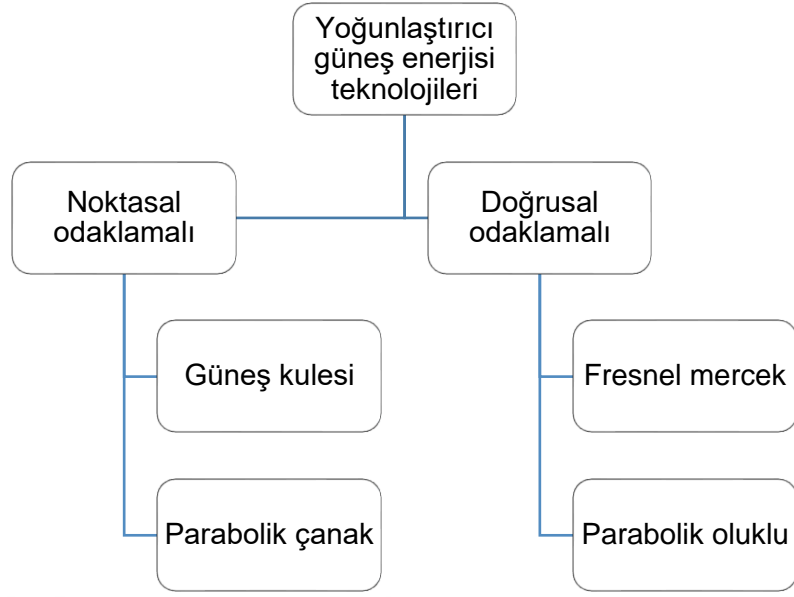


Şekil 1.4. Türkiye'nin güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjilerinin kurulu güç miktarları

1.1. Güneş enerjisi yoğunlaştırıcı sistemleri

Genel olarak güneş enerjisi sistemlerine baktığımız zaman fotovoltaik ve yoğunlaştırıcı güneş enerjisi teknolojileri ön plana çıkmaktadır. Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri çalışma prensibi, aynalar yardımıyla güneş ışınlarını yoğunlaştırılarak belirli bir akışkanı ısıtmak ve elde edilen bu termal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir (Ajbar vd.,2022). Bu sistemlerle ilgili çalışmalar incelendiğinde, birçok farklı tasarımlar oluşturulduğu görülse de yoğunlaştırıcı sistemlerin 2 grupta incelendiği görülmektedir; bunlar doğrusal odaklamalı yoğunlaştırıcı sistemler ve noktasal odaklamalı yoğunlaştırıcı sistemlerdir. 4 tip güneş enerjisi yoğunlaştırıcı sistemlerin olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 1.5.);

1. Merkezi kule tipi yoğunlaştırıcı sistemler
2. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler
3. Fresnel mercek tipi yoğunlaştırıcı sistemler
4. Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı sistemler



Şekil 1.5. Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi teknolojileri

1.1.1. Merkezi kule tipi yoğunlaştırıcı sistemler

Merkezi kule sistemleri heliostatlardan oluşan kollektör alanından ve yüksekliği 100-200 m'ye kadar çıkan alıcı kuleden oluşan güneş yoğunlaştırıcı sistemlerdir. Merkezi kule sistemleri yoğunlaştırıcı toplayıcılardan ve onların merkezinde bulunan alıcı kuleden oluşmaktadır. Güneş ışınlarını kulenin tepesine yoğunlaştıran yansıtıcıların bir başka adı heliostattır. Heliostatlar gölgelemeyi engellemek amaçlı olarak, belirli mesafe aralıkları ile yerleştirilmektedir. Yüksek konsantrasyon oranına sahip bu sistemin çalışma sıcaklıkları akışkana bağlı olarak 250-800 °C aralığındadır (Duffie ve Beckman, 2005). Şekil 1.6.'da merkezi güneş kulesi sisteminin hemen karşısında dizilmiş heliostatlar görülmektedir.



Şekil 1.6. Merkezi güneş kulesi sistemleri (Özcan, 2021)

Heliostatlar iki eksenli güneş takip aynalarıdır ve güneş ışınlarını kulinin tepesindeki nokta alıcıya yansıtılmaktadır.

Alıcıdan geçen akışkan güneş enerjisinden gelen ışınlar yardımıyla ısıtılırken, ısının suya aktarımından buhar üretilmektedir. Üretilen buhar, buhar türbinine gönderilerek mekanik enerji, jeneratörler vasıtası ile de elektrik enerjisi elde edilmektedir.

1.1.2. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler

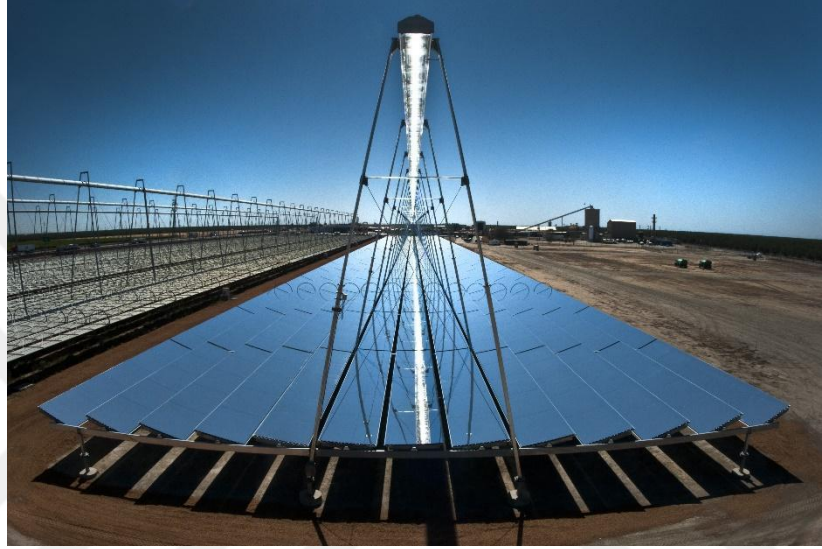
Parabolik çanak tipli yoğunlaştırıcı sistemler uydu çanağı şekilli güneş ışınlarını alıcıya odaklayan sistemlerdir (bkz. Şekil 1.7.). Temel çalışma prensibi, yansıtıcı çanağa gelen güneş ışınlarını çanağın odak merkezinde yerleştirilen Stirling motora noktasal yoğunlaştırmak ve enerji elde etmektir. Başlıca avantajlarından birisi ise sistemin verimliliğinin %30'a kadar ulaşması ve modüler (5-50 kW) olmasıdır. Stirling motorları ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürken, bu mekanik enerji ise jeneratörler vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Aggrey Mwesigye, 2015). Bu sistemin küçük modüllerden oluşması, sistemin enerji talebi olan tesislere yakın yerde konumlandırılmasını sağlamaktadır. Sistem sadece elektrik enerjisi değil, buhar, yüksek ısı, sıcak hava üretiminde de kullanılmaktadır. Diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre dezavantajı ise üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır.



Şekil 1.7. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistem (Özcan, 2021)

1.1.3. Fresnel mercek tipi yoğunlaştırıcı sistemler

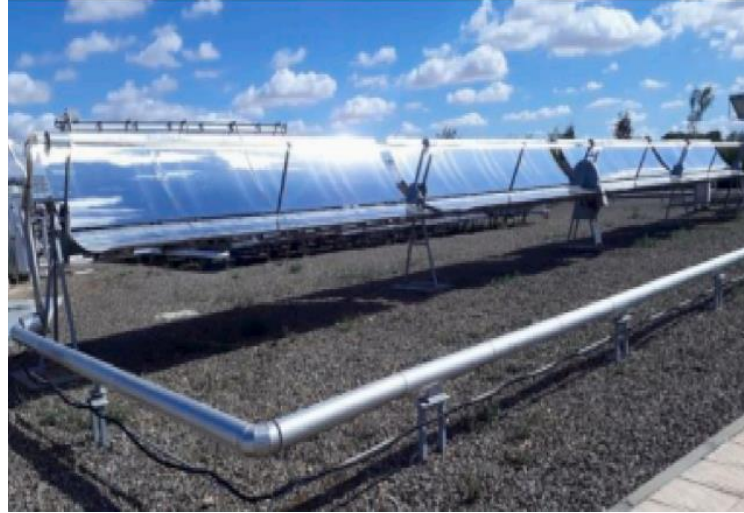
Fresnel mercek odaklayıcı yoğunlaştırıcı sistemlerde yoğunlaştırıcı olarak düzlemsel aynalar kullanılmaktadır. Diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre verimlerinin daha düşük olma nedeni yoğunlaştırıcı sistemin güneş ışınlarını tek eksende takip etmesinden dolayıdır (Özcan, 2021). Fresnel mercek tipi yoğunlaştırıcı sistem Şekil 1.8.'deki gibidir.



Şekil 1.8. Fresnel mercek tipli yoğunlaştırıcılar (Özcan, 2021)

1.1.4. Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı sistemler

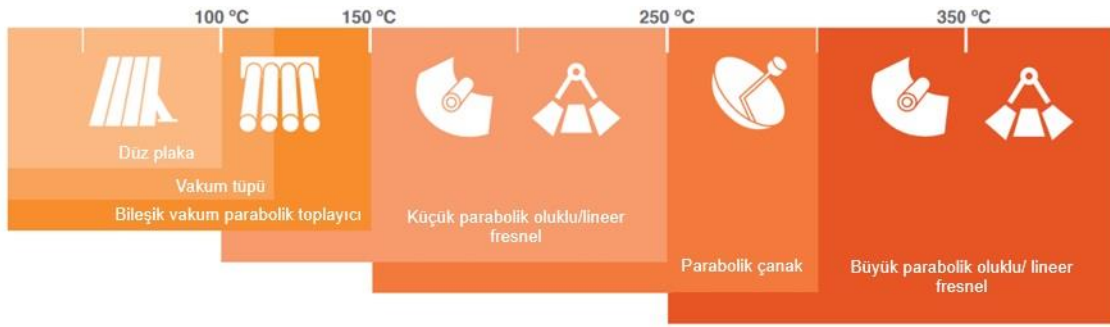
Güneş enerjisi yoğunlaştırıcı teknolojileri arasında en gelişmiş ve verimliliği yüksek olan parabolik oluklu güneş enerjisi sistemleridir. Bu sistemlerin tarihi 19. yüzyılın son çeyreğine kadar uzanmakta olup, buhar üretimi amacıyla 100 kW'ın altında olan küçük tesisler için kullanılmıştır (Yılmaz ve Mwesigye, 2018). Çalışma prensibi parabol oluk şeklindeki aynanın güneş ışınlarını, parabolün odağında bulunan alıcı tüpe (soğurucu boru) yansıtarak alıcı tüpten geçen akışkanı ısıtmaktır. Parabolik güneş kolektörleri destek yapısı, yansıtıcı ayna ve soğurucu tüpten oluşmaktadır (bkz. Şekil 1.9.). Soğurucu tüp çelik, metal veya plastikten yapılmakta olup, ısı kayıplarının azaltılması amacıyla cam tabakayla kaplanmaktadır. Böylece tüpten geçen akışkanın sıcaklığının artmasına da yardımcı olmaktadır.



Şekil 1.9. Parabolik oluklu güneş kolektörü (Chater vd., 2023)

Parabolik oluklu güneş kolektörleri geniş kullanım alanı yelpazesine sahiptir. Güneş enerjisi ile pişirme, ısıtma, soğutma, endüstride çeşitli süreçlerin uygulanmasında, enerji üretiminde, su tuzsuzlaştırma prosesleri gibi çeşitli amaçlar için kullanılmakta ve geliştirilmektedir (bkz. Şekil 1.10.). Parabolik oluklu güneş kolektör sistemlerinin kullanım alanlarının genişlenmesinde ve onların geliştirilerek verimliliğinin artırılması nedenleri fosil kaynakların giderek azalarak kendisiyle beraber getirdiği enerji ve iklim krizleridir (Ajbar vd., 2022). Çünkü enerjiye talebin giderek artması ve oluşan iklim krizi, başta parabolik oluklu güneş kolektörleri olmak üzere yenilenebilir enerji teknolojilerine ilgiyi giderek arttırarak, onların geliştirilip günlük yaşamın her alanında kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu yüzden ki araştırmacılar parabolik oluklu güneş kolektörlerini geliştirerek güneş enerjisi santrallerini daha uygun ve az maliyetli hale getirmek için büyük adımlar atmaktadırlar.

ALANLAR	150°C kadar	150-400°C
<ul style="list-style-type: none"> • Kimya • Gıda • Makine • Madencilik • Tekstil 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaynatma • Kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon • Temizleme, kurulama • bakır elektrolitik rafine etme, mineral kurutma işlemleri • Temizleme, ağartma 	<ul style="list-style-type: none"> • Distilizasyon • Nitrat eritme • Kurutma • Basınçlaştırma, kurutma



Şekil 1.10. Farklı güneş kolektörü teknolojilerinin kullanım alanları ve çalışma sıcaklık aralıkları (Deniz Pınarlı, 2022)

Parabolik oluklu güneş kolektörü sistemi su tuzsuzlaştırma projeleri için de kullanılmaktadır. Amaç düşük maliyetli tatlı su üretmek olup, gelecekte oluşabilecek tatlı su sorununa yenilenebilir enerji yardımcılığıyla alternatif çözüm yolu sunmaktadır. Bununla da parabolik oluklu güneş kolektörleri sürdürülebilir yaşam adına tatlı su üretimine katkıda bulunmaktadır (Mosleh, vd., 2015).

Parabolik oluklu güneş kolektörü nem alma, soğutma ve iklimlendirme amaçlı da kullanılmaktadır. Yaz aylarında insanların iç mekânda konforlu koşulları sağlamak adına parabolik oluklu güneş kolektörü sistemi soğutma görevini üstlenmek için geliştirilmiştir. Diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre (düzlemsel yoğunlaştırıcı, birleşik yoğunlaştırıcı) soğutma alanında yüksek performans elde ederek, bu sistemlere göre daha düşük enerji maliyeti değerlerine sahiptir (Ajbar vd., 2022). Isıtma alanında da yüksek performansa sahip parabolik oluklu güneş kolektörleri kış aylarında ısı talebinin %76'sını karşılayabilmektedir (Quirante vd., 2012). Günlük yaşamda insanların pişirme ihtiyacını yenilenebilir enerjiden karşılamak amaçlı da kullanılan parabolik oluklu güneş kolektörleri kış aylarında 300°C sıcaklığa kadar ulaşan pişirme performansına sahip olabilmektedir (Noman vd., 2019).

Parabolik oluklu güneş kolektörü sistemleri ayrıca endüstrinin farklı alanlarında çeşitli endüstriyel prosesler için de kullanılmaktadır. Parabolik oluklu güneş kolektörü bu anlamda iklim krizinin bu denli daha da ağırlaştığı bir dönemde CO₂ emisyonunu yılda yaklaşık her metrekare kolektör yüzeyine 250-400 kg düşmek üzere azaltma potansiyeline sahiptir. Endüstride proses ısıtması için gerekli olan 50-250 °C arasındaki ısı ihtiyacı parabolik oluklu güneş kolektörü sistemleri ile de elde edilmektedir (Ajbar vd., 2022).

1.2. Tezin amacı ve İçeriği

Bu çalışmada enerji talebinin sürdürülebilir ve çevreci yollarla karşılanması için yenilenebilir enerji teknolojilerinden birisi olan parabolik oluklu güneş hava kolektörünün verimlilik ve performans değerleri araştırılmıştır. Tez çalışmasının amacı sistemin deneysel olarak dış ortam şartlarında verimliliğini gözlemleyerek, bu değerlerle sistemin, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modelini geliştirmektir. Tezin hedefi, sistemin farklı ortamlarda kaydettiği verimlilik değerlerini inceleyerek sistemin potansiyelini ortaya çıkarmaktır.

Tez çalışmasının 2. Bölümü, yoğunlaştırıcı sistemler genelinde parabolik oluklu güneş kolektörleri hakkında bilgiler içermektedir. Parabolik oluklu güneş kolektörleri ile ilgili güncel çalışmalar araştırılmıştır. Literatür taramasında parabolik oluklu güneş kolektörlerinin tasarimsal ve optimizasyon farklılıkları incelenmiş, sisteme dair hem deneysel hem de bilgisayar ortamında nümerik analizler içeren güncel çalışmalar derlenmiştir.

3. Bölüm olan Materyal ve Yöntem’de sistemin deneysel süreci, deneyde kullanılan bileşenlerle beraber teknik bilgiler verilmektedir. Deneyler esnasında kullanılan ölçüm cihazlarının çalışma prensipleri ve parametreler verilmiştir.

Tez çalışmasının 4. Bölümü gerekli ısı transferi hesaplamaları ve bununla ilgili grafikler içermektedir. Elde edilen verilere göre hesaplamalar yapılarak grafikler oluşturulmuş ve bu grafikler yorumlanmıştır. Ayrıca bu bölümde sistemin bilgisayar tabanlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS’te termal ve akış analizleri yer almaktadır. Sistemin bilgisayar tasarımı hakkında bilgiler, analizlerin sınır koşulları gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Tezin 5. bölümünde deneylerin sonuçları karşılaştırılarak tartışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizler sonucu ortaya çıkan değerler, genel sistemsel avantaj ve dezavantajlar araştırılmış, sistemin genel verimliliği yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Parabolik oluklu güneş kollektörü sistemlerinin kullanım alanlarına baktığımızda, bu sistemlerin geniş kullanım yelpazesine sahip olduğu bilinmektedir. Bu sistemlerin soğutma (Quirante ve Valenzuela, 2012), ısıtma (Shawky ve Khalil, 2020), güneş enerjisi kullanılarak pişirici (Noman vd., 2019), ayrıca endüstriyel prosesler için ısı üretiminde (Fernández-García vd ., 2015), tuz arındırması (Mosleh vd., 2015) gibi endüstrinin ve günlük yaşamın farklı yerlerinde kullanıldığı görülmektedir.

Literatüre baktığımızda, ısı transfer sıvısı olarak hava kullanılan parabolik oluklu hava kollektörü sistemleri ile alakalı kayda değer çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekilde özetlenebilir;

(Ullah vd., 2017) hava akışkanlı parabolik oluklu güneş hava kollektörünün mevsim meyvelerini kurutmak amaçlı performans çalışmalarını yapmışlardır. Deneysel çalışma 3 farklı hava giriş debisinde gerçekleştirilmiş, en yüksek verim (% 23) en yüksek hava giriş debisinde (3.5 kg /min^{-1}) elde edilmiştir.

(Parlamış vd., 2021) kapalı ortamda parabolik oluklu güneş hava kollektörü sistemini deneysel olarak test etmişlerdir. Sisteme ısı transferini iyileştirmek adına helisel vida eklenerek etkileri gözlemlenmiştir. Helisel vidanın sistemin verimliliğini %56-%71 oranında arttırdığı ortaya çıkmıştır. Hava giriş debisi $161 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu zaman helisel vidasız termal verimlilik %12, helisel vidalı termal verimlilik ise %19,5 olmuştur.

(Zhao vd., 2020) hava akışkanlı parabolik oluklu güneş kollektörümde endüstriyel proses hava ısısı elde etmek için 3 farklı soğurucu tüpe sahip sistemlerin performans değerlerini incelemişlerdir. Deneysel düz ve içten pimli kanatlara sahip 2 tip soğurucu tüp test edilmiş ve enerji, ekserji ve termal hidrolik verimlilikleri hesaplanmıştır. İçten pimli kanatlı tüpün, düz tüpe göre daha yüksek hava sıcaklığına sahip olduğu ispatlanmıştır. $93 \text{ m}^3/\text{h}$ hava giriş debisinde hava sıcaklığı $266 \text{ }^\circ\text{C}$ kadar artmıştır.

(Nain vd., 2021) U şekilli ısı eşanjörlü parabolik oluklu güneş kollektörü sisteminde bakır ve alüminyum kanatlı ve kanatsız ısı değiştiricinin performansını karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada çıkış sıcaklıkları ve sistemin verimi ele alınan parametreler olmuştur. Soğurucu tüp radyasyonu tam bir şekilde absorbe etmesi için siyah film ile kaplanmıştır. Sonuçlar yüksek debide bakır ısı eşanjörünün kanatçıkla kullanımında alüminyum ısı eşanjörüne göre %9,29 oranında daha yüksek verim elde

ettiğini göstermiş fakat yüksek sıcaklıklarda alüminyum ısı eşanjörünün bakıra göre sistemin performansındaki verimi daha yüksek olmuştur.

Parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminin genel verimliliğini arttırmak adına farklı model ve geometriler denenmiştir.

