



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİR GÜNEŞ BACASI
SİSTEMİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR
DİNAMİĞİ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Ousmane DIALLO

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2025

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ousmane DIALLO tarafından hazırlanan ‘‘Küçük Ölçekli bir Güneş Bacası Sisteminin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemiyle İncelenmesi’’ adlı tez çalışması 09/09/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

.....

Danışman

Prof. Dr. Faruk KÖSE

.....

Üye

Doç. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ousmane DIALLO

Tarih: 09.09.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİR GÜNEŞ BACASI SİSTEMİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Ousmane DIALLO

Konya Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Faruk KÖSE

2025, 91 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Faruk KÖSE

Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

Doç. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY

Dünya nüfusunun artması ve teknolojik gelişmeler sebebiyle enerjiye olan ihtiyaç çok fazla artmıştır. Çevre kirliliği önlemek ve azaltmak için de yenilenebilir enerjilere olan ilgi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisine yönelim de son yıllarda önemli ölçüde artış göstermiştir.

Bu çalışmada, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde var olan güneş bacası sisteminin üzerinde araştırma yapılmıştır. Güneş bacasında Konya iline ait 2024 yılı aylık ortalama meteorolojik veriler kullanılarak kollektör içindeki hava akış hızı ile oluşan sıcaklık farkı incelenmiş; bu doğrultuda hem kollektör verimi hem de güneş bacası sistem verimi analizi yapılmıştır. Söz konusu yıllık ve uzun dönem veriler temel alınarak teorik analizler, hesaplamalar ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonları kullanılarak modellemeler yapılmıştır. 2024 Mayıs ayı meteoroloji aylık ortalama verileri ile kollektör giriş hızı 0,53 m/s iken kollektör verimi %68,3 ve sistem verimi de %1,85 olarak en yüksek değerler olarak elde edilmiştir. Analiz sonuçları ile simülasyon çıktıları karşılaştırılmış, elde edilen bulguların doğruluğu ve tutarlılığı değerlendirilmiştir. Ayrıca baca girişinde hava akış hızları 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s ve 5 m/s olacak şekilde teorik analizler yapılmış; bu sonuçlar HAD (Fluent) analizleri ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların birbirine yakın oldukları görülmüştür.

Sonuç olarak, teorik analizler ile HAD simülasyonları arasında belli bir uyum olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar HAD tabanlı analiz tekniklerinin akışkan mekaniği ve meteorolojik veriler için güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar da literatür verilenleri ile uyumludur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Güneş bacası, Meteoroloji, Kollektör, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) fluent, Hava durumu.

ABSTRACT

MS THESIS

**AN ANALYSIS OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS IN A
SMALL-SCALE SOLAR CHIMNEY SYSTEM**

Ousmane DIALLO

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Faruk KÖSE

2025, 91 Pages

Jury

Prof. Dr. Faruk KÖSE

Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

Doç. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY

The demand for energy has increased significantly due to the increasing world population and technological advancements. Interest in renewable energy has also increased to prevent and reduce environmental pollution. The trend towards solar energy, a renewable energy source, has also increased significantly in recent years.

In this study, research was conducted on the solar chimney system existing at the Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Konya Technical University. Using the monthly average meteorological data for Konya province for 2024, the temperature difference created by the air flow velocity in the collector was examined; in this context, both the collector efficiency and the solar chimney system efficiency were analysed. Based on the annual and long-term data, theoretical analyses, calculations, and modeling were performed using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations. With the monthly average meteorological data for May 2024, the collector inlet velocity was 0.53 m/s, while the collector efficiency was 68.3% and the system efficiency was 1.85%, the highest values were obtained. The analysis results were compared with the simulation outputs, and the accuracy and consistency of the findings were evaluated. Furthermore, theoretical analyses were conducted with air flow velocities at the chimney inlet set to 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, and 5 m/s; these results were compared with HAD (Fluent) analyses, and it was observed that the obtained results were close to each other.

Consequently, a certain agreement was observed between the theoretical analyses and CFD simulations. These results demonstrate that CFD-based analysis techniques are a reliable method for fluid mechanics and meteorological data. The obtained results are also consistent with those reported in the literature.

Keywords: Renewable energy, Solar chimney, Meteorology, Collector, Computational Fluid Dynamics (CFD) Fluent, Weather data.

ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, günümüzde çevresel sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği açısından her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda, güneş enerjisi temelli sistemler arasında yer alan güneş bacaları, düşük bakım maliyetleri ve çevre dostu yapıları sayesinde dikkat çekmektedir. Bu tez çalışması, bir güneş bacasında verim artırmaya yönelik yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tabanlı yöntemlerin karşılaştırmalı olarak ele alınmasını ve sistem performansına etkilerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, gelecekteki tasarımlar için yön gösterici olabilecek nitelikte olup, mikro güneş bacası sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

Tez sürecim boyunca bilgi ve uzmanlığıyla bana rehberlik eden ve her zaman bana destek olan değerli Sayın Prof. Dr Faruk KÖSE 'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca SOLİDWORKS programını üzerinde güneş bacasını tasarlariken destek veren değerli arkadaşım sayın Fatih YEŞİLYURT'a teşekkür ederim. Hem modelleme düzeltmesini hem de HAD simülasyonu çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım sayın Abdullah Billo DIALLO'ya teşekkür ederim. Hem moral hem destek olarak hem de motivasyon konusunda her zaman bana destek olan aileme minnettarım.

Son olarak, bu çalışmanın yenilenebilir enerji alanında yapılacak diğer araştırmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Ousmane DIALLO

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Bacası Sistemlerinin Tarihçesi ve Bölgesel Uygulamaları.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
2.1. Güneş Bacası Sisteminin Çalışma Prensipleri ve Temel Mekanizması	11
2.2. Güneş Bacası Sistem Temel Bileşenleri	12
2.2.1. Kollektör	15
2.2.2. Baca Yüksekliğinin Hava Akışı ve Verim Üzerindeki Etkisi.....	18
2.2.3. Güneş Bacası Türbinin Çalışma Prensibi	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Güneş Bacası Sisteminin Teorik Analiz Yöntemi	22
3.1.1. Güneş Bacası Teorik Hesaplamaları	23
3.1.2. Güneş Bacası Türbin Teorik Analizi	27
3.2. Güneş Bacası Sisteminin Tasarımı ve Tasarım Kriterleri	30
3.2.1. Güneş Bacası Türbin Tasarımı	31
3.2.2. Türbin Kanat Profillerinin Uygun Seçilmesi	32
3.3. Güneş Bacası Türbin Rotoru ve Kanatın Boyutlandırılması	34
3.3.1. Türbin Kanatlarının SOLIDWORKS Çizimi ve Tasarımı	35
3.4. Güneş Bacası Verim Artırma HAD Yönteminin Analizi	39
3.4.1 HAD simülasyon işlem öncesi.....	40
3.4.2. HAD simülasyon ve denklem çözümü	41
3.4.3. HAD Simülasyon İşlem Sonrası	41
3.5. HAD Simülasyon Yönelimiyle Hesaplamalar	41
3.5.1. ANSYS Fluent içinde geometri oluşturulması	46
3.5.2. Kafes Oluşturulma Yöntemi ve Hesabı	47
3.5.3. Modelleme ve Sayısal Çözüm Yöntemi	49
3.5.4. Sınır şartlarının tanımlaması.....	50
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	54
4.1. Teorik Analizleri ve HAD Fluent Sonuçları ve Tartışma.....	54
4.1.1. Güneş Bacası Sisteminin Teorik Analizin Sonuçları.....	55
4.1.2. ANSYS Fluent ile Güneş Bacası Sisteminin Sayısal Analizi.....	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84

5.1. Sonuçlar	84
5.2. Öneriler	84
KAYNAKLAR	86
EKLER	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	: Yüzey yutma katsayısı (boyutsuz)
ε	: Yüzey yayma katsayısı (boyutsuz)
C_p	: Özgül ısı (J/kg.K)
ΔT	: Sıcaklık değişimi (°C)
Δp	: Basınç değişimi (Pa)
Ψ	: Basınç sayısı
ΔP	: Basınç farkı (Pa)
E	: Enerji (J)
η_t	: Türbin verimi
A_{baca}	: Baca kesit alanı (m ²)
A_t	: Kollektör giriş alanı (m ²)
u	: Çevresel hızı (m/s)
V	: Akış hızı (m/s)
$V_{\text{baca,maks}}$: Baca içindeki maksimum akış hızı (m/s)
$V_{\text{baca,ort}}$: Baca girişinde ortalama akış hızı (m/s)
V_{koll}	: Kollektör altı hava hızı (m/s)
V_{ort}	: Ortalama akış hızı (m/s)
ν	: Akışkanın kinematik viskozitesi (m ² /s)
T_0	: Çevre sıcaklığı (°)
B	: Hatve açısı (°)
Δ	: Deklinasyon açısı (°)
λ_b	: Başlık oranı
d_1	: Türbin rotor çapı (m)
\dot{m}	: Kütleli debisi (kg/s)
\dot{V}	: Hacimsel debisi (m ³ /s)
Re	: Reynolds sayısı (boyutsuz)

Kısaltmalar

EES	: Mühendislik Denklem Çözücü
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
NACA	: Ulusal Havacılık Danışma Kurulu
CFD	: Computational Fluid Dynamic - Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
RNG	: Renormalization Group - Renormalizasyon grup