(Bellos vd., 2018) parabolik oluklu güneş kolektörünün soğurucu borusuna yıldız şekilli ek parça ile geometrideki farklı kombinasyonları inceleyerek optimize çalışmaları yapmışlardır. Farklı ölçü kombinasyonları için (kanat uzunluğu 15-30 mm arası, kanat kalınlığı 2-5 mm arası) toplamda 16 durum incelemesi gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar SolidWorks Flow Simulation programında gerçekleştirilmiştir. 150 l/dakika akış hızı ve 126 -376 °C giriş sıcaklıkları için yapılan testlerin sonuçlarına göre ek parçalar sistemin termal, ekserji ve genel verimliliğini arttırmıştır.

(Al-Aloosi vd., 2023) iç kanatçıklı tasarıma sahip soğurucu tüpün güneş kolektöründeki türbülanslı akışının değerlendirilmesini yapmıştır. Çalışmada ısı transferinin verimliliğini artırmak amacıyla soğurucu tüp içerisine kanatçıklar eklenmiş ve bilgisayar tabanlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS'te simülasyonları yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda iç kanatçık sayısının fazla olduğu model en yüksek termal performans gösteren model olarak gözlemlenmiştir.

(Al-Rabeeh vd., 2024) çalışma sıvısı olarak su ve grafen-Fe₃O₄ /su hibrit nanoakışkanlarının 2 ayrı kolektör kullanarak, parabolik oluklu güneş kolektöründe performans değişimini gözlemlemek adına çalışma yapmıştır. Aynı koşullar altında değerlendirilmiş 2 kolektör için deneysel çalışmalar sonucunda grafen-Fe₃O₄ /su hibrit nanoakışkanının maksimum termal verimlilik değerinin (%45,46) suya göre (%40,41) daha yüksek olduğu ve bilgisayar tabanlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS'te yapılan nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu gözlemlenmiştir.

(Chater vd., 2023) helisel vida tasarımı soğurucu tüpe sahip parabolik oluklu güneş kolektörünün performansını değerlendirmek adına deneysel ve sayısal çalışmalar yapmıştır. Isı transfer akışkanının spiral helezonun giriş ve çıkışındaki sıcaklıklar K-tipi termokupllarla gözlemlenmiş ve HAD yazılımı olan ANSYS'te yapılan nümerik çalışma sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu bildirilmiştir. Önemli termal kayıplar nedeniyle termal verimliliğin %20'yi geçmediği bulunmuştur.

(Natividade vd., 2019) iç kanatçıklı soğurucu tüp harici manyetik alanın nanoakışkanlar üzerindeki etkisini ve sistemin genel verimliliğini analiz etmişlerdir. Fe₃O₄/Therminol 66 ve CuO/Theriminol nanoakışkanı akışkan olarak kullanılmış ve

sonuç olarak Fe_3O_4 /Therminol nanoakışkanının manyetik alanın da etkisiyle kollektörün verimini %4 yükselttiği gözlenmiştir. İç kanatçıkların kullanımı parabolik oluklu güneş kollektörünün verimliliğini artırmanın yollarından birisidir.

(Mwesigye, Yılmaz vd., 2018) tek duvarlı karbon nanotüplerle Therminol® VP-1 nano akışkanını parabolik oluklu güneş kollektörleri sisteminde incelemiştir. Sonlu hacme dayalı HAD aracında realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli ve Monte-Carlo radyasyon izleme yöntemiyle yapılan çalışmada ısı transfer performansı %234 yükselmiş, %4,4 ise ısı verim artışı elde etmişlerdir. Nanoakışkan olarak Therminol-VP 1 kullanımının parabolik oluklu güneş kollektörü sistemindeki verimlilikteki etkisini araştırmak için daha farklı modelleri bakır-Therminol VP1, gümüş-Therminol VP1 ve Al_2O_3 -Therminol VP1'leri incelemiştir.

(Mwesigye vd., 2017) parabolik oluklu güneş kollektöründe bakır-Therminol VP-1, gümüş-Therminol VP-1 ve Al_2O_3 -Therminol VP-1 nanoakışkanlarının sistemdeki termal verimliliğini incelemiştir. Yapılan nümerik analizlerin sonucuna göre en yüksek termal verimlilik gümüş-Therminol VP-1 için %13,9 elde edildiği görülmüştür. En düşük termal verimlilik ise Al_2O_3 -Therminol VP-1 akışkanında gözlemlenmiştir.

(Yılmaz vd., 2020) olası ısı transferini iyileştirmek için alıcı tüpün içinde tel bobin ekinin kullanımını araştırmışlardır. Bunun için açık genişliği 9 m ve kenar açısı 80° olan parabolik oluklu güneş kollektörü modellenmiştir. Çalışmada ışın izleme kullanıcısı olan Monte-Carlo kullanmış ve ısı akışı profili elde edilmiştir. 0.076, 0.114, 0.152 m aralığa ve 0.03, 0.033 ve 0.036 m genişliğe sahip bobin uçları kullanılmıştır. Tel bobin eklerinin kullanılması sistemin termal performansında olumlu gelişmeler kaydettirmiş ve ısı transfer verimliliği %183 kadar artmıştır.

Parabolik oluklu güneş kollektörü sistemlerinin geliştirilerek verimliliğinin artırılması adına deneysel çalışmalardan ziyade sayısal metotlarla yapılan analizlerin sayısı da literatürde kayda değer sayıdadır. Özellikle ANSYS HAD tabanlı programda yapılan analizlerin genel olarak baktığımızda daha fazla tercih edildiği görülmektedir.

(O. Chakraborty vd., 2023) parabolik oluklu güneş kollektörüne 125,135 ve 145 dönüşlü helezon yerleştirilmiş soğurucu tüpün sistemdeki verimi ANSYS Fluent 14'te araştırılmıştır. Çalışma sıvısı olarak damıtılmış su ve %2 konsantreli Al_2O_3 kullanılmış, sıvının kütle debisi 0.016-0.033 kg/s arasında seçilmiştir. Çalışmada en yüksek verim 145 dönüşlü helezonun 0.033 kg/s kütle akış hızında %12,32 ve %8,72 değerlerinde elde edildiği gözlemlenmiştir.

(Kurşun, 2019) parabolik oluklu güneş kolektörünün sinüzoidal yanal yüzeylere sahip soğurucu tüpünün ısı performansını incelemiştir. Sinüzoidal yan yüzeylerin en yüksek Nusselt sayısı artışı sağladığını, %78'e ulaştığını, düz yüzgecin ise %25 olduğu elde edilmiştir.

(Zhu vd., 2017) alıcı tüp içindeki akış ve ısı transferini ve dalgalı bant ekinin etkisini gözlemek için dalgalı bantlı bir parabolik oluk alıcının HAD analizini gerçekleştirmiştir. Isı kaybının sırasıyla %17,5- %33,1 oranında azaldığı, buna karşılık gelen entropi üretiminin sırasıyla %30,2- %81,8 oranında azaldığı bulunmuştur.

(Norouzi vd., 2020) dönen emici tüp ve Al_2O_3 /Therminol'ü incelemiştir. Tasarlanmış parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminin termal verimliliğinin %15 arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca alüminyum borunun, geleneksel çelikten %5 daha yüksek çıkış sıcaklığı sağladığı da bulunmuştur.

(Chakraborty vd., 2020) parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminde 15, 20 ve 25 dönüşe sahip soğurucu tüpün helezonlu ve helezon olmadan analiz etmişlerdir. Dönüş sayısı yüksek olan heliselin genel olarak daha yüksek verim elde ettiği görülmüştür. Akışkan olarak su ve Al_2O_3 ün kullandığı sistemde 0.09 hacimli nanoakışkanın ekserji ve genel verimliliği suya göre %0,2-%3,2 ve %1-%9 oranında artmıştır. Analizler ANSYS 14'te gerçekleştirilmiş, dönüş sayısı yüksek olan soğurucu tüpün daha yüksek termal, ekserji ve genel verimlilik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

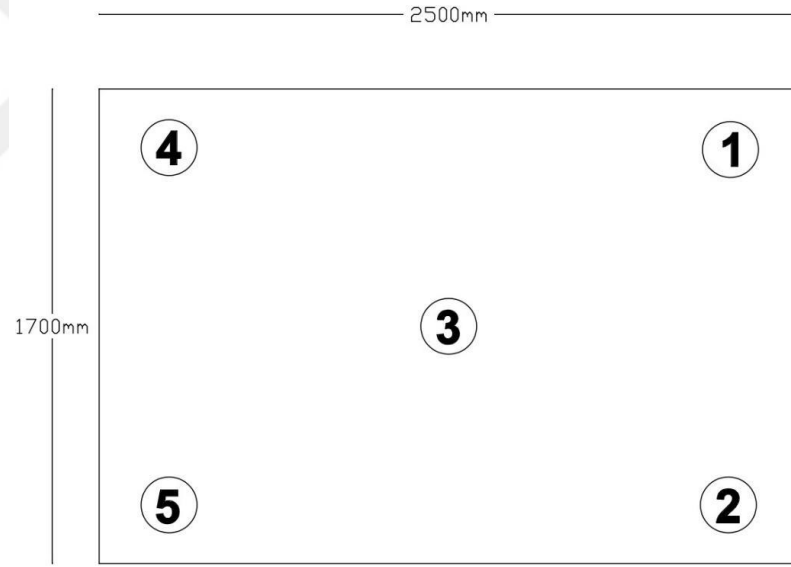
Parabolik oluk tipi helezonlu güneş hava kolektörünün dış ortam şartlarında verimliliğini belirlemek için deney düzeneği kurulumu Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) binasının önünde yapılmıştır.

3.1.1. Deney düzeneği

Yapılan deneylerde parabolik oluklu helezonlu güneş kolektörünün dış ortam şartlarında deneysel testleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Merkezi'nde (BİTAM) gerçekleştirilmiştir. Deneysel testler 12 Eylül 2022 tarihinde yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur. Sistem parabolik yansıtıcı ayna, soğurucu tüp, ayarlanabilir fan içermektedir. Soğurucu tüpün içerisine ısı transferini iyileştirmek amacıyla helezon yerleştirilmiştir. Testler 08:00-16:00 saatleri aralığında gerçekleştirilmiştir. Sistem güney yönüne doğru bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Şekil 3.1'de sistemdeki hava giriş ve çıkış yönleri gösterilmektedir. Şekil 3.2'de parabolik oluklu güneş kolektörü ölçüleri ve yansıtıcı yüzeyindeki sıcaklığı tespit etmek için yerleştirilen termokuplların konumu gösterilmektedir. Ayrıca soğurucu tüpün giriş ve çıkışına da sıcaklık değerlerini kaydetmek için sıcaklık sensörleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Parabolik oluklu güneş kolektörünün deneysel kurulumu



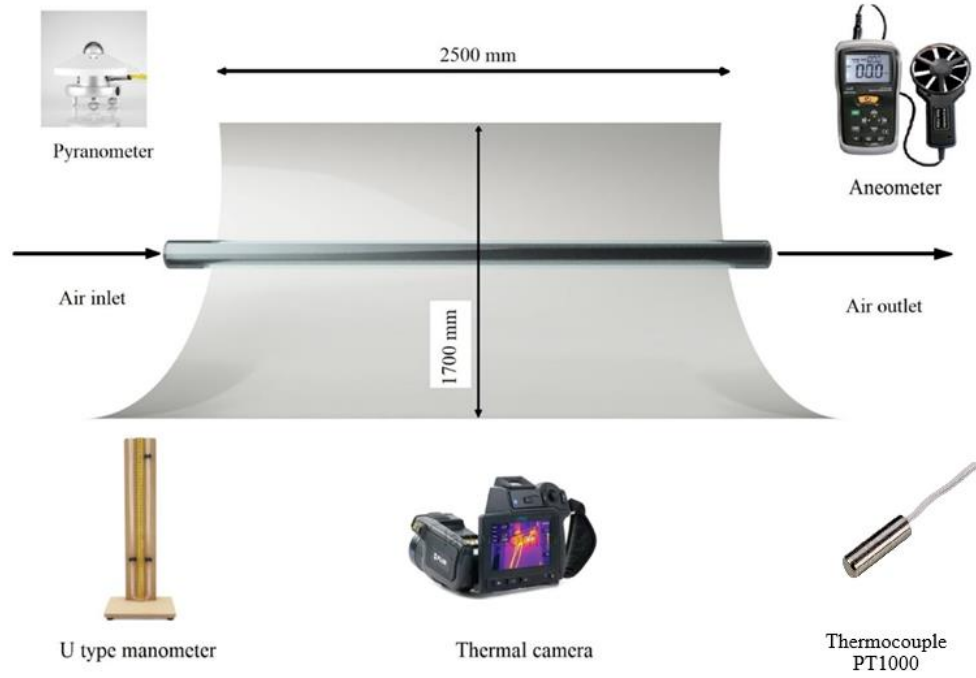
Şekil 3.2. Parabolik oluklu güneş kolektörünün sıcaklık ölçüm noktaları



Şekil 3.3. Kollektör hava giriş- çıkış kanalları kesit görüntüsü

3.1.2. Deney düzeneğinde kullanılan sistemler

Yansıtıcı yüzeyde radyasyon yoğunluğunu ölçmek için Kipp & Zonen CMP3 piranometre kullanılmıştır. Rüzgâr hızı, oluşturabileceği ısı kayıplarını öngörmek amacıyla CEM DT 619 anemometre kullanılarak manuel olarak ölçülmüştür. Ayrıca dış ortam sıcaklığı, sistemin giriş ve çıkış hava sıcaklıkları, reflektör yüzeyindeki sıcaklık değişimleri ve ışınım şiddeti gibi ilgili tüm veriler Novus datalogger tarafından 5 saniyelik bir örnekleme hızında (hem ASTM E905-87 hem de ISO 9806 standartlarının izin verdiği orta değer) kaydedilmiştir. 8 analog ve 8 dijital kanallı veri kaydedici kullanılmıştır. Veri kaydedici ve bilgisayar arasındaki doğrudan temas, verileri kaydetmek ve Excel elektronik tablosuna aktarmak için sağlanmıştır. Sistemdeki ısı dağılımını gözlemlenmek amacıyla FLIR termal kamerası ile 1 saat arayla çalışır vaziyette sistem görüntüsü alınmıştır. Ayrıca hava çıkışında basınç değerlerini ölçmek amacıyla U-tipi manometre kullanılmıştır. Sistemde kullanılan ekipmanlar Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Deneyde kullanılan veri toplama ekipmanları

3.1.3. Sistemi oluşturan bileşenler

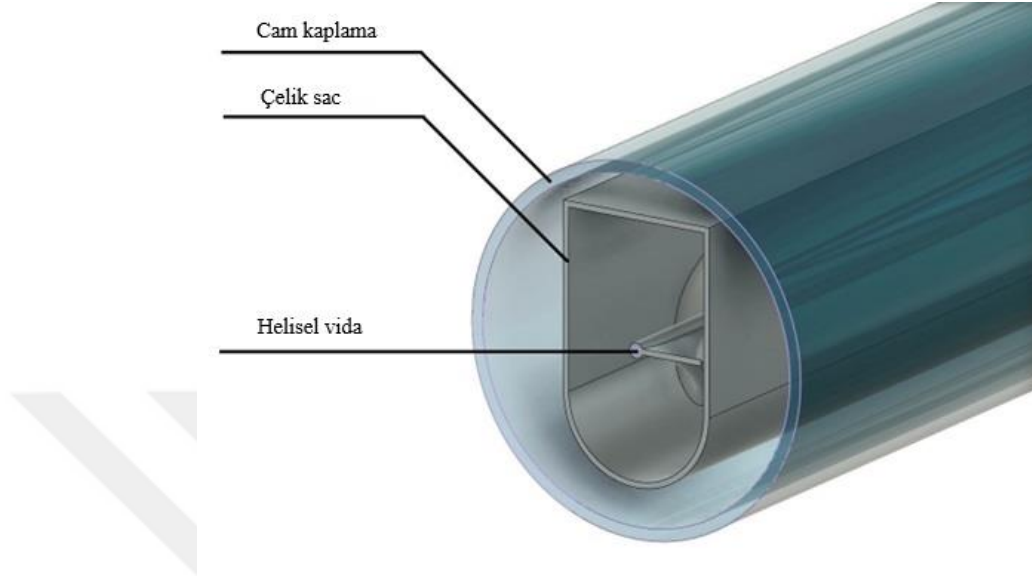
Test boyunca kullanılan sistemin görüntüsü Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Parabolik reflektör 2 adet yansıtıcı alüminyum levha içermektedir. Levhanın uzunluğu 1250 mm, genişliği 1714 mm ve kalınlığı 0,4 mm'dir. 3,70 mm kalınlığa sahip polivinil klorür kollektörlerin taşınma esnasında zarar görmemesini sağlamak ve montajını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 3.5. Sistemin dış ortamdaki görünüşü

Parabolik yansıtıcının odak çizgisi boyunca güneş ışınımını soğurmak ve ışınımı ısı enerjisine dönüştürmek amacıyla soğurucu tüp yerleştirilmiştir. Soğurucu tüpteki

oluşabilecek ısı kaybını önlemek için tüp cam kılıfla kapatılmakta olup, dış yüzeyi seçici yüzey (almeco tinox) ile kaplanmıştır. Soğurucu tüpü oluşturan parçalar Şekil 3.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Parabolik oluklu güneş hava kolektörü soğurucu tüpü

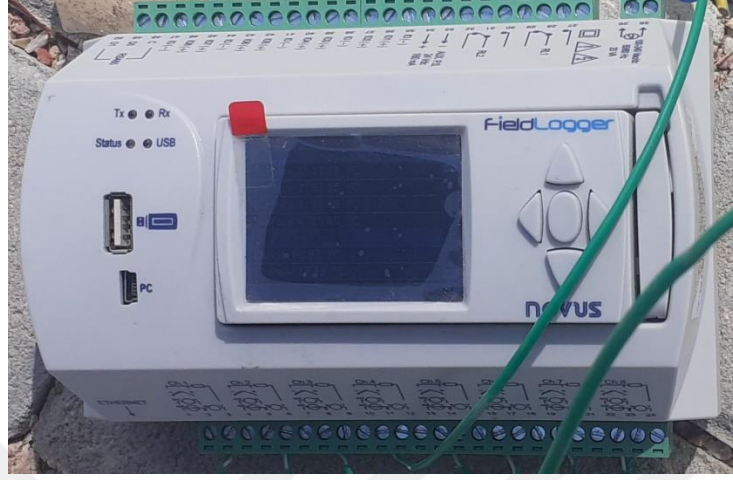
3.1.4. Deney düzeneğinde kullanılan veri toplama ekipmanları

Çalışmada parabolik oluklu güneş kolektörünün dış ortam şartlarında verimliliğini gözlemlemek adına yapılan deneylerde farklı tipte veri toplama ekipmanlarından faydalanılmıştır. Sistemin çalıştığı süre boyunca gösterdiği performans değerlerini kaydeden ve çeşitli parametrelerin ölçümünde kullanılan veri toplama cihazları, sensörler, veri toplayıcılar gibi ölçüm cihazlarını içermektedir. Endüstrinin çeşitli alanlarından bilimsel çalışmalara kadar yeni teknolojilerin potansiyelinin ortaya çıkmasında ve doğuşunda veri toplama cihazlarının büyük önemi vardır. Çalışmanın bu bölümü deney sırasında kullanılan veri toplama ekipmanları hakkında teknik bilgiler içermektedir.

3.1.4.1. Veri kayıt cihazı

Test süresi boyunca verilerin kaydedilmesi ve derlenmesi amacıyla Novus FieldLogger veri kayıt cihazı kullanılmıştır (bkz. Şekil 3.7.). Novus FieldLogger kayıt

cihazının diğer kayıt cihazlarına göre üstünlükleri verileri hızlı toplama, kaydetme, yüksek performansı ve kullanımının kolay olmasıdır.



Şekil 3.7. Novus FieldLogger veri kayıt cihazı

Saniyede 1000 örneği kaydetme özelliğine sahip bu veri kayıt cihazı deneysel çalışmalarda işlevselliği ile ön plana çıkmaktadır. 8 analog ve 8 dijital kanallı veri kaydedicisine sahiptir (Novus FieldLogger Datasheet, 2023). Veri kaydedici ve bilgisayar arasındaki doğrudan temas, verileri kaydetmek ve Excel elektronik tablosuna aktarmak için sağlanmıştır.

3.1.4.2. Anemometre

Deney boyunca rüzgâr hızını kaydetmek için CEM DT-620 anemometresi kullanılmıştır (bkz. Şekil 3.8.). Döner kanatlı sisteme sahip olan anemometre rüzgâr etkisiyle dönen kanatlarla hava hızını ölçmektedirler. Cihazın ölçüm aralığı 0.4-30 m/s'dir.



Şekil 3.8. Anemometre

3.1.4.3. Piranometre

Kipp & Zonen CMP3 piranometresi ışınım yoğunluğunu ölçmek için kullanılmıştır. Parabolik oluklu güneş kolektörüne yakın bir yerde yatay bir şekilde konumlandırılmıştır (bkz. Şekil 3.9.). Kipp & Zonen CMP3'e ait teknik bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kipp & Zonen CMP3 piranometresinin teknik bilgileri

Spektral aralık	300-2800 nm
Ölçülebilecek en yüksek güneş ışınımı	2000 W/m ²
Ölçüm görüşü	180°
Hassasiyet	<%4
Çalışma sıcaklığı aralığı	- 40 °C- + 80 °C



Şekil 3.9. Kipp&Zonen CMP3

3.1.4.4. Termal kamera

Kollektördeki ısı dağılımını gözlemlemek amacıyla FLIR T420 termal kamera ile birer saat arayla sistem görüntüsü alınmıştır (bkz. Şekil 3.10.). Termal kameranın teknik özellikleri Tablo 2' de verilmiştir (Flir T, 2023) ;

Tablo 2. FLIR T420 termal kamerasının teknik bilgileri

Doğal çözünürlük	640 x 480
Ölçüm aralığı	-20°C-650°C
Hassasiyet oranı	<0,02 °C
Yaklaşma oranı	%400



Şekil 3.10. Flir T termal kamera seti (Flir T, 2023)

3.1.4.5. Sıcaklık sensörü

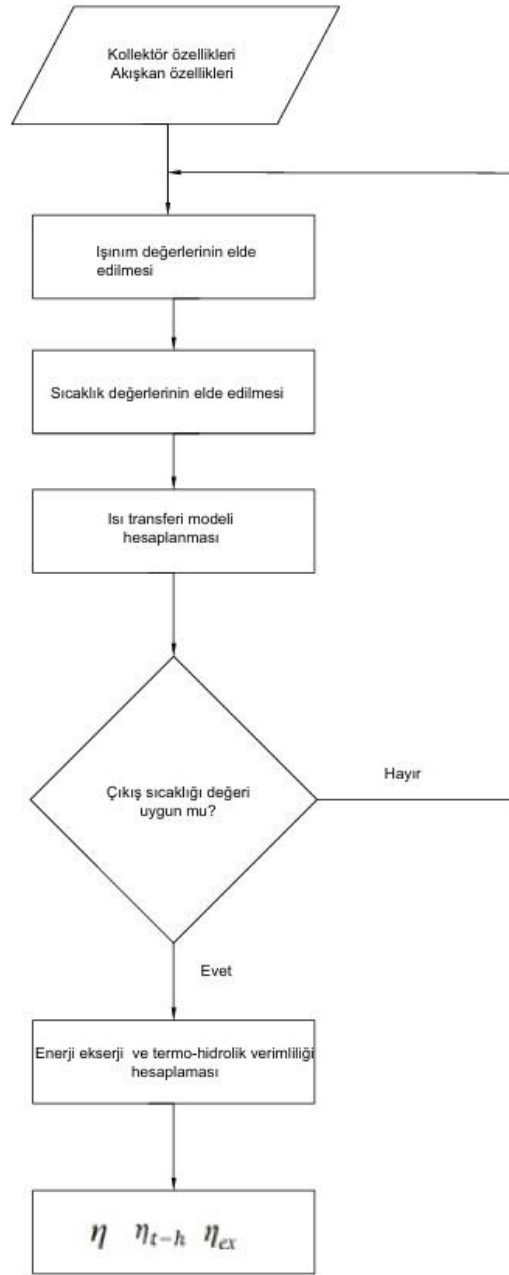
Soğurucu tüpün giriş-çıkışları ve parabolik yansıtıcının 5 farklı noktasındaki yüzey sıcaklığındaki değişimi gözlemlemek için PT1000 sıcaklık sensörü kullanılmıştır (bkz. Şekil 3.11.). PT1000 sıcaklık sensörü -50 °C-205 °C arasında çalışma aralığına, Ø 5.8 mm x 60 mm ölçülerine sahiptir (Baumer , 2023).



Şekil 3.11. PT1000 sıcaklık sensörü (Baumer , 2023)

3.2. Yöntem

Çalışmanın bu kısmında deneysel araştırmanın nasıl gerçekleştirildiği ve çalışmada hangi yöntemlerin izlendiği açıklanmıştır. Temel aşamalarla beraber, hangi veri toplama cihazlarının kullanıldığı ve deney sonunda elde edilen verilerin yorumlanması için izlenen yollar bu bölümde belirtilmiştir. Akış diyagramı Şekil 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.12. Deneysel araştırma akış şeması

3.2.1. Enerji analizi

Parabolik oluklu güneş kolektörde soğurucu tüp içerisinde havaya aktarılan faydalı ısı şu şekilde hesaplanır (Zhao vd., 2020);

$$\dot{Q}_u = \dot{m} \cdot (C_{p,T_{çıkış}} \cdot T_{çıkış} - C_{p,T_{giriş}} \cdot T_{giriş})$$

Burada; \dot{m} , C_p ve T sırasıyla, havanın kütleli debisini, özgül ısısını ve sıcaklığını ifade etmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak özgül ısı şu şekilde hesaplanır;

$$C_p(T) = 1050 - 0.365T + 0.85 \times 10^{-3}T^2 - 0.39 \times 10^{-6}T^3$$

Kollektörün ısı verimi, kollektörden işlem havasına aktarılan enerjinin, kollektör yüzeyine gelen toplam enerjiye oranıdır ve şu şekilde hesaplanır (Zhao vd., 2020);

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_s} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} \dot{m} \cdot (C_{p.T_{çıkış}} \cdot T_{çıkış} - C_{p.T_{giriş}} \cdot T_{giriş}) d\tau}{\int_{\tau_1}^{\tau_2} A_{aa} \cdot DNI d\tau}$$

Burada A_{aa} kollektörün açıklık alanını, DNI direk ışınımı ifade etmektedir.

Hesaplamalardaki güvenilirliğin değerlendirilebilmesi için belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Belirsizlik analizi, hava giriş debisi, hava sıcaklığı ve ışınım ölçümlerindeki hassasiyetlerine bağlı olarak şu şekilde hesaplanır (Fernández-García vd., 2015) ;

$$\delta_\eta = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial T_{çıkış}}\right)^2 (\delta T_{çıkış})^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial T_{giriş}}\right)^2 (\delta T_{giriş})^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial DNI}\right)^2 (\delta DNI)^2}$$

Hesaplamalar sonucunda kollektörün enerji verimliliği belirsizlik oranı % 6 olarak bulunmuştur.

3.2.2. Termal-hidrolik analizi

Termal-hidrolik verimlilik, soğurucu tüpe aktarılan toplam enerjiden, hava akışı için kullanılan fan tarafından harcanan enerjinin çıkarılmasıyla elde edilen net enerjinin, kollektör yüzeyine gelen toplam enerjiye oranını ifade eder. Parabolik oluklu hava kollektörünün termal-hidrolik verimi şu şekilde hesaplanır (Kasperski & Nemš, 2013);

$$\eta_{t-h} = \frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{Q}_s} = \frac{\dot{m} \cdot (C_{p.T_{çıkış}} \cdot T_{çıkış} - C_{p.T_{giriş}} \cdot T_{giriş}) - q_v \Delta P / \eta_{fan}}{A_{aa} DNI}$$

$$W = q_v \Delta P / \eta_{fan}$$

$$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_u - W = \dot{m} \cdot (C_{p.Tçıkış} \cdot T_{çıkış} - C_{p.Tgiriş} \cdot T_{giriş}) - q_v \Delta P / \eta_{fan}$$

$$\Delta P = f \frac{L \rho v^2}{D \cdot 2}$$

Burada; ΔP basınç farkını, f sürtünme faktörünü, L toplayıcı boru uzunluğunu, ρ havanın yoğunluğunu, v hava hızını, D hidrolik çapı, W hava akışı için mekanik enerji tüketimini ifade etmektedir.

3.2.3. Ekserji analizi

Ekserji kazancı, birim zamanda elde edilen faydalı ısıdan tersinmezliğin çıkarılması ile ifade edilir (Zhao vd., 2020);

$$\dot{E}_u = \dot{Q}_u - \dot{m} T_{am} \Delta S$$

T_{am} ortam sıcaklığını, ΔS ise havanın entropi değişimini ifade etmektedir.

Havanın entropisi şu şekilde hesaplanır (Zhao vd., 2020);

$$\Delta S = \int \frac{c_p}{T} dT - R_g \int \frac{dP}{P}$$

Burada R_g ideal gaz sabitini, P basıncı ifade etmektedir.

Ekserji kazancı aşağıdaki gibidir (Zhao vd., 2020);

$$\dot{E}_u = \dot{Q}_u - 1050 \dot{m} T_{am} \ln \frac{T_{out}}{T_{in}} + \dot{m} R_g T_{am} \ln \frac{P_{out}}{P_{in}} + \dot{m} T_{am} [0.365 (T_{out} - T_{in}) - 0.425 \times 10^{-3} (T_{out}^2 - T_{in}^2) + 0.13 \times 10^{-6} (T_{out}^3 - T_{in}^3)]$$

Parabolik oluklu hava kollektörüne gelen güneş ışınımının ekserjisi ise şu şekilde hesaplanır;

$$\dot{E}_s = DNI_{eff} A_p \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{am}}{T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{am}}{T_{sun}} \right)^3 \right]$$

Bu denklemde T_{sun} , güneşin yüzey sıcaklığını temsil etmekte ve 5770 K olduğu varsayılmaktadır. DNI_{eff} , DNI ve güneş geliş açısının ($\cos\theta$) kosinüsünün çarpımıdır (Qu vd., 2017). DNI_{eff} , dış ortam koşullarında güneşin açısına bağlı olarak ışınım kaybını göstermektedir. Parabolik oluklu hava kollektörünün ekserji verimliliği, ekserji

kazancının parabolik kollektöre gelen ışınım ekserjisine oranıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Bellos vd., 2016);

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_u}{\dot{E}_s}$$

3.2.4. Optik analiz

Optik verimlilik, alıcı tüp tarafından emilen güneş enerjisi miktarını belirlemekte olup, güneş enerjisi miktarını ölçer ve şu şekilde gösterilir;

$$\eta_{op} = \rho_m \gamma \tau_g a_{Ab} K(\theta_i)$$

ρ_m - ayna yansıtma değeri, γ -kesme faktörü, τ_g - cam geçirgenliği, a_{Ab} - alıcı tüpün absorpsiyon katsayısı ve $K(\theta_i)$ güneş ışını geliş açısı değiştiricisinin düzeltme katsayısıdır.

(θ_i) - alıcı tüpe düşen güneş ışınlarının açısıdır ve parabolik oluklu güneş kollektörlerinde optik verimliliğin belirlenmesinde dikkate alınması gereken bir parametredir. Parabolik oluklu güneş kollektörünün optik verimliliği şu şekilde hesaplanır;

$$K(\theta_i) = 1 - \frac{F}{l} \left[\left(1 + \frac{W^2}{48F^2} \right) \tan(\theta_i) \right]$$

F -odak mesafesi, l - yansıtıcı aynanın uzunluğu, W - yansıtıcı aynanın açılma genişliğidir.

Tablo 3. Parabolik oluklu güneş kollektörünün optik özellikleri

Ayna yansıtma katsayısı ρ_m -	0.92
Cam geçirgenliği τ_g	0.93
Alıcı tüpün absorpsiyon katsayısı a_{Ab}	0.94

3.2.5. Sayısal model

Parabolik oluklu güneş kollektörünün soğurucu tüpünün içindeki taşınım ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır (Erdogan vd., 2017) ;

$$h_{fi} = \frac{Nu \cdot k_{fi}}{D_i}$$

h_{fi} -soğurucu tüpün ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \cdot K$), Nu - soğurucu tüpten akan akışlanın Nusselt sayısı, k_{fi} -termal iletkenlik $W/(mA \cdot K)$, D_i -soğurucu tüpün çapıdır.

Soğurucu tüpten akan akış laminer akış ise ($Re < 2300$) Nusselt sayısı 4.364 kadar sabit alınabilir. Soğurucu tüp içerisinde akış türbülanslı ise ($Re > 2300$) Nusselt sayısı aşağıdaki korelasyon kullanılarak değerlendirilebilir (Duffie ve Beckman, 2013) ;

$$Nu = 0.023(Re^{0.8})(Pr^{0.4})$$

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

Pr -Prandtl sayısı, U_L - güneş kolektörünün ısı kaybı katsayısı, ($W/m^2 \cdot K$); $h_{c,g-a}$ cam kaplamanın ortama konvektif ısı transfer katsayısı, ($W/m^2 \cdot K$); $h_{r,g-a}$ cam kaplamanın ışınımsal ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \cdot K$); A_r soğurucu tüpün alanı (m^2); A_g cam kaplamanın alanıdır (m^2).

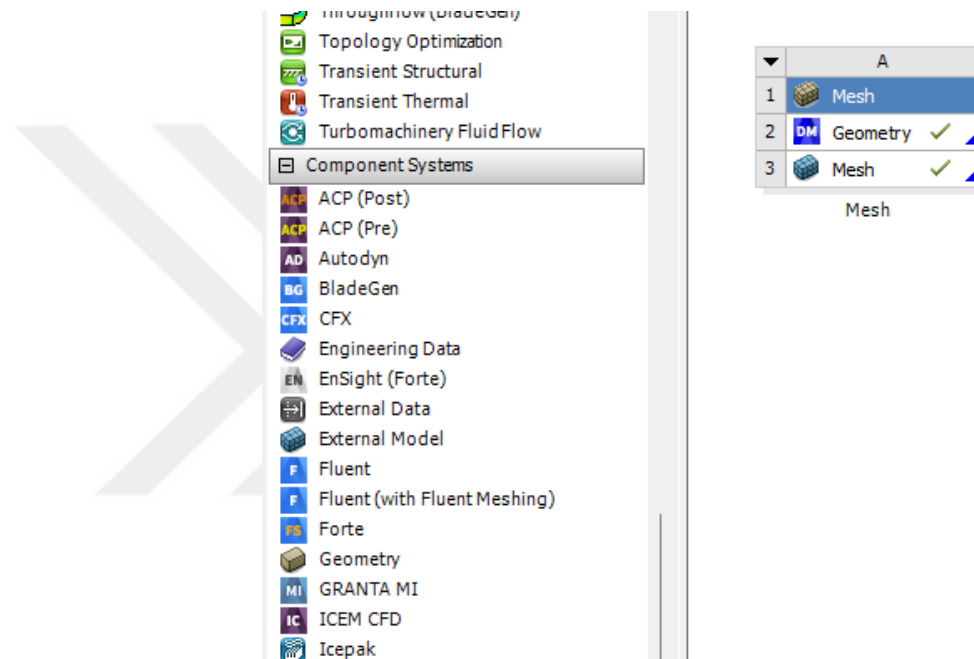
3.3. Simülasyon

Bilgisayar programlarının ve yapay zekâ teknolojilerinin hızla geliştiği günümüz dünyasında, bilimsel araştırmaların doğruluğunu ve onların sanal ortamda analizlerini gerçekleştirmek için çeşitli simülasyon programları kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalara göre masrafsız, zaman ve maliyet açısından önemli bir tasarruf sağlayan ve hata payının çok düşük olması sebebiyle sanal analiz ortamları sağladığı bu avantajlarla bilimsel çalışmalara büyük katkıda bulunmaktadır. Bu programlar arasında en fazla kullanılan ve bünyesinde çeşitli modüllere sahip bir yazılım olan ANSYS diğerlerine göre ön plana çıkmaktadır. ANSYS bir simülasyon programı olup, geometriyi küçük boyutlardaki elemanlara bölme yöntemi ile analizler gerçekleştirmektedir. ANSYS analizi gerçekleştirilmesi planlanan ürünün ısı, akış ve mekanik özelliklerini sanal

ortamda analizi ederek ürünün kalitesini ve verimliliğinin artırılmasına yardımcı olmaktadır.

Çalışmada ANSYS Workbench 2020 R2 sürümü kullanılmıştır. Sürümde bulunan Fluent modülü kullanılarak soğurucu borunun ısı ve akış değişimleri incelenmiş ve yorumlanmıştır. Toplamda 9 farklı simülasyon yapılmıştır.

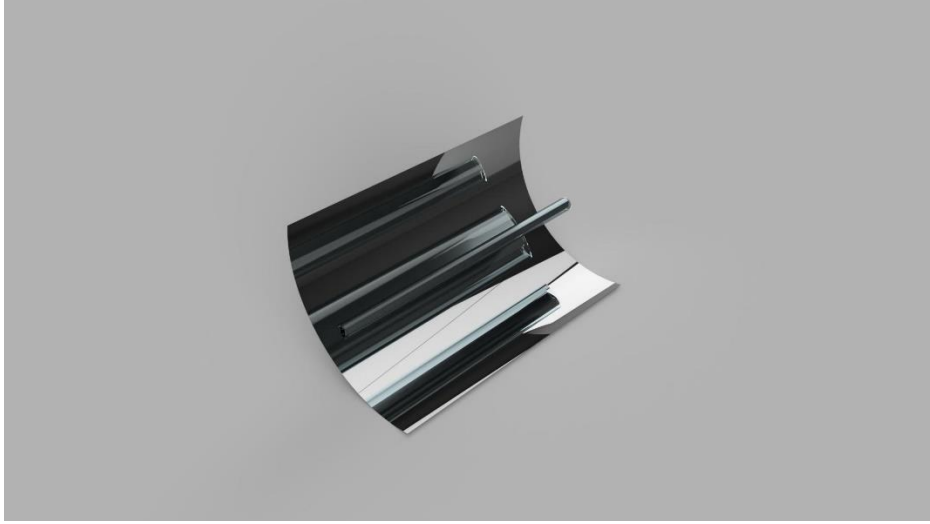
Testler deneysel çalışmada yer alan 08:00-16:00 arasında kaydedilen verilere göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13’de ANSYS Workbench 2020 R2’de yer alan Fluent modülünün çözüm şeması gösterilmektedir.



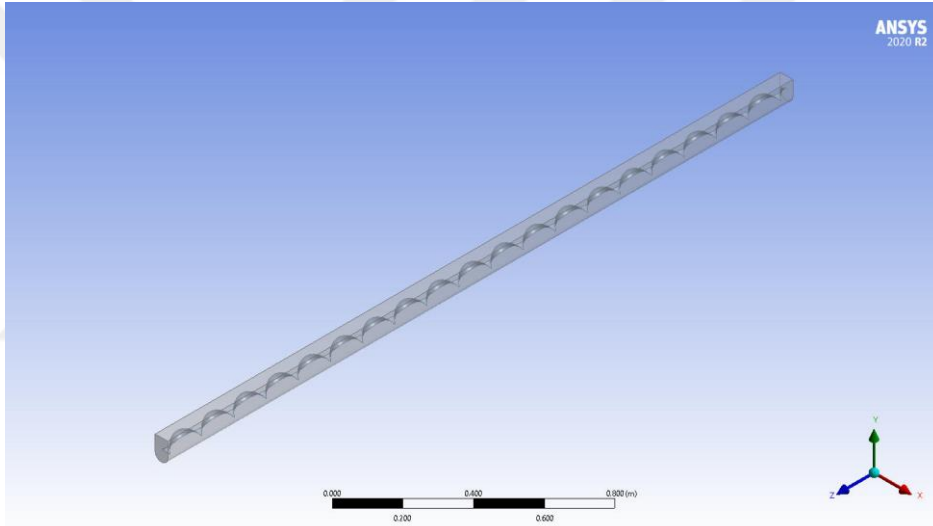
Şekil 3.13. HAD (Fluent) modülü ve çözüm şeması

3.3.1. Geometri

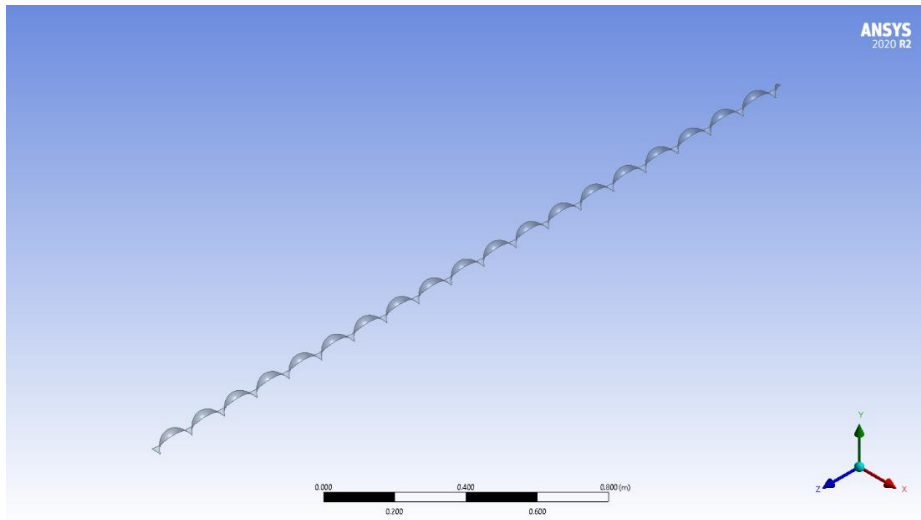
Sistemin gerçek boyutlarına göre oluşturulmuş analiz için soğurucu tüpün geometrisi kullanılmıştır. Soğurucu tüpteki hava akışını oluşturmak amacıyla SpaceClaim programı kullanılmıştır (bkz. Şekil 3.14 – 3.17.).



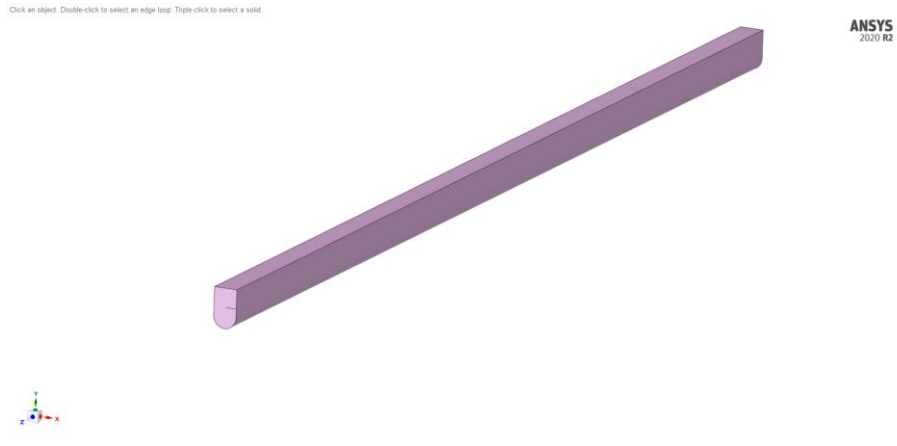
Şekil 3.14. Parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminin render görüntüsü



Şekil 3.15. Soğurucu tüpün Design Modeler programındaki görüntüsü



Şekil 3.16. Helezonun Design Modeler programındaki görüntüsü



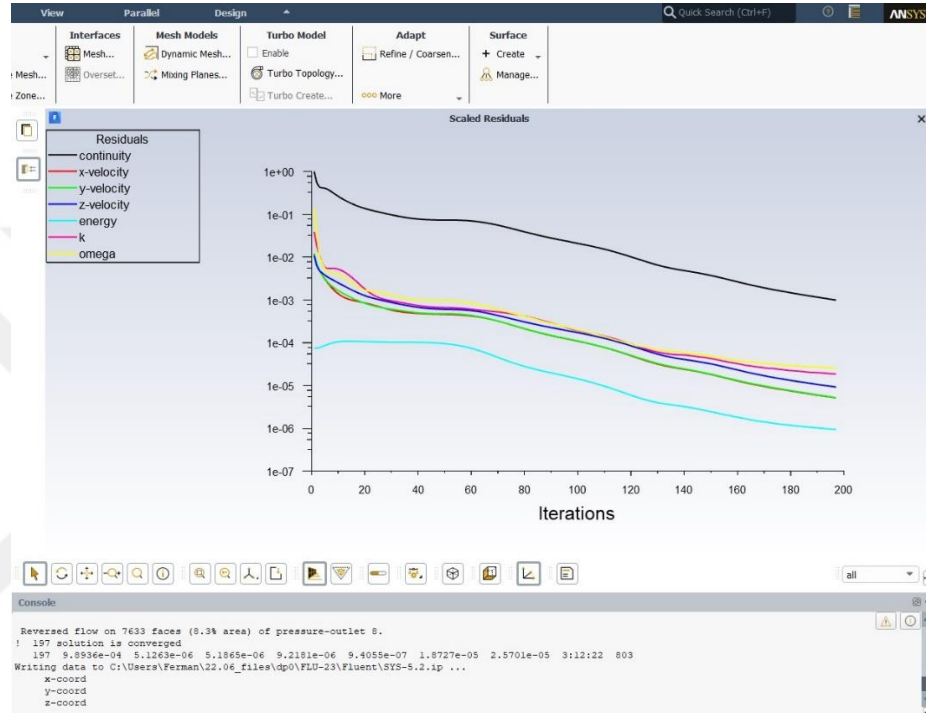
Şekil 3.17. Soğurucu tüpün Space Claim programındaki görüntüsü

3.3.2. Sonlu elemanlara bölme işlemleri

Parabolik oluklu güneş kolektörünün soğurucu tüpünün geometrisi bilgisayar destekli tasarım programı olan Fusion 360'da oluşturulduktan sonra, HAD yazılımı ANSYS'te matematiksel algoritmalarla çözümü gerçekleştirmek için nümerik modeli oluşturulmuştur. Simülasyonu gerçekleştirilecek geometri ANSYS Mesh programında sonlu elemanlara bölünerek çözümlene yapılmıştır. Geometri 3,591,880 elemana bölünmüştür. Daha küçük elemanlara bölünerek sıkı bir eleman ağının oluşturulması, gerçekleştirilecek analizlerin doğruluğunu arttırmak amaçlıdır. Bilgisayar donanımının yeterli seviyede olması, daha küçük elemanlara bölünmüş geometrinin daha yüksek kesinlikli sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Parabolik oluklu güneş kolektörleri için yapılan diğer nümerik çalışmalara incelendiğinde 395,000 (Özcan, 2021), 1,537,435 (Chakraborty vd., 2021), 1,707,835 (Chakraborty vd., 2020), eleman sayılarına bölünmüş çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Eleman sayılarının doğrudan analiz sonuçlarına etki ettiğini ve sonuçların hata oranını düşürdüğü önceki çalışmalarda ispatlanmıştır (Malekan vd ., 2019).

Sonlu eleman yoğunluğu, analizin doğruluğunu ispatlamak için kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Yüksek yoğunluklu ağ yapısı analizlerde daha yüksek doğrulukta sonuçlar göstermektedir. Eleman yoğunluğunun artması daha yüksek özelliklere sahip bilgisayar donanımı gerektirmekle beraber, analizin çözümlenmesi için de daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Soğurucu tüp modeli için belirlenen eleman sayısı bilgisayar donanımının elverdiği maksimum sayıdır. Belirlenen eleman sayısı için 1000 iterasyonlu çözümlene yapılmıştır.

Simülasyon yakınsaması için süreklilik momentum, türbülanslı kinetik enerji ve enerji için 10^{-3} den az olana kadar izlenmiştir. Çözümleme ekranını incelediğimizde 197. iterasyondan sonra değişimin durduğu görülmektedir (bkz. Şekil 3.18.). Literatürde örnek çalışmalara bakıldığında (Mwesigye vd., 2018) süreklilik için 10^{-4} ten az, momentum için 10^{-5} den az, türbülanslı kinetik enerji, enerji için 10^{-7} den az olana kadar ve 200 iterasyonda yakınsamayı incelemiştir.



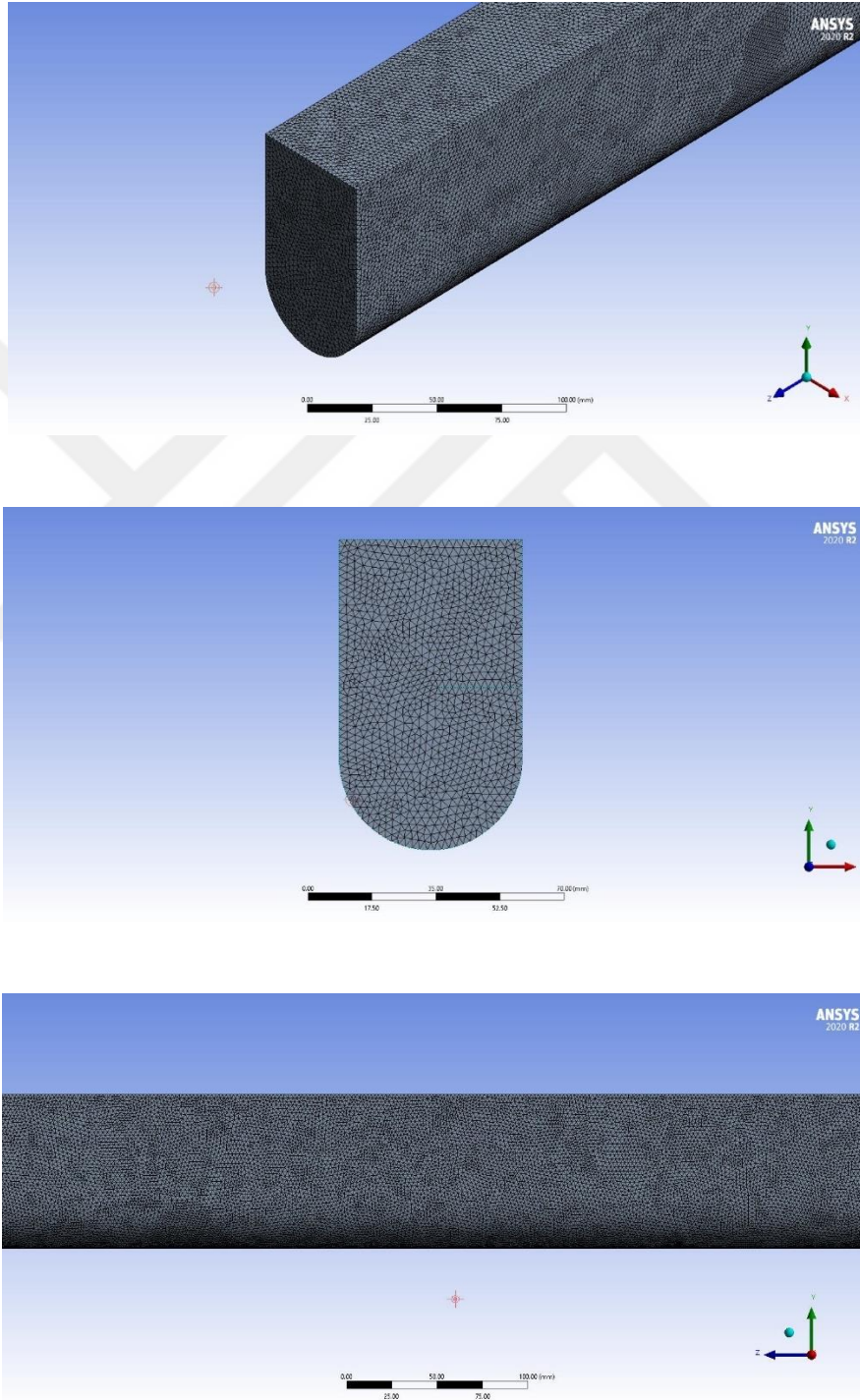
Şekil 3.18. Süreklilik momentum, türbülanslı kinetik enerji ve enerji için 10^{-3} den az olana kadar yakınsama değerleri ile 1000 iterasyonda çözümleme grafiği

Tablo 4.'te eleman sayılarının hava çıkış sıcaklığı sonucundaki etkisi verilmektedir. Mesh kalitesinin iyileştirilmesi, eleman sayılarındaki artış ve daha yoğun mesh yapısı sonuçların doğruluğunu artırarak daha sağlıklı analiz çalışmaları ortaya koymaktadır. Hava çıkış sıcaklığı değerlerinde 2 farklı eleman sayısı için yapılan analizlerde kayda değer değişim gözlemlenmemiştir.

Tablo 4. Eleman sayılarına göre analiz sonucundaki değişimler

Eleman sayısı	Hava çıkış sıcaklığı (°C)	Değişim (%)
490,728	52,7	
3,591,880	54	% 3,85

Simülasyon yapılacak geometrinin (soğurucu tüpün) eleman sayılarına bölündükten sonraki görüntüleri Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Mesh geometrisi olarak tetrahedral metod çözümlene için seçilmiştir. Tetrahedral mesh geometrisi karmaşık geometrileri kolayca çözümlene ve akış bölgesindeki hücreleri kümeleme işlemleri ile daha sağlam ve hızlı çözümler üretmektedir.



Şekil 3.19. Soğurucu tüp mesh görüntüleri

3.3.3. Sınır şartlarının belirlenmesi

Analizi gerçekleştirilecek geometri sonlu elemanlara bölüldükten sonra analizin sınır şartları belirlenmektedir. Bunun için ANSYS Fluent programında sınır şartları girilmektedir. Sınır şartları deney verileri ile uyumlu oluşturulmuş olup, ışıınım miktarı, akışkan debisi, giriş sıcaklığı parametreleri girilmiştir. Bu parametreler sayesinde belirli simülasyon şartları belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Deney verileri farklılık göstermekte olup, her analizde, belirli saat için deneysel çalışmada kaydedilen veriler girilmiştir.

3.3.4. Çözüm

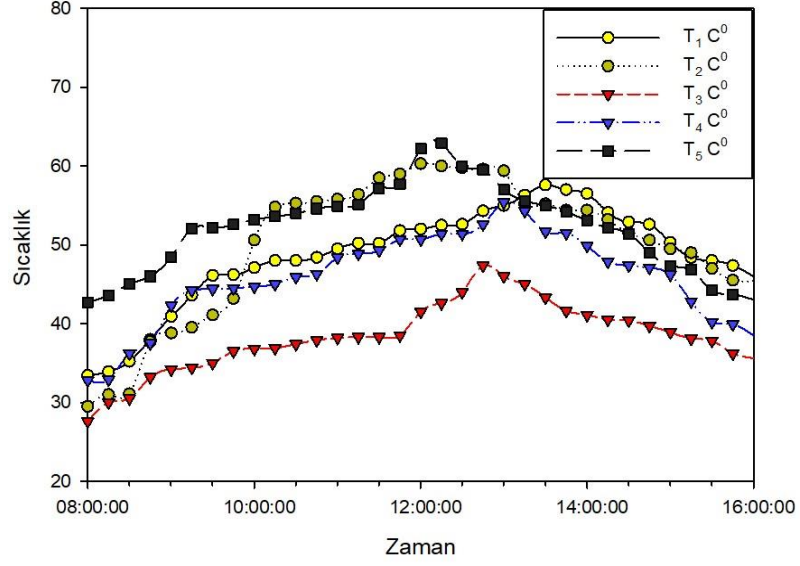
Sonlu elemanlar metoduyla çözümleneler yapan ANSYS programı, çözümlenmesi yapılan geometrinin bölüldüğü eleman sayısı ve kullanıcının girdiği sınır şartlarına göre çözüm sunmaktadır. Çözümleme işlemi 1000 iterasyonda gerçekleştirilmiştir. İterasyon sayısının, çözümleme gerçekleştirilen bilgisayarın donanımının imkân verdikçe fazla olması, sonuçların doğruluğuna etki eden başlıca faktörlerden birisidir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

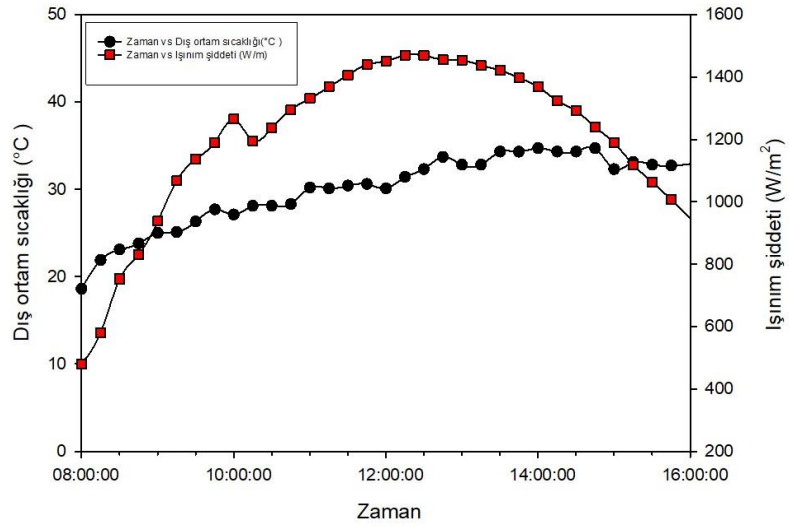
Parabolik oluklu güneş kolektörünün dış ortam koşullarında deney boyunca sıcaklık değişimine bağlı gösterdiği verimlilik ve kolektör yüzeyindeki sıcaklık değişimleri sonucunda elde edilen değerler bu bölümde anlatılmıştır.

4.1. Sistemin sıcaklık değişimleri

Dış ortamda yapılan testler sonucunda deney sırasında veri toplayıcı cihazlardan alınan dış ortam sıcaklığı, radyasyon miktarı, kolektör yüzeyindeki sıcaklık dağılımı, hava giriş çıkış sıcaklıkları gibi veriler grafikler yardımıyla gösterilmiş ve yorumlanmıştır. Parabolik oluklu güneş kolektörünün dış ortam koşullarında termal verimlilik ve performansını değerlendirmek için 12 Eylül 2022 tarihinde yapılan deney verileri kullanılmıştır. Bu tarihte hava koşulları güneşli ve açık, ortam sıcaklığı ise 18-35 °C aralığında olmuştur. (bkz. Şekil 4.2.). Sıcaklık artışının saat 12:00'da başlayıp, saat 15:00'a kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. Yansıtıcı yüzeyindeki farklı noktalarda sıcaklık değişimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Parabolik yansıtıcının yüzeyinin üst sağ, soluna, ortasına ve alt sağ ve sol konumlarına sıcaklık değişimini kaydetmek ve incelenmesi adına sensörler yerleştirilmiştir. Deney başladığı saatlerde T_1 , T_2 , T_3 , T_4 ve T_5 noktalarında 480 W/m^2 ışınım altında kaydedilen sıcaklıklar sırasıyla 33,4 °C, 29,5 °C, 27,6 °C, 32,8 °C ve 42,7 °C olmuştur. Güneşlenmenin pik saatlerinde (12:00-14:00) ve ışınım şiddetinin maksimum değerlerinde ($1406\text{-}1469 \text{ W/m}^2$) T_1 , T_2 , T_3 , T_4 ve T_5 noktalarında sıcaklık maksimum değerlere ulaşmaktadır. Sırasıyla 54,3 °C, 59,6 °C, 47,4 °C, 52,6 °C ve 59,5 °C sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Kolektör yüzeyindeki en düşük sıcaklık değerleri T_3 sıcaklık noktasında elde edilmiştir. Bunun nedeni bu sıcaklık noktası kolektör yüzeyin ortasında yer almakta ve karşısında soğurucu tüpün gölgesinde kalmaktadır. Yansıtıcı yüzeyin üst kısmındaki noktalarda alt kısımlara göre daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Yansıtıcı yüzeyinde sıcaklık dağılımı



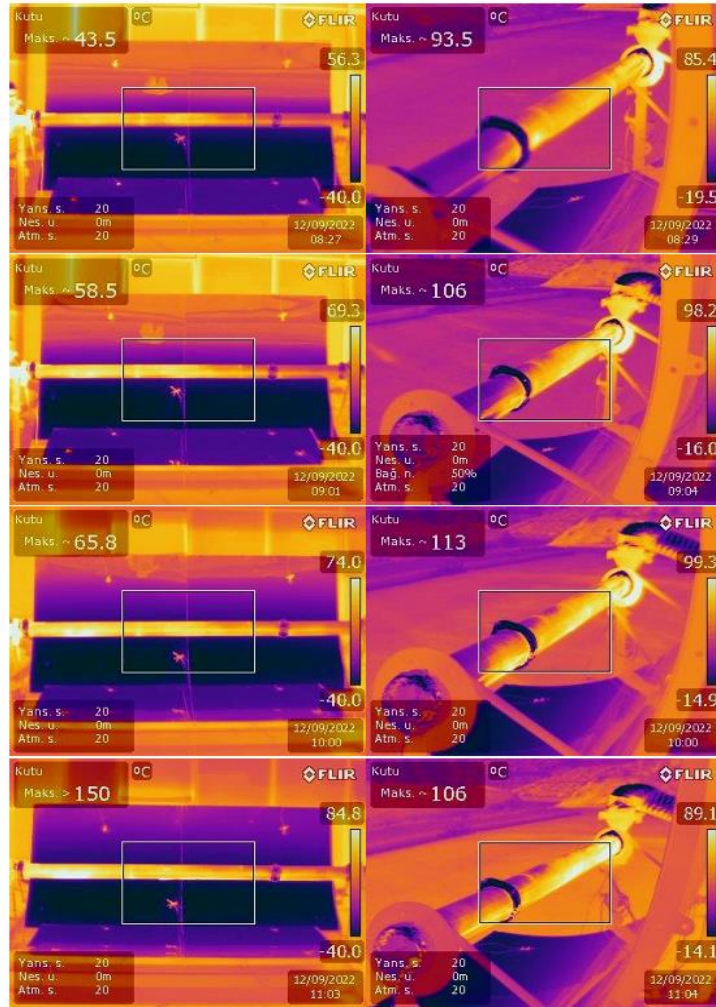
Şekil 4.2. 12 Eylül 2022 tarihinde kaydedilen dış ortam sıcaklığı ve ışıınım değişimi

4.1.2. Parabolik yansıtıcının sıcaklık değişimleri

Deney boyunca sistemdeki ısı dağılımını görsel gözlemlemek ve kaydetmek adına termal görüntüleme teknolojisi olan termal kameradan faydalanılmıştır. Parabolik oluklu güneş kollektörlerinin verimliliğini, termal performansını incelemek ve deney sırasında oluşabilecek sorunların tespiti için bu teknolojilerin kullanılmasının, deneysel çalışmalara katkısı son derece önemlidir. Sistemdeki sıcaklık dağılımını gözlemlemek amacıyla 1 saatlik aralıklarla termal kamera görüntüleri kaydedilmiştir.

Şekil 4.3.'te parabolik oluklu güneş kollektöründeki sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Termal kamera görüntüleri incelediğinde, parabolik yansıtıcı ayna yüzeyindeki sıcaklık değerlerinin, güneş ışınlarını yansıtmasından dolayı, soğurucu tüpe göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. Soğurucu tüpün sabah ve akşam saatlerinde daha düşük sıcaklık dağılımına sahip olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 4.3.).

Görüntüler kayda alınırken hem sistemin tamamını hem de soğurucu tüpteki ısı dağılımını gözlemlemek amacıyla 2 açıdan görseller alınmıştır. 08:30-11:00 arası güneş ışınlarının tamamı sistem üzerine düştüğünden bu saat aralığında yansıtıcı ve soğurucu tüpün sıcaklığı yükselişe geçmektedir. Termal kamera görüntülerine göre sistemin en yüksek sıcaklığı 11:00'da 150 °C, soğurucu tüpün en yüksek sıcaklığı ise 14:00'da 122 °C olarak elde edilmiştir. Saat 14:00'dan sonra güneş batımına doğru ışınım değerlerindeki doğal düşüş nedeni ile sistem sıcaklığının düşüğe geçtiği görülmektedir.



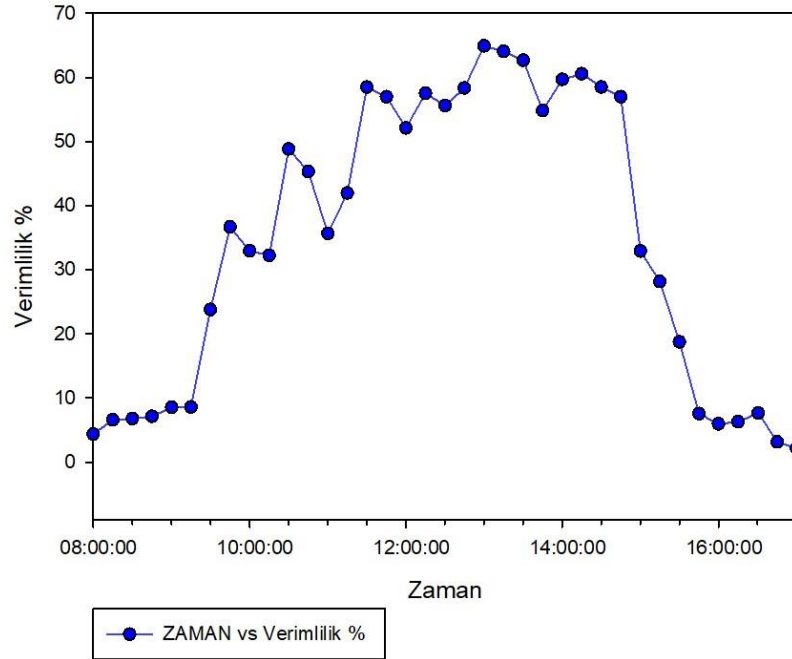


Şekil 4.3. Deney zamanı elde edilen termal kamera görüntüleri

4.1.3. Enerji analizi

Genel olarak parabolik oluklu güneş kolektörü sistemlerinde kolektör verimliliği benzer bir eğilim göstermektedir. Enerji verimliliğine doğrudan etki eden parametreler sıcaklık artışı ve bu sıcaklık artışının etkisiyle değişen hava çıkış sıcaklığı değerleridir. Şekil 4.4.'te, yapılan deneyde kaydedilen verilere göre verimlilik değerleri gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. 12 Eylül 2022 tarihinde saat 08:00-16:00 aralığında yapılan test çalışması zamanı değişen ortam sıcaklığı ve radyasyon değerleri, hava giriş ve çıkış sıcaklığı değerlerindeki etkisi enerji verimliliği değerlerine yansımaktadır. En yüksek

enerji verimliliği değeri %64,96 olarak elde edilmiştir. Bunun nedeni bu saat aralığında hava giriş ve çıkış sıcaklıkları değerleri arasındaki farkın diğer zaman aralığında hava giriş ve çıkış sıcaklıkları değerleri arasındaki farkından daha yüksek olmasıdır. Saat 15:00 sonrası enerji verimlilik değerleri düşüş eğilimine girmiştir. Bunun nedeni azalan hava çıkış sıcaklıkları değerleridir (bkz. Şekil 4.4.).

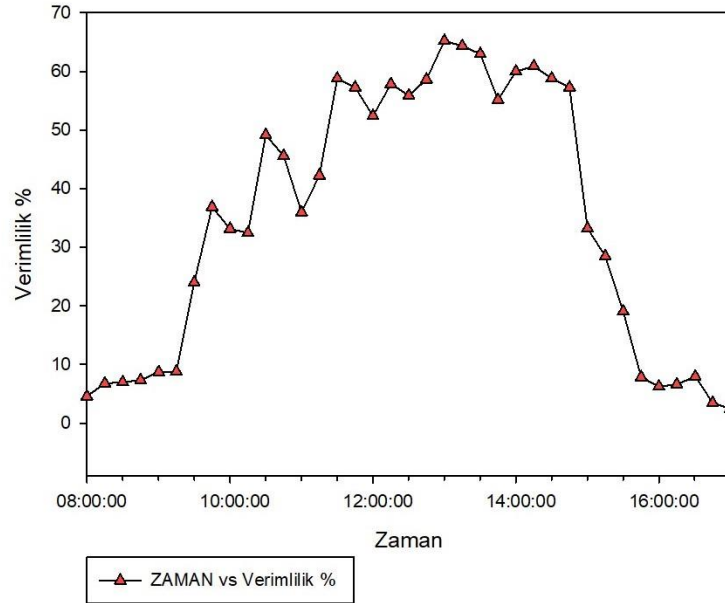


Şekil 4.4. Termal verimliliğin zamana göre değişimi

4.1.4. Termal-hidrolik analizi

Bu bölümde, belirli hava giriş debisinde helezonlu soğurucu tüpün termal hidrolik verimi hesaplanmıştır. Termal hidrolik değerler, termal değerlere yakın elde edilmiştir. Şekil 4.5'te deneyde kaydedilen verilere göre termal hidrolik analiz gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

DeneySEL çalışmaların sonucuna göre hava giriş debisi 162 m³/h olduğunda basınç kaybı ortalama 49 Pa olarak hesaplanmıştır. Termal-hidrolik verimler termal verimlere yakın değerlerdedir. Soğurucu tüpteki helezon basınç kayıplarını artırsa da ısıl verimin artması nedeniyle sistemi ideal hale getirmektedir. Şekil 4.5'te görüldüğü üzere en yüksek termal hidrolik verim değeri saat 13:00'da %65,2 olarak elde edilmiştir.

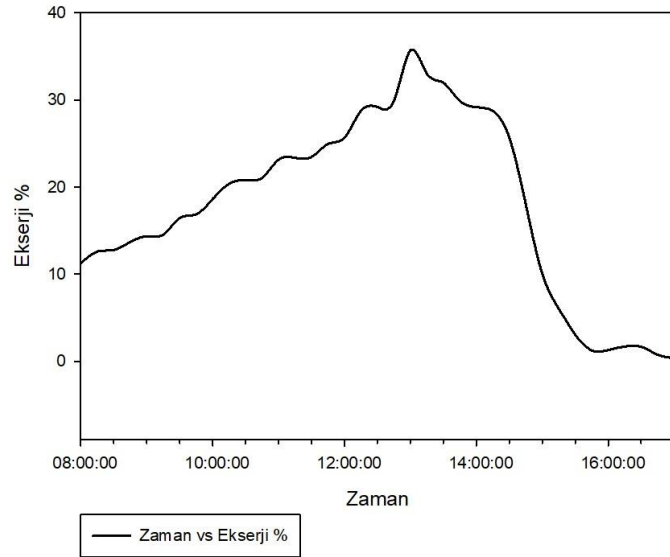


Şekil 4.5. Deney zamanındaki termal-hidrolik verimliliği

4.1.5. Ekserji analizi

Parabolik oluklu güneş kolektörü sistemi için yapılan önceki çalışmalara bakıldığında ekserji veriminin enerji verimi değerlerinden daha düşük elde edildiği gözlemlenmiştir. Ekserji yıkımı ve ekserji kayıpları, bu farkı oluşturan temel nedenlerdir. Ekserji yıkımı akışkan sürtünmesi ve ısı transferi mekanizmalarından oluşmaktadır. Soğurucu tüpte giriş hava debisi artarken, akış sürtünmesinden kaynaklanan ekserji yıkımı artmış, ısı transferinden kaynaklanan ekserji yıkımı ise azalmıştır.

Yapılan ekserji analizinde, ekserji verimliliği değerlerinin enerji verimliliği değerlerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.6'da deneyde kaydedilen verilere göre ekserji verimliliği gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. En yüksek ekserji verimliliği %35,7 olarak elde edilmiştir. Bu saatten sonraki analiz sürecinde hava giriş sıcaklığı değerlerinin artması ve hava çıkış sıcaklığı değerlerinin düşüşü sebebiyle ekserji değerlerinde de düşüş elde edilmiştir. En düşük ekserji verimliliği ise 16:00'da 39,3 °C hava çıkışı sıcaklığında %1,27 olarak gözlemlenmiştir.



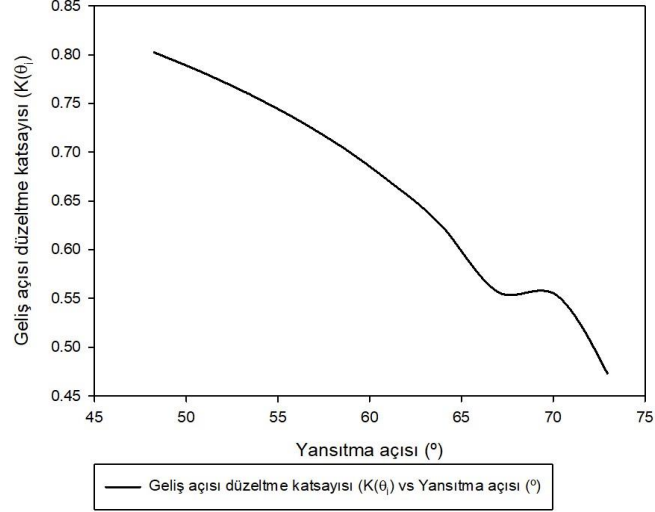
Şekil 4.6. Deney zamanındaki ekserji verimliliği

4.1.6. Optik analiz

Parabolik oluklu güneş kolektörünün optik analizini gerçekleştirmek için 12 Eylül 2022 tarihli Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM binasının bulunduğu konuma bağlı gerçek hava durumu verileri kullanılmıştır. Sisteme bağlı yansıtıcı ayna gün doğumundan, gün batımına kadar güneş ışınlarını yansıtmakta ve kuzey-güney eksenini boyunca güneş takibi yapmaktadır. Optik analizin amacı sistemin optik verimliliğini doğru şekilde belirleyebilmektir. Sistemin geometrisi, optik parametreleri, sistemin bulunduğu konum ve deneyin gerçekleştirildiği tarihe bağlı hava şartları optik analize etki eden etmenlerdir (Ghodbane vd., 2021).

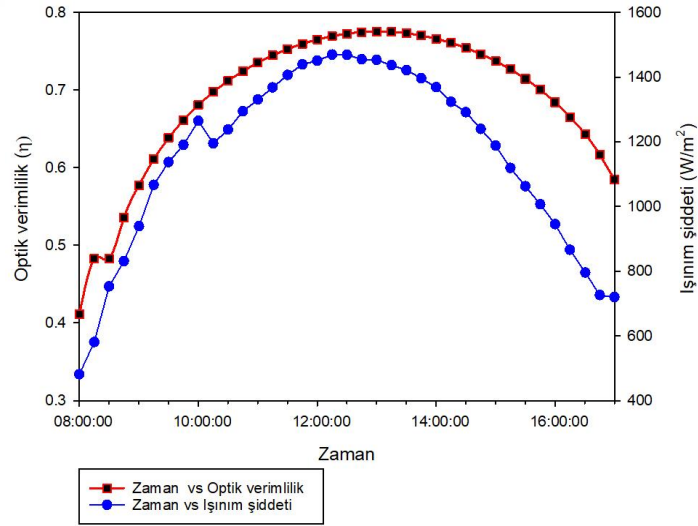
Optik analiz için belirtilen denklemlere baktığımız zaman, optik işlemlerin (θ_i)- güneş ışını geliş açısı ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. (θ_i)- güneş açısının maksimum değerleri, gün doğumunda ($72,96^\circ$) ve gün batımında ($66,6^\circ$) yüksek olup, öğlen saatlerinde ($33,75^\circ$) minimum değerlerini elde etmektedir.

Şekil 4.7’de geliş açısı düzeltme katsayısının $K(\theta)$ yansıtma açısına ($^\circ$) göre değişimi gösterilmiştir. $33,75^\circ$ - $72,96^\circ$ arasında yansıtma açısı değerleri elde edilmiştir. Yansıtma açısının en yüksek değerinde ($72,96^\circ$), geliş açısı düzeltme katsayısının en düşük değeri (0,47) elde edilmiştir. $33,75^\circ$ olan en düşük yansıtma açısı değerinde ise en yüksek 0,89 geliş açısı düzeltme katsayısı değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Geliş açısı düzeltme katsayısının yansıtma açısına göre değişimi

Şekil 4.8’de zamana göre optik verimlilik ve ışınım şiddeti değerleri değişimi görülmektedir. Yapılan optik analiz sonuçlarına göre optik verimliliğin gün doğumunda %41, gün batımında ise %58 olduğu görülmektedir. Optik verimlilik en yüksek değerine (%77) saat 13:00’da ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. Zamana göre optik verimlilik ve ışınım şiddetinin değişimi

4.2. Simülasyon Sonuçları

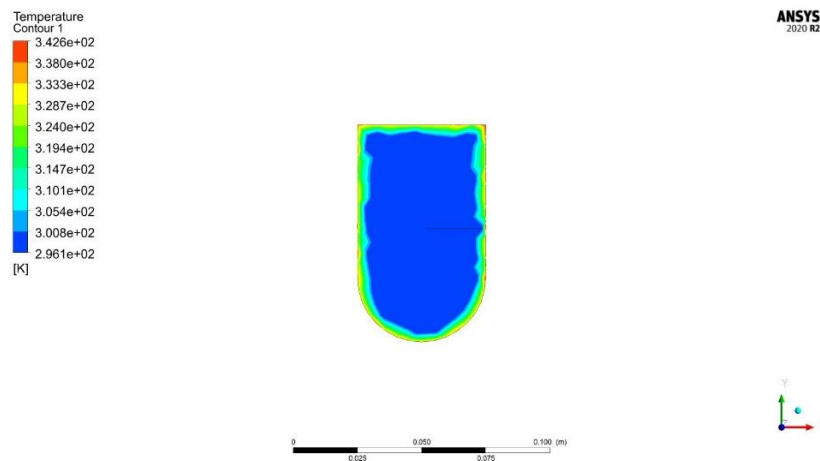
Yapılan nümerik analizler sonuçları incelendiğinde soğurucu boru yüzeyindeki ısı yoğunluğunun iletim ve taşınım yoluyla akışkana aktarıldığı ve boru boyunca ısınan hava akışının çıkış noktasındaki sıcaklık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Helezon, boru içerisinde hareket eden havanın daha fazla karışmasına yardımcı olurken, soğurucu tüpün duvar sıcaklığı ile merkezi arasında daha az sıcaklık farkı oluşumunu da sağlamaktadır. Soğurucu tüpün çıkış noktasına doğru hava akış türbülansının giderek azaldığı gözlemlenmiştir.

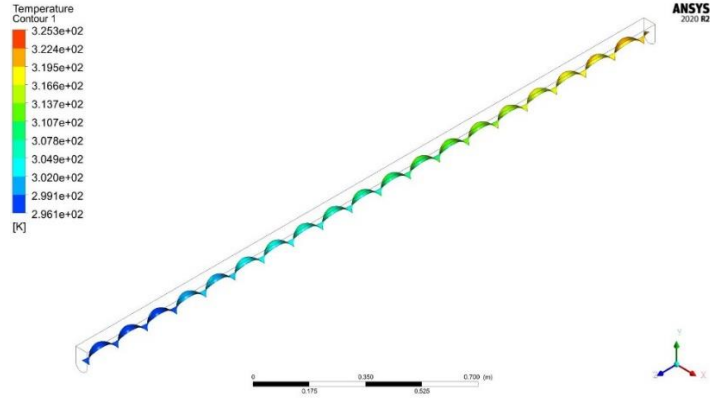
Soğurucu tüpün çıkış noktasındaki hava sıcaklığının ortalama değerini tespit etmek adına ANSYS Report programındaki Function calculator özelliği kullanılmıştır. Bununla beraber, soğurucu tüpün giriş ve çıkış noktalarındaki ısı dağılımını görsel olarak incelemek adına ANSYS Report programındaki Contour modülü kullanılmıştır. Modül sayesinde soğurucu tüpün hem giriş hem de çıkış noktalarındaki ısı dağılımı incelenmiştir.

Helezon ekinin kullanımındaki amaç, boru boyunca hava akışını türbülanslı hale getirerek ısı transfer performansını arttırmak, hava çıkışını geciktirerek mümkün olduğu kadar maksimum sıcaklık değerleri elde etmektir.

4.2.1. 08:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

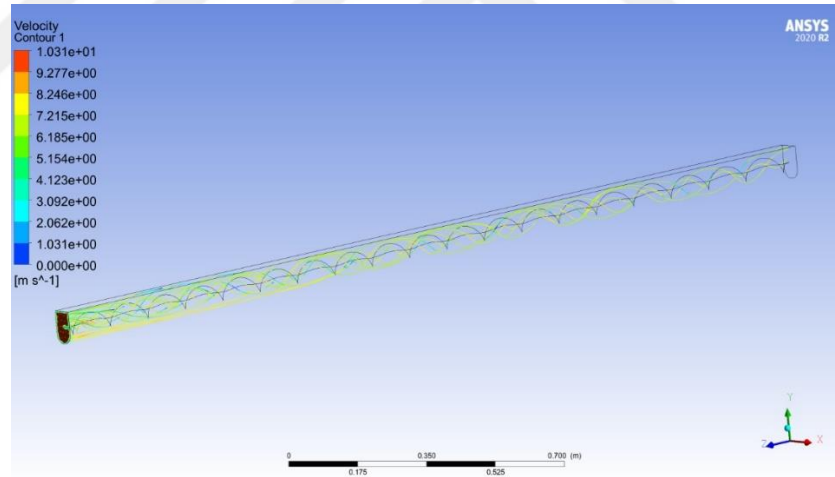
Burada saat 08:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı 18,6 °C, ışınım şiddeti ise 480,7 W/m², hava giriş sıcaklığı ise 23 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.9.).





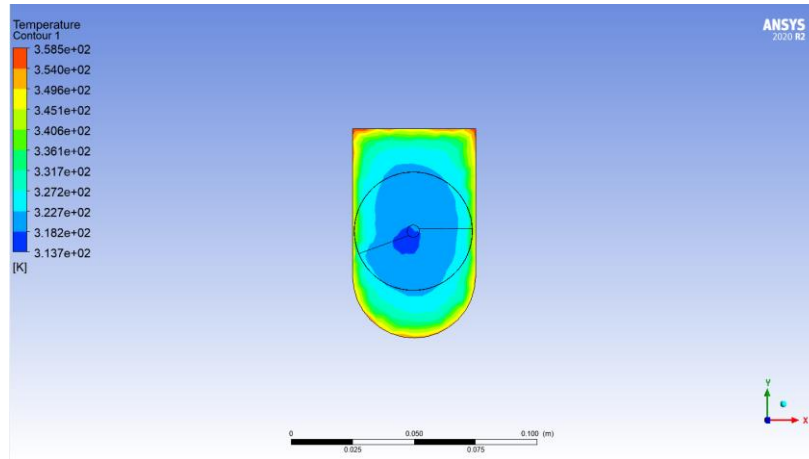
Şekil 4.9. 08:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.10.'da helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.10. 08:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

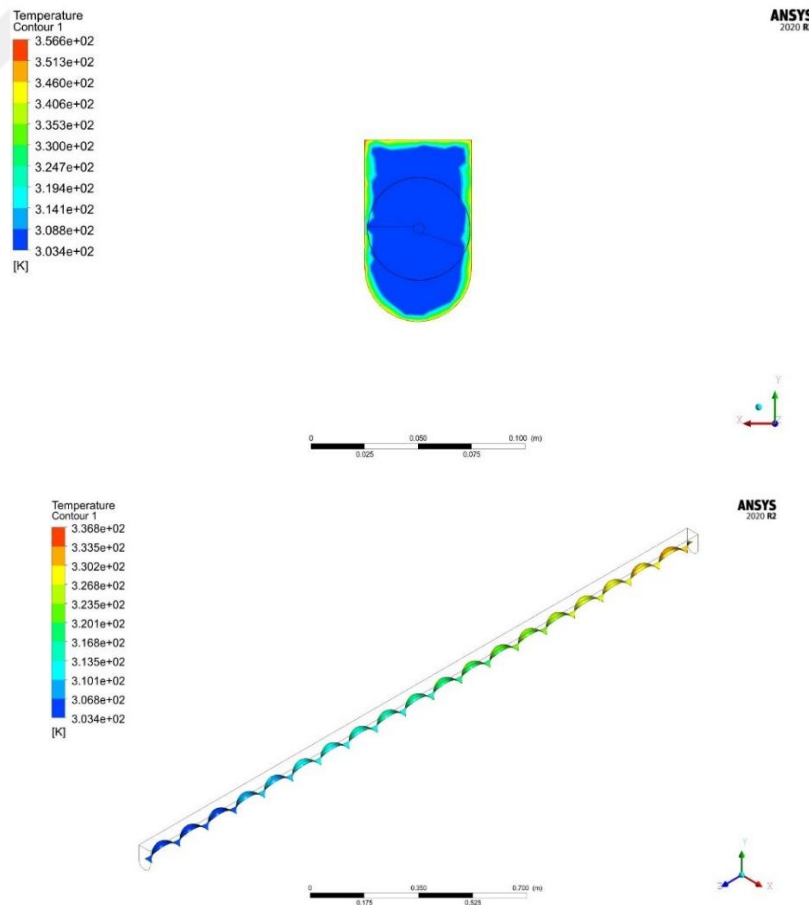
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatteki veriler kullanıldığı zaman 52,7 °C olarak bulunmuştur (bkz. Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. 08:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

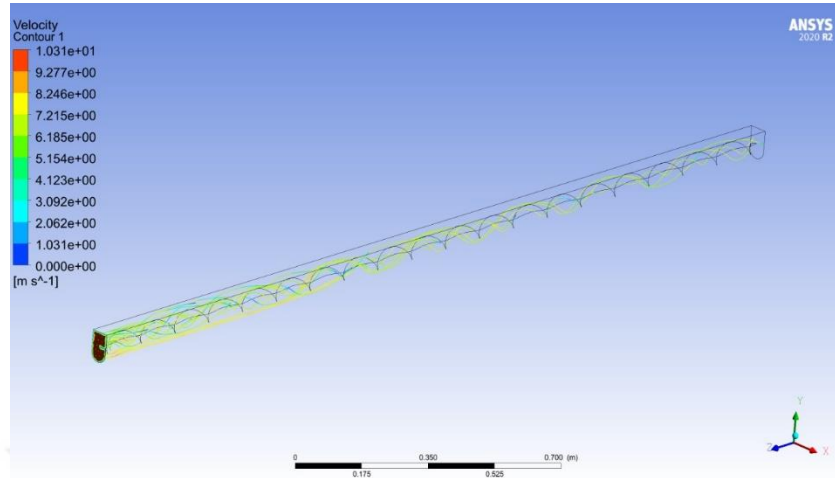
4.2.2. 09:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

Burada saat 09:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, ışıınım şiddeti ise $938,9\text{ W/m}^2$, hava giriş sıcaklığı ise $23,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur (bkz. Şekil 4.12.).



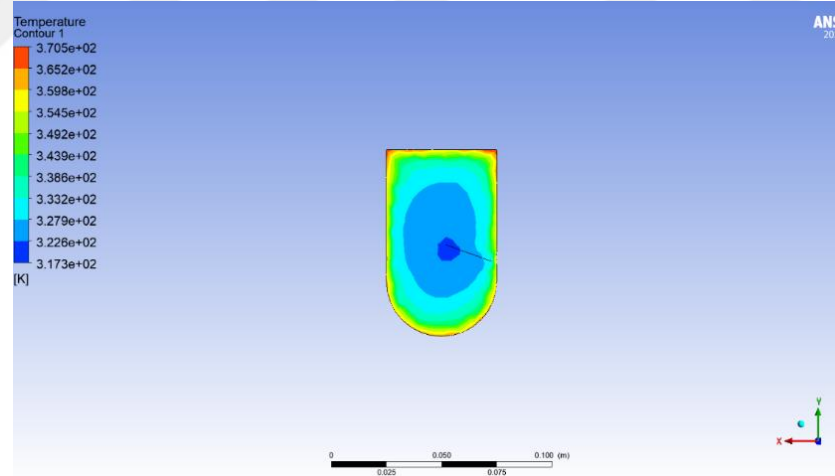
Şekil 4.12. 09:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.13.'de helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.13. 09:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

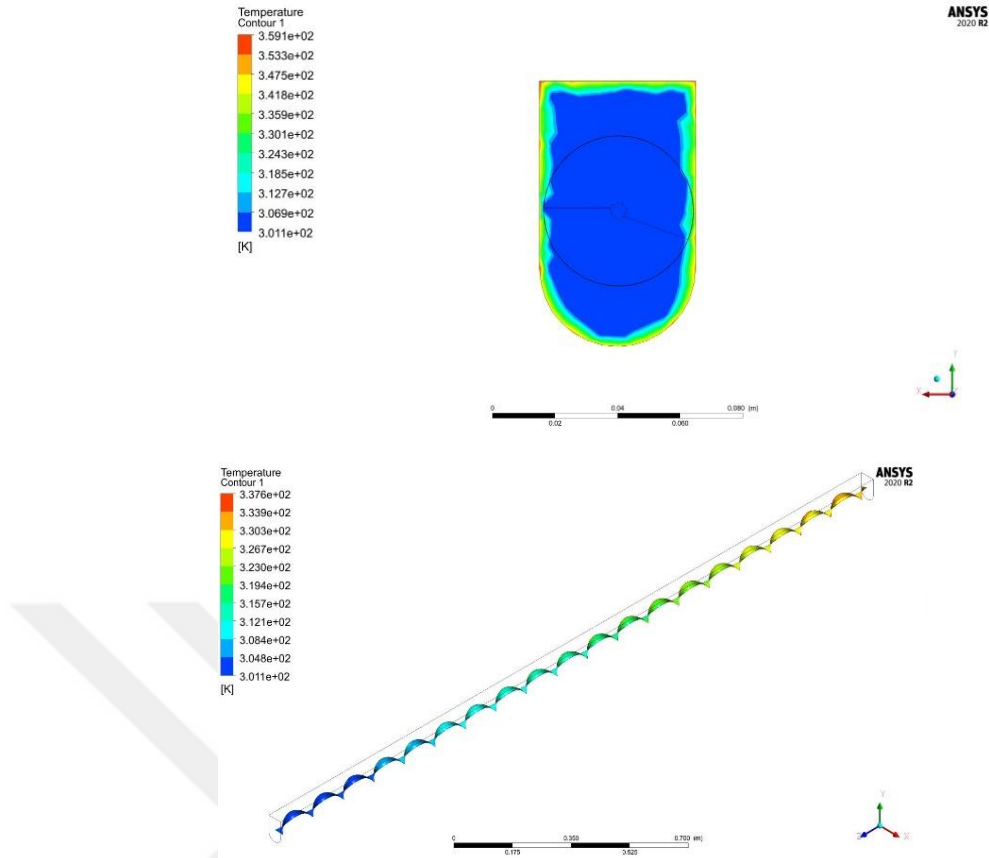
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatteki veriler kullanıldığında $63,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur (bkz. Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. 09:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

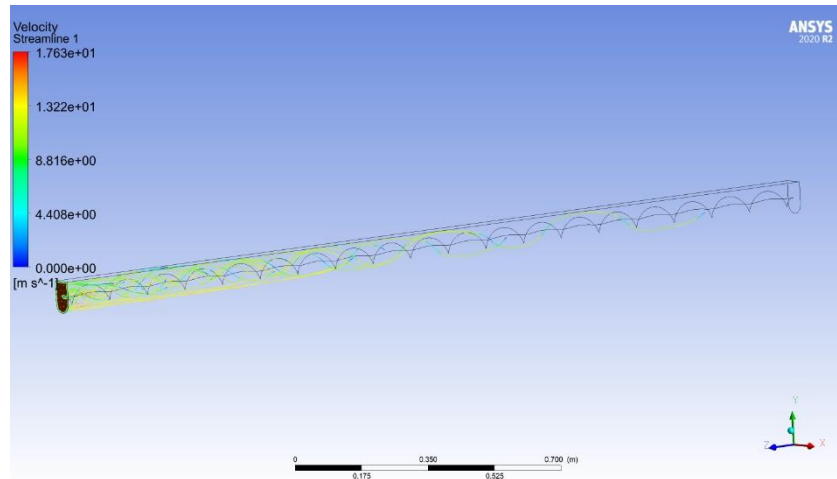
4.2.3. 10:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

Burada saat 10:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı $27,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, ışıınım şiddeti ise $1264,8\text{ W/m}^2$, hava giriş sıcaklığı ise $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur (bkz. Şekil 4.15.).



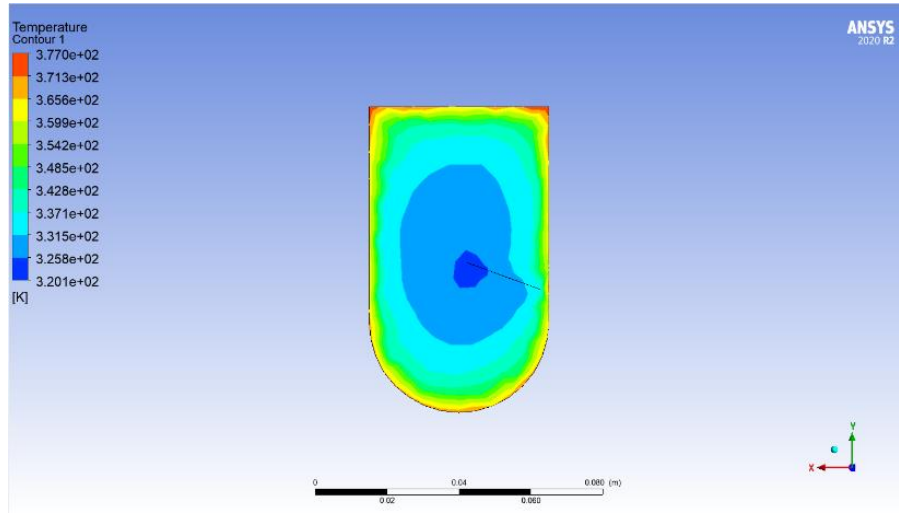
Şekil 4.15. 10:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.16.'da helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu akış ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.16. 10:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

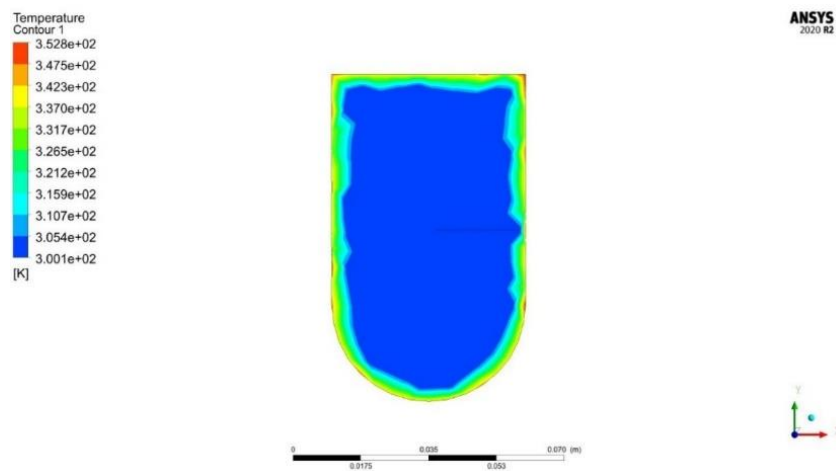
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatte veriler kullanıldığı zaman 64,6 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.17.).

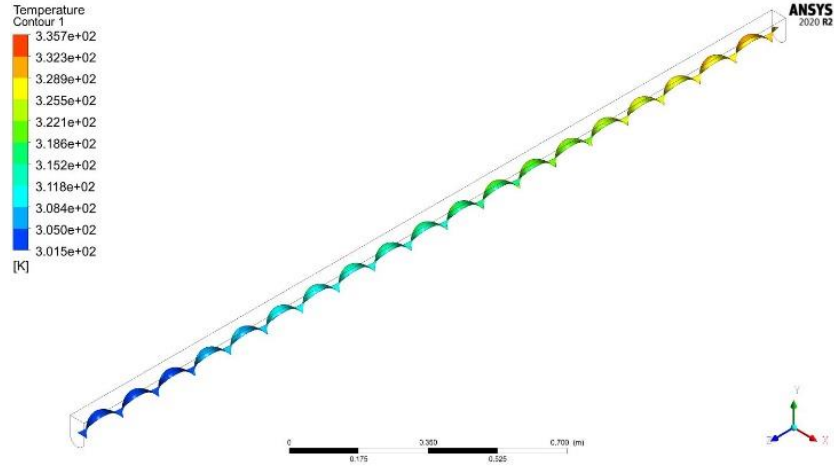


Şekil 4.17. 10:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

4.2.4. 11:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

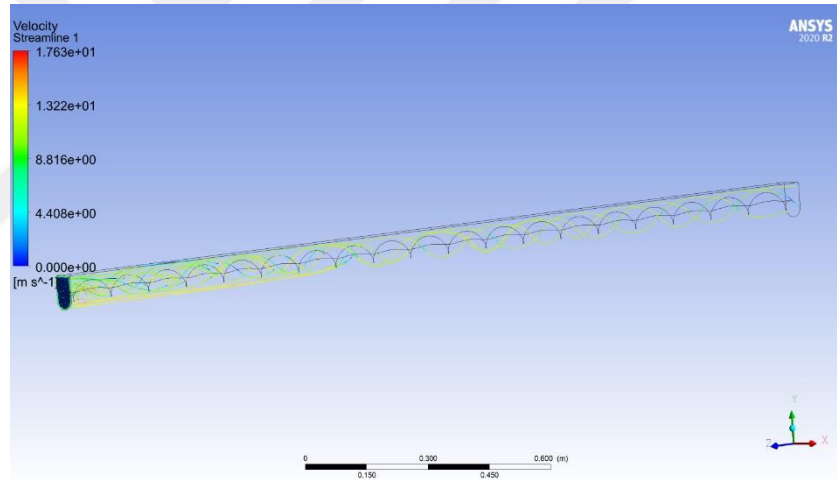
Burada saat 11:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı $30,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, ışıınım şiddeti ise 1331 W/m^2 , hava giriş sıcaklığı ise $28,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur (bkz. Şekil 4.18.).





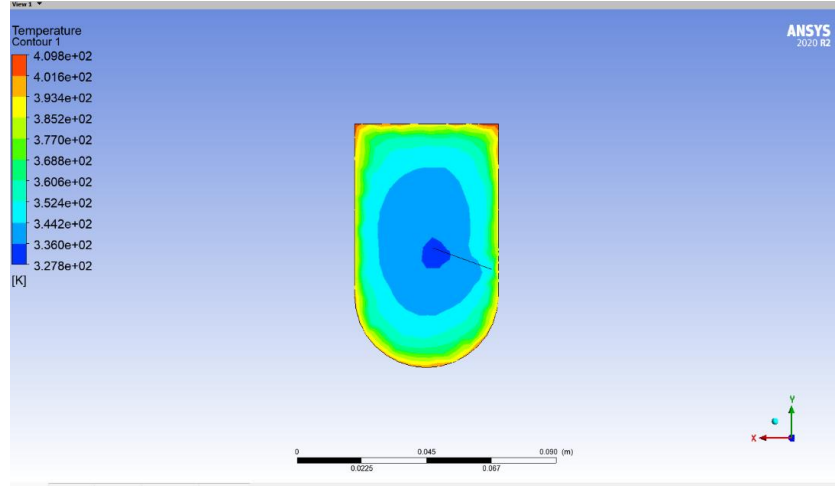
Şekil 4.18. 11:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.19.'da helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.19. 11:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

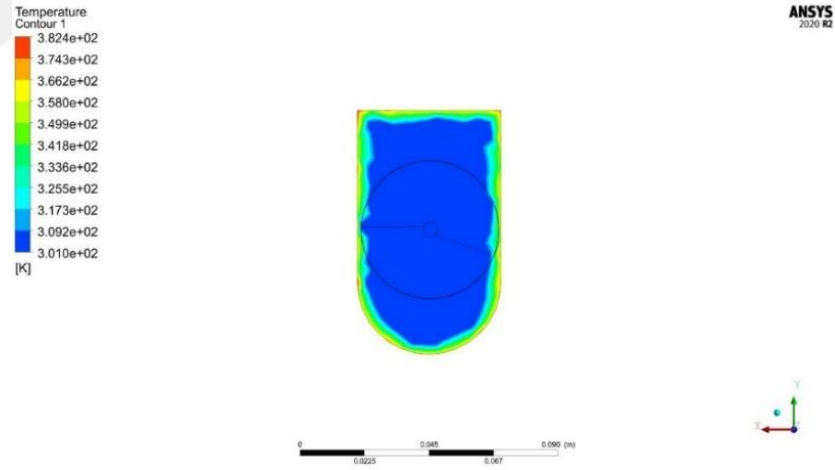
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatte veriler kullanıldığı zaman 77,4 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.20.).

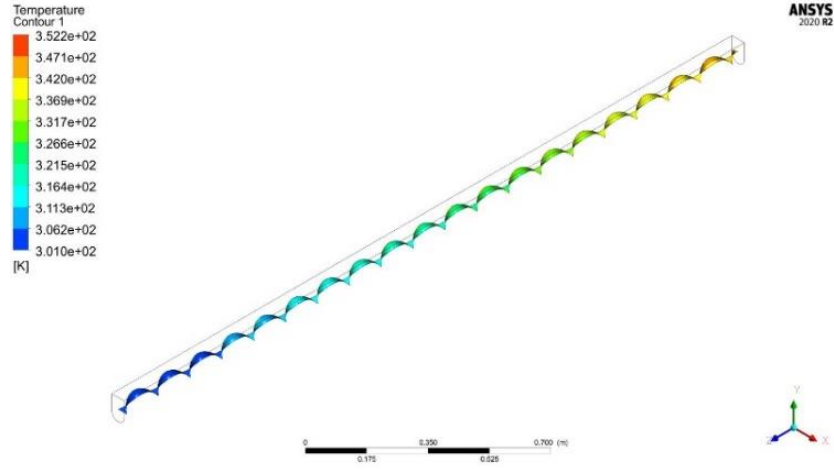


Şekil 4.20. 11:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

4.2.5. 12:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

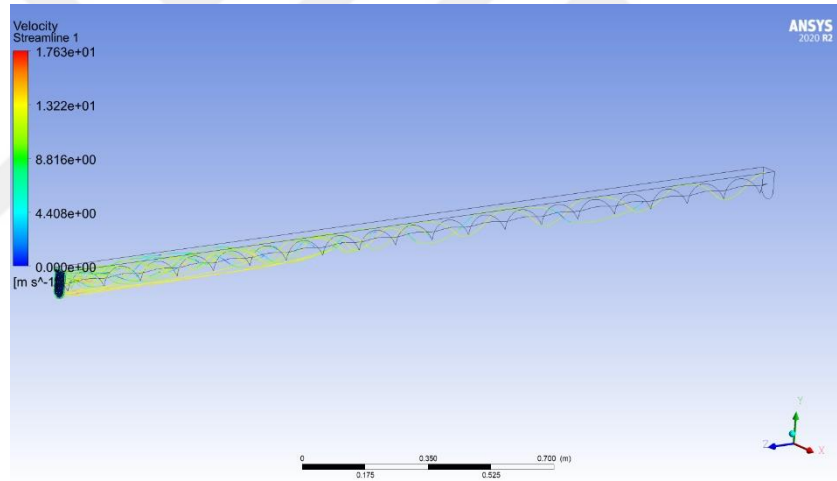
Burada saat 12:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı $30,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, ışıınım şiddeti ise $1451,3\text{ W/m}^2$, hava giriş sıcaklığı ise $29,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur (bkz. Şekil 4.21.).





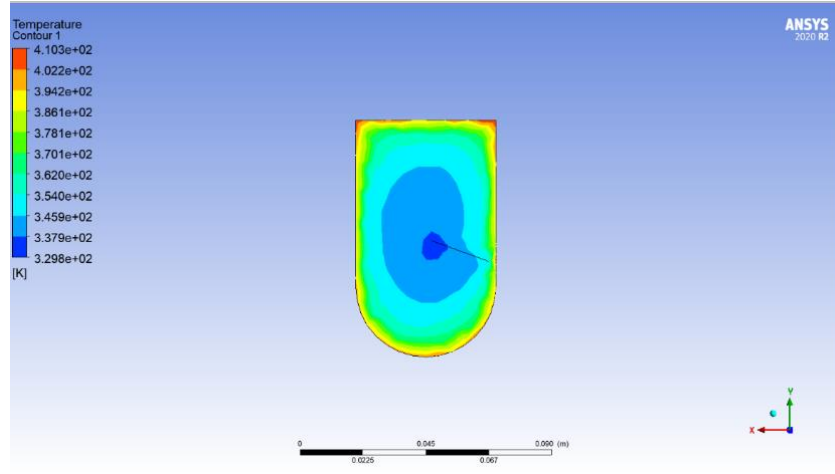
Şekil 4.21. 12:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.22.'de helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.22. 12:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

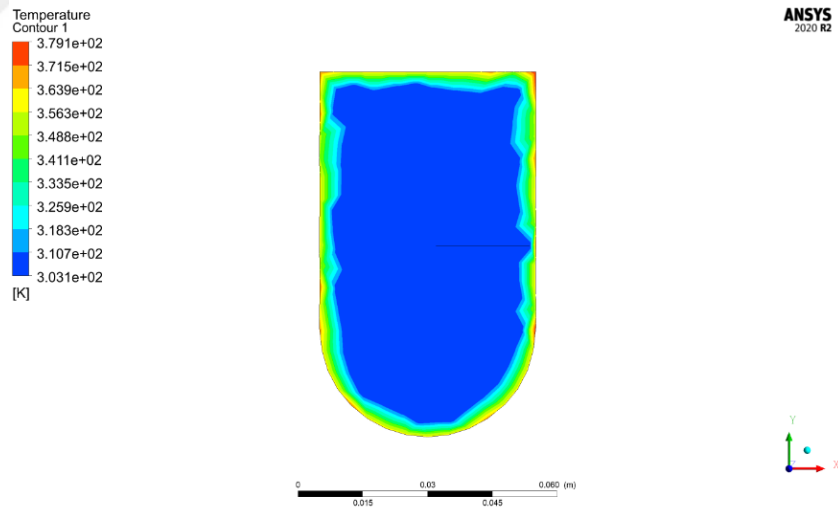
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatte veriler kullanıldığı zaman 79.8 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.23.).

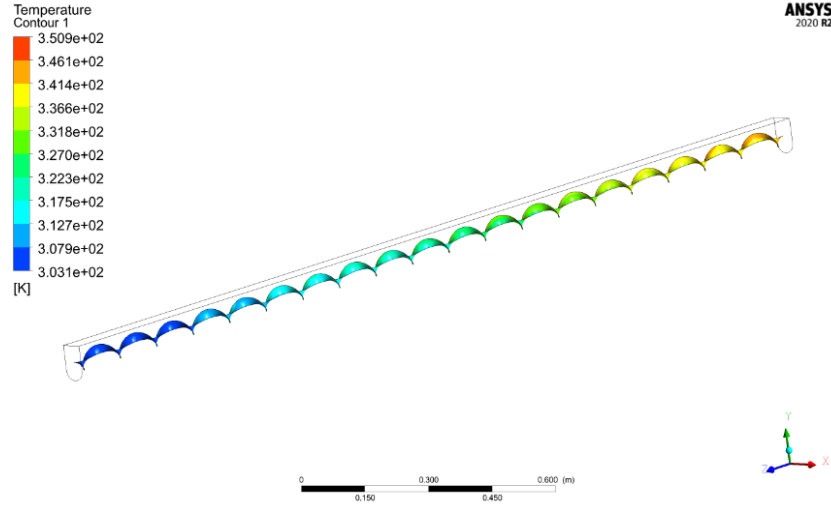


Şekil 4.23. 12:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

4.2.6. 13:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

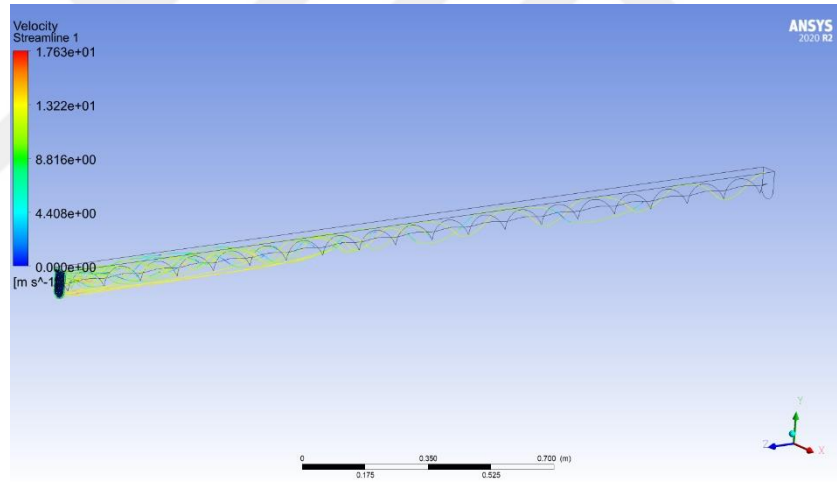
Burada saat 13:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı $32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, ışıınım şiddeti ise $1453,5\text{ W/m}^2$, hava giriş sıcaklığı ise $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur (bkz. Şekil 4.24.).





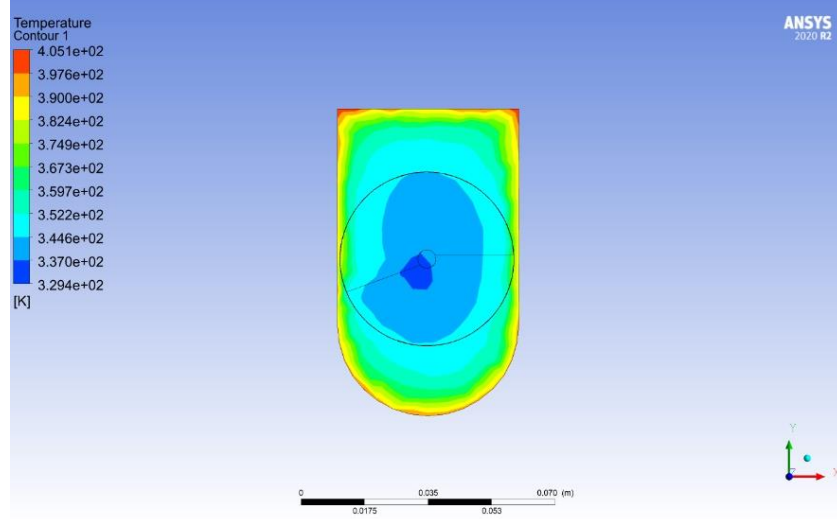
Şekil 4.24. 13:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.25.'de helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.25. 13:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

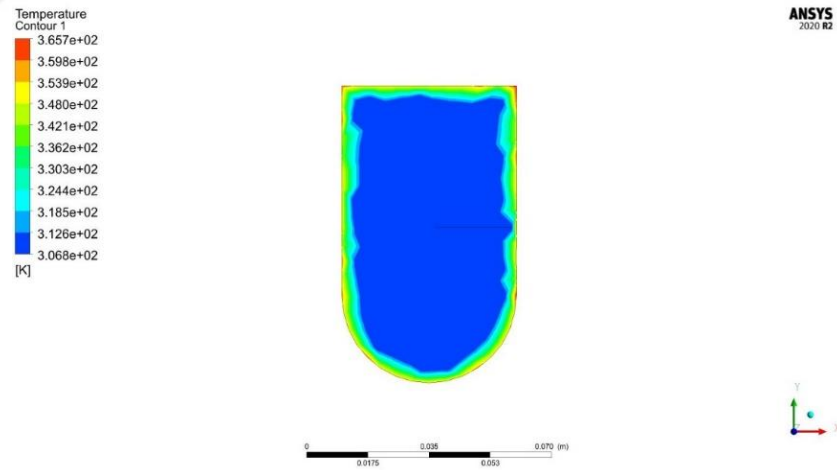
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatte veriler kullanıldığı zaman 78,5 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.26.).

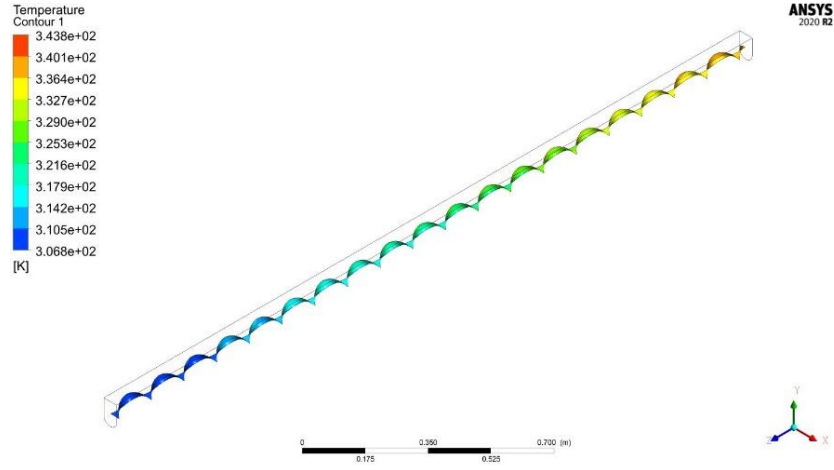


Şekil 4.26. 13:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

4.2.7. 14:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

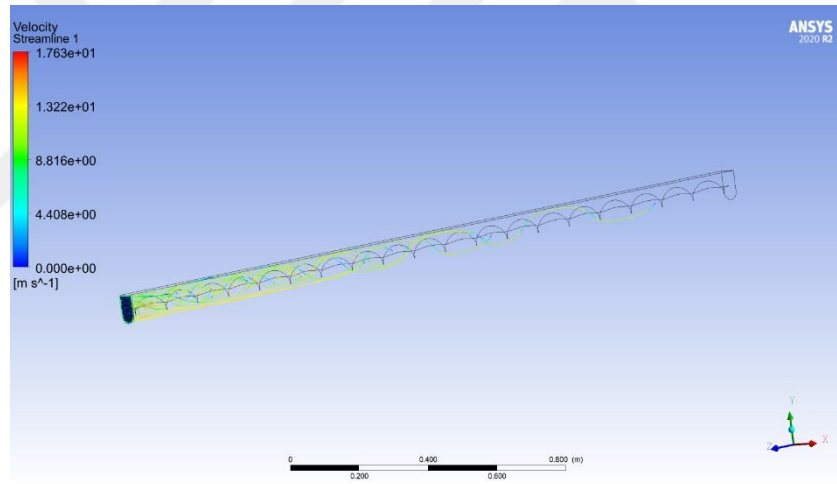
Burada saat 14:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı 34,7 °C, ışıınım şiddeti ise 1369 W/m², hava giriş sıcaklığı ise 33,6 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.27.).





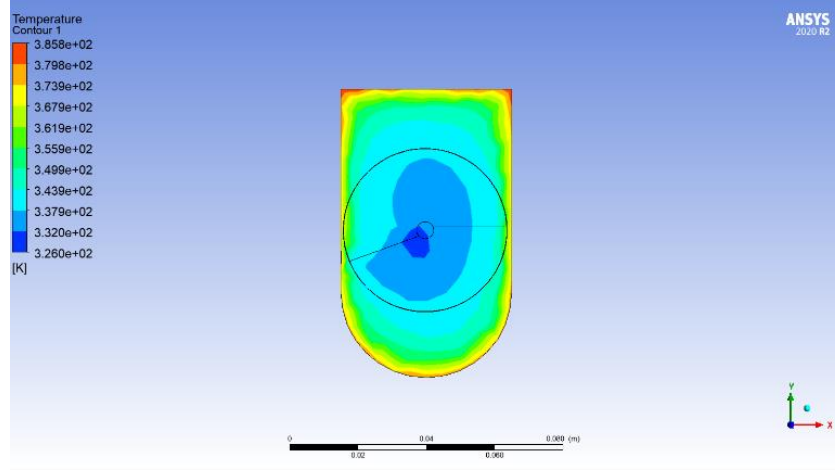
Şekil 4.27. 14:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.28.'de helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.28. 14:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

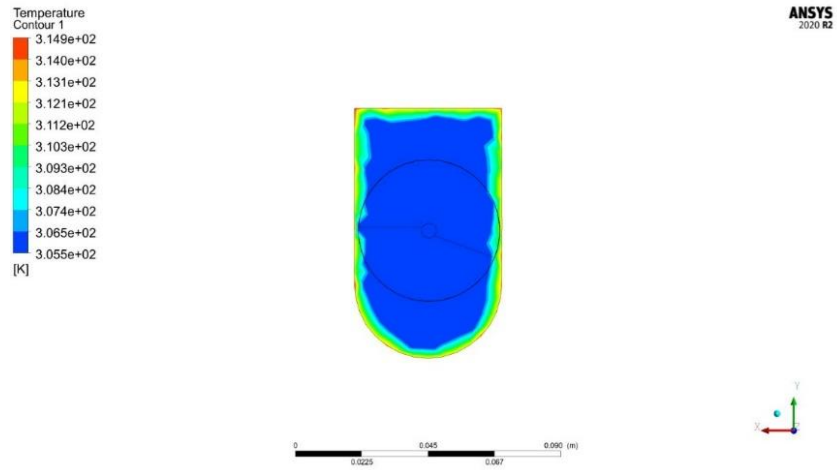
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatte veriler kullanıldığı zaman 71.2 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.29).

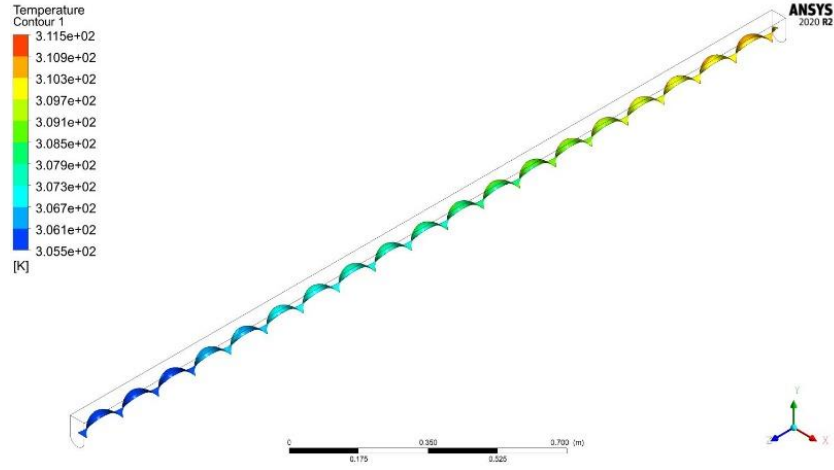


Şekil 4.29. 14:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

4.2.8. 15:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

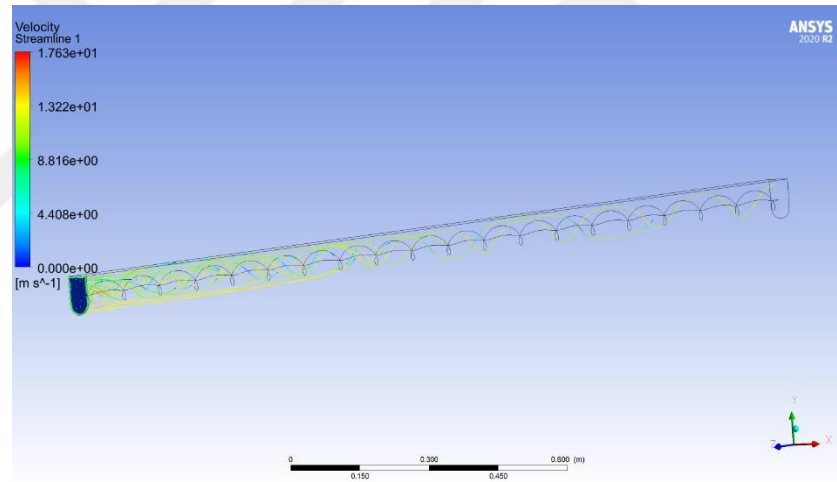
Burada saat 15:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı 32 °C, ışıınım şiddeti ise 1188 W/m², hava giriş sıcaklığı ise 32,4 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.30.).





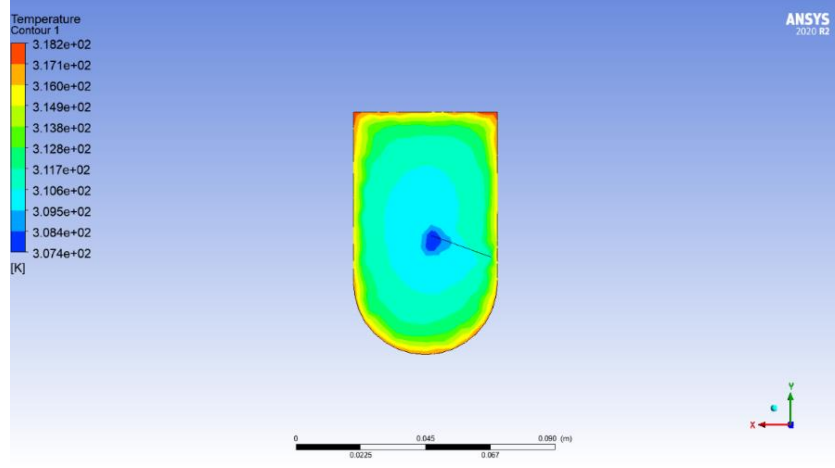
Şekil 4.30. 15:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.31.'de helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.31. 15:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

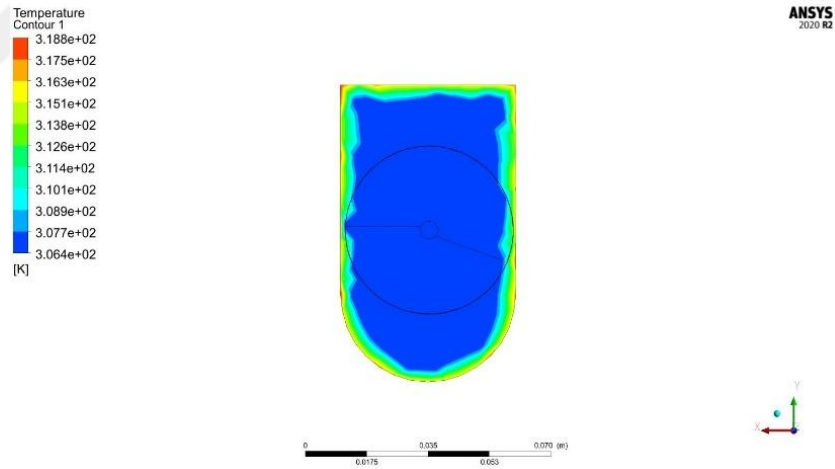
Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatteki veriler kullanıldığı zaman 37,8°C olmuştur (bkz. Şekil 4.32).

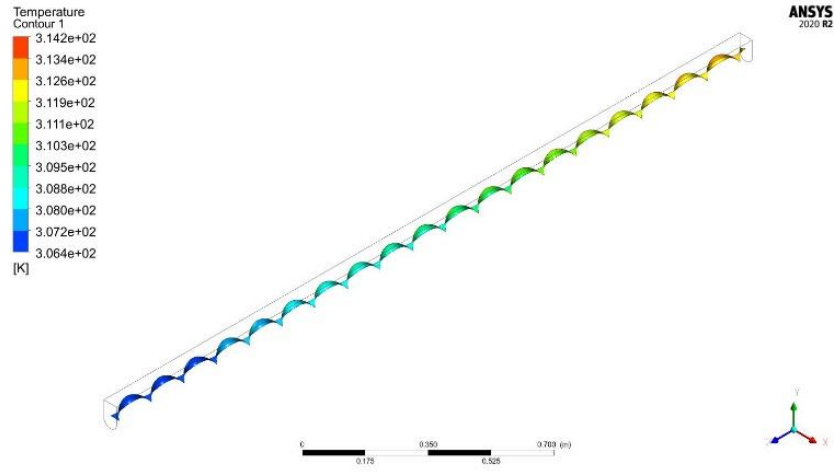


Şekil 4.32. 15:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

4.2.9. 16:00'da elde edilen verilere göre analiz sonucu

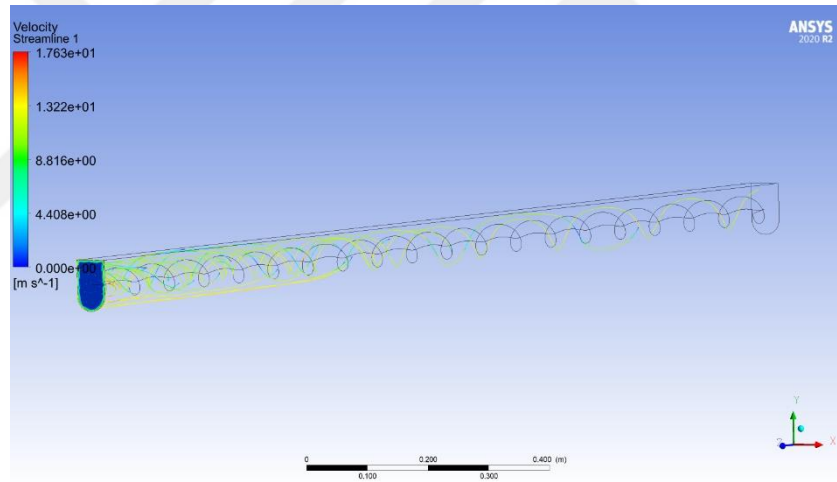
Burada saat 16:00'da kaydedilen veriler kullanılarak soğurucu borudan çıkan hava sıcaklığı incelenmiştir. Dış ortam sıcaklığı 31,2 °C, ışıma şiddeti ise 720 W/m², hava giriş sıcaklığı ise 33,3 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.33.).





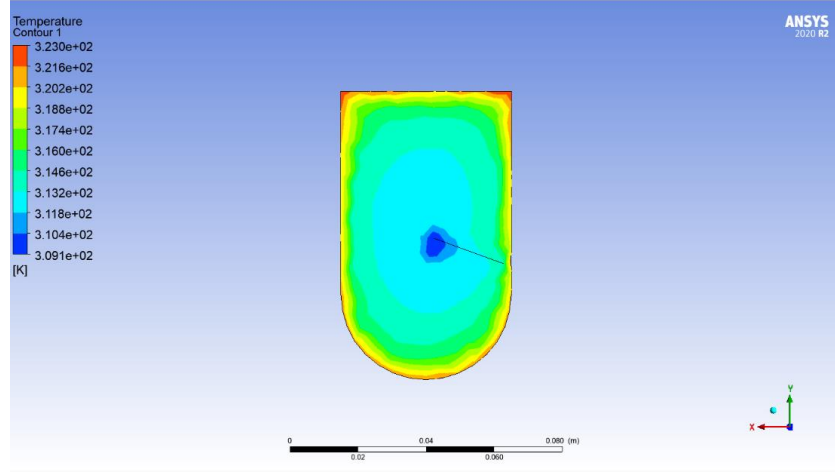
Şekil 4.33. 16:00'da kaydedilen verilere göre giriş sıcaklığı ve helezondaki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.34.'de helezonun soğurucu tüp boyunca oluşturduğu hava akışı ve giderek azalan türbülans gösterilmektedir.



Şekil 4.34. 16:00'da kaydedilen verilere göre soğurucu tüp boyunca hava akışı

Ortalama hava çıkış sıcaklık değerleri bu saatteki veriler kullanıldığı zaman 41,8 °C olmuştur (bkz. Şekil 4.35.).



Şekil 4.35. 16:00'da kaydedilen verilere göre çıkış sıcaklığı dağılımı

4.3 Konseptin önceki çalışmalarla doğrulanması

Bu bölümde helezonlu parabolik oluklu hava güneş kollektörü konsepti, daha önce gerçekleştirilen helezon eklentili çalışmalarla doğrulanmıştır. Parabolik oluklu güneş kollektörleri ile ilgili çalışmalara bakıldığında zaman farklı geometri, tasarım ve çalışma ısılarına sahip modeller bulunmaktadır. Literatürde deneyler arasındaki hata oranlarına bakıldığında %5 (Malekan vd., 2019), %8,75 (Zou vd., 2019), %8,96 (Allauddin vd., 2023) gibi sonuçlara varılmıştır. Deneysel ve nümerik çalışmalar doğrultusunda elde edilen hava çıkış sıcaklık değerleri karşılaştırılarak hata oranı %6,71 olduğu gözlemlenmiştir.

(Pandey vd., 2022) Bakır u-borulu vakum tüplü güneş kollektörünün deneysel çalışmaları sonucunda elde edilen maksimum verimi %24,1 olarak elde edilmiştir. Çalışmada değerlendirdiğimiz modelin %64,96 maksimum verim değeriyle karşılaştırıldığında, u-borulu vakum tüplü güneş kollektöründen daha yüksek sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Helezonlu soğurucu tüpün elde ettiği termal verimin %64,96 olduğu göz önünde bulundurulduğunda, helezon ekinin diğer geometrilere göre sistemin genel verimliliğini arttırdığı görülmektedir. Bunun nedeni helezon ekinin soğurucu tüpün geometrisinde oluşturduğu daha dar açılı alandan daha türbülanslı akışın geçmesidir. Elde edilen hem deneysel hem de nümerik sonuçlar bu tasarımın ısı akışını iyileştirdiğini desteklemektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminin dış ortamda deneysel testleri gerçekleştirilerek elde edilen verilere göre nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel testler sonucunda veri toplama cihazlarından elde edilen değerlerle nümerik analiz sonuçların karşılaştırılması gerçekleştirilmiş ve incelenmiştir. Deneysel çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (BİTAM) gerçekleştirilmiştir. Nümerik analizler ise bilgisayar tabanlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS Workbench 2020 R2'te gerçekleştirilmiştir.

Parabolik oluklu güneş kolektörünün dış ortam şartlarında performansını ve verimliliğini araştırmak adına deney düzeneği, veri toplama cihazları ile beraber 12 Eylül 2022 tarihinde teste tabi tutulmuştur. Test gününde dış ortam şartlarına bakıldığında, hava açık ve güneşli, hava sıcaklığının ise 19°C-35 °C arasında seyretmekte olduğu görülmektedir. Testler 08:00'da başlamış ve 16:00'da bitmiştir. Tüm veriler Novus datalogger tarafından 5 saniyelik bir örnekleme hızında (hem ASTM E905-87 hem de ISO 9806 standartlarının izin verdiği orta değer) kaydedilmiştir. Kaydedilen verilere göre sistemin enerji, ekserji, optik ve termal hidrolik verimleri hesaplanmıştır. Dış ortamda yapılan deneysel testlerden sonra sistemin nümerik analizlerini gerçekleştirmek ve sonraki çalışmalar için iyi bir model oluşturmak adına bilgisayar tabanlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS Workbench 2020 R2 programının ANSYS Fluent modülünde sistemin ısı analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 5'te hem deneysel hem de nümerik çalışmalar sonucu elde edilen sıcaklık verileri verilmiştir;

Tablo 5. Deneysel ve nümerik çalışmalardan elde edilen veriler

Saat	Hava girişi sıcaklığı (°C)	Deneysel sonuçlara göre hava çıkışı sıcaklığı (°C)	Nümerik sonuçlara göre ortalama hava çıkışı sıcaklığı (°C)	Hata oranı (%)
08:00	23	51.6	52.7	2.1
09:00	23.7	68.7	63.8	7.1
10:00	28	75.3	64.6	14.2
11:00	28.4	81.3	77.4	4.7
12:00	29.2	84.4	79.8	5.4
13:00	30	85.6	78.5	8.2
14:00	33.6	77.5	71.2	8.1
15:00	32.4	39.4	37.8	4
16:00	33.3	39.2	41.8	6.6

Gerçekleştirilen deneysel ve nümerik çalışmaları sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- Yansıtıcı ayna yüzeyindeki üst sağ (T_1), sol (T_2), orta (T_3), alt sağ (T_4) ve alt sol (T_5) noktalarının kaydettiği maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 54,3 °C, 59,6 °C, 47,4 °C, 52,6 °C ve 59,5 °C'dir. Deney başladığı saatten itibaren öğlen saatlerine kadar bu değerler artış hızında olup, güneş batımına yaklaştığında düşüş eğilimine geçmiştir. Deney bitimine yakın saatlerde sıcaklık değerlerinin güneş ışınımının azalması ile beraber azaldığı görülmektedir.
- Dış ortam sıcaklığı deney gününde 18°C-35°C aralığında seyretmiştir. En düşük dış ortam sıcaklığı 08:00-08:30 arasında 18,6 °C, en yüksek dış ortam sıcaklığı ise 13:00-14:00 aralığında 34,7 °C olarak kaydedilmiştir.
- Deney zamanı en düşük hava giriş sıcaklığı saat 08:00'da 23 °C en yüksek hava giriş sıcaklığı ise 14:00'da 33,6 °C olarak kaydedilmiştir. En düşük hava çıkış sıcaklığı 16:00'da 39,2 °C, en yüksek hava çıkış sıcaklığı ise 13:00'da 85,6 °C olarak ölçülmüştür.
- Hava giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak en yüksek enerji verimliliği %64,96 olarak hesaplanmıştır. En yüksek ekserji verimliliği en yüksek hava çıkış sıcaklığı

değerinde (85,6 °C) %35,7 elde edilmiştir. En yüksek termal hidrolik verim ise %65,2 olarak elde edilmiştir.

- Deneysel testlerden elde edilen hava çıkış sıcaklıklarıyla kıyaslandığında, nümerik analizlerin ortalama hata oranı %6,7 olmuştur.
- Yapılan optik analiz sonuçlarına göre optik verimliliğin gün doğumunda %41, gün batımında ise %58 olduğu görülmektedir. Optik verimlilik en yüksek değerine saat 13:00'da %77 olarak ulaştığı gözlemlenmiştir.

5.2. Öneriler

Tez çalışmasının bu bölümünde parabolik oluklu güneş kolektörünün verimliliği ve performansının daha da yükseltilmesi adına bazı önerilerde bulunulmuştur. Bu öneriler deneysel test çalışması zamanı elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki gibidir;

- Parabolik oluklu güneş kolektörünün soğurucu tüpe ekli spiral helezonun geometrisinde iyileştirmeler yapılabilir. Dönüş sayısının daha fazla olduğu bir helezon ısı transfer performansını daha da iyileştirerek sistem verimliliğini daha da arttırabilir.
- Parabolik oluklu güneş kolektörünün verimliliğinin tam anlamıyla kaydedilmesi ve incelenmesi adına dış ortamda mevsimsel, yıl boyu test çalışmaları yapılabilir. Dış ortam testlerinin farklı mevsim koşullarında yapılması sistemin yıl boyu göstereceği verimliliğin kaydedilmesi ve incelenmesi açısından önemlidir.
- Sistemde oluşan basınç farklarını kaydetmek için doğruluk ve hassasiyeti daha yüksek olan basınç transmitteri kullanılabilir.
- Parabolik oluklu güneş kolektöründe üretilen sıcak hava farklı amaçlar doğrultusunda (meyve kurutma, su tuzsuzlaştırma, solar pişirme vs.) kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

Aggrey Mwesigye. (2015). *Thermal performance and heat transfer enhancement of parabolic trough receivers-numerial investigation,thermodynamic and multi-objective optimisation*. Doktora tezi, University of Preatoria, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering.

Ajbar, W., Parrales, A., Huicochea, A., & Hernández, J. A. (2022). Different ways to improve parabolic trough solar collectors' performance over the last four decades and their applications: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C. 156. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111947>

Al-Aloosi, W., Alaiwi, Y., & Hamzah, H. (2023). Thermal performance analysis in a parabolic trough solar collector with a novel design of inserted fins. *Case Studies in Thermal Engineering*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103378>

Allauddin, U., Rafique, M. U., Malik, O., Rashid, O., Waseem, A., King, P., ... Almond, H. (2023). Investigation of the Thermo-hydraulic performance of a roughened Parabolic trough collector. *Applied Thermal Engineering*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119523>

Al-Rabeeah, A. Y., Seres, I., & Farkas, I. (2024). Experimental and numerical investigation of parabolic trough solar collector thermal efficiency enhanced by graphene–Fe₃O₄/water hybrid nanofluid. *Results in Engineering*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101887>

Baumer. (2023).

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1491698/IVO/PT1000.html>

Erişim tarihi: 4 Mayıs 2024

- Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2018). Investigation of a star flow insert in a parabolic trough solar collector. *Applied Energy*, 224, 86-102.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.099>
- Chakraborty, O., Roy, S., Das, B., & Gupta, R. (2023). Computational analyses of parabolic trough solar collector in the presence of helical coil-insert. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(1), 683-702.
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03891-1>
- Chakraborty, Oveepa, Das, B., Gupta, R., & Debbarma, S. (2020). Heat transfer enhancement analysis of parabolic trough collector with straight and helical absorber tube. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20.
<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100718>
- Chakraborty, Oveepa, Roy, S., Das, B., & Gupta, R. (2021). Effects of helical absorber tube on the energy and exergy analysis of parabolic solar trough collector – A computational analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 44.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101083>
- Chater, H., Asbik, M., Mouaky, A., Koukouch, A., Belandria, V., & Sarh, B. (2023). Experimental and CFD investigation of a helical coil heat exchanger coupled with a parabolic trough solar collector for heating a batch reactor: An exergy approach. *Renewable Energy*, 202, 1507-1519. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.108>
- Deniz Pınarlı. (2022). Simulation and control strategy adaptation of a parabolic trough collector integrated thermal system for industrial processes. Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erdogan, 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.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.037>

Fernández-García, A., Rojas, E., Pérez, M., Silva, R., Hernández-Escobedo, Q., & Manzano-Agugliaro, F. (2015). A parabolic-trough collector for cleaner industrial process heat. *Journal of Cleaner Production*, 89, 272-285.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.018>

Flir T. (2023).

https://www.itm.com/pdfs/cache/www.itm.com/flir_systems/thermal_imager/t420/datasheet/flir_systems_t420_thermal_imager_datasheet.pdf Erişim tarihi: 9 Mayıs

2024

Ghodbane, M., Boumeddane, B., Kadhim Hussein, A., Li, D., & Sivasankaran, S. (2021). Optical numerical investigation of a solar power plant of parabolic trough collectors. *Journal of Thermal Engineering (C. 7)*. Yildiz Technical University Press.

IEA. (2024). *Renewables 2023*. OECD.

<https://www.iea.org/reports/renewables-2023> Erişim tarihi: 9 Mayıs 2024.

Jafari Mosleh, H., Mamouri, S. J., Shafii, M. B., & Hakim Sima, A. (2015). A new desalination system using a combination of heat pipe, evacuated tube and parabolic through collector. *Energy Conversion and Management*, 99, 141-150.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.028>

John A.Duffie, & William A. Beckman. (2005). *Solar engineering of thermal processes (Third)*. John Wiley & Sons, New York.

- John A. Duffie, & William A. Beckman. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (Fourth). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken New Jersey.
- Kasperski, J., & Nemš, M. (2013). Investigation of thermo-hydraulic performance of concentrated solar air-heater with internal multiple-fin array. *Applied Thermal Engineering*, 58(1-2), 411-419.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.04.018>
- Kurşun, B. (2019). Thermal performance assessment of internal longitudinal fins with sinusoidal lateral surfaces in parabolic trough receiver tubes. *Renewable Energy*, 140, 816-827. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.106>
- Malekan, M., Khosravi, A., & Syri, S. (2019). Heat transfer modeling of a parabolic trough solar collector with working fluid of Fe₃O₄ and CuO/Therminol 66 nanofluids under magnetic field. *Applied Thermal Engineering*, 163.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114435>
- Mwesigye, A., & Meyer, J. P. (2017). Optimal thermal and thermodynamic performance of a solar parabolic trough receiver with different nanofluids and at different concentration ratios. *Applied Energy*, 193, 393-413.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.064>
- Mwesigye, A., Yılmaz, İ. H., & Meyer, J. P. (2018). Numerical analysis of the thermal and thermodynamic performance of a parabolic trough solar collector using SWCNTs-Therminol®VP-1 nanofluid. *Renewable Energy*, 119, 844-862.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.047>
- Nain, S., Ahlawat, V., Kajal, S., Anuradha, P., Sharma, A., & Singh, T. (2021). Performance analysis of different U-shaped heat exchangers in parabolic trough

solar collector for air heating applications. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100949>

Natividade, P. S. G., de Moraes Moura, G., Avallone, E., Bandarra Filho, E. P., Gelamo, R. V., & Gonçalves, J. C. de S. I. (2019). Experimental analysis applied to an evacuated tube solar collector equipped with parabolic concentrator using multilayer graphene-based nanofluids. *Renewable Energy*, 138, 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.091>

Noman, M., Wasim, A., Ali, M., Jahanzaib, M., Hussain, S., Ali, H. M. K., & Ali, H. M. (2019a). An investigation of a solar cooker with parabolic trough concentrator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100436>

Noman, M., Wasim, A., Ali, M., Jahanzaib, M., Hussain, S., Ali, H. M. K., & Ali, H. M. (2019b). An investigation of a solar cooker with parabolic trough concentrator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100436>

Norouzi, A. M., Siavashi, M., & Khaliqi Oskouei, M. H. (2020). Efficiency enhancement of the parabolic trough solar collector using the rotating absorber tube and nanoparticles. *Renewable Energy*, 145, 569-584. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.027>

Novus FieldLogger Datasheet. (2023). Novus FieldLogger Datasheet. https://www.novusautomation.com/site/default.asp?Idioma=1&TroncoID=608027&SecaoID=549361&SubsecID=705280&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=506190 Erişim tarihi: 9 Mayıs 2024

- Özcan, A. (2021). Parabolik oluk tipi güneş enerji sistemlerinin sıcak su üretiminde kullanılabilirliği. *Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Pandey, S., Mishra, S. K., Sharma, A., Verma, A. K., & Yadav, L. (2022). Performance analysis of evacuated tube type solar air heater with parabolic trough type collector. *International Journal of Energy and Water Resources*, 6(3), 337-351.
<https://doi.org/10.1007/s42108-021-00158-w>
- Parlamış, H., Özden, E., & Büker, M. S. (2021). Experimental performance analysis of a parabolic trough solar air collector with helical-screw tape insert: A comparative study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101562>
- Qu, W., Wang, R., Hong, H., Sun, J., & Jin, H. (2017). Test of a solar parabolic trough collector with rotatable axis tracking. *Applied Energy*, 207, 7-17.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.114>
- Quirante, M., & Valenzuela, L. (2012). Dimensioning a small-sized PTC solar field for heating and cooling of a hotel in Almería (Spain). *Energy Procedia*, 30, 967-973. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.109>
- Shawky, A. A., & Khalil, A. K. H. (2020). Design and Performance Analysis of Small-Scale Parabolic Trough Solar Collectors Using Sustainable Materials. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (ss. 172-180). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11136-1>
- T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024).
<https://enerji.gov.tr/haberdetay?id=21234#:~:text=Toplam%20kurulu%20güç%20106%20bin%20668%20megavat&text=Enerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20>

[Bakanlığı%20verilerine%20göre%20geçtiğimiz%20yıl%20Türkiye,neredeyse%20tamamı%20yenilenebilir%20kaynaklardan%20sağlandı.](#)

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası. (2023).

<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim tarihi: 9 Mayıs 2024

Ullah, F., & Kang, M. (2017). Impact of air flow rate on drying of apples and performance assessment of parabolic trough solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 127, 275-280. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.101>

Yılmaz, İ. H., & Mwesigye, A. (2018). Modeling, simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors: A comprehensive review. *Applied Energy*, C, 225, ss. 135-174. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.014>

Yılmaz, İ. H., Mwesigye, A., & Göksu, T. T. (2020). Enhancing the overall thermal performance of a large aperture parabolic trough solar collector using wire coil inserts. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100696>

Zhao, Z., Bai, F., Zhang, X., & Wang, Z. (2020). Experimental study of pin finned receiver tubes for a parabolic trough solar air collector. *Solar Energy*, 207, 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.070>

Zhu, X., Zhu, L., & Zhao, J. (2017). Wavy-tape insert designed for managing highly concentrated solar energy on absorber tube of parabolic trough receiver. *Energy*, 141, 1146-1155. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.010>

Zou, B., Jiang, Y., Yao, Y., & Yang, H. (2019). Thermal performance improvement using unilateral spiral ribbed absorber tube for parabolic trough solar collector. *Solar Energy*, 183, 371-385. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.048>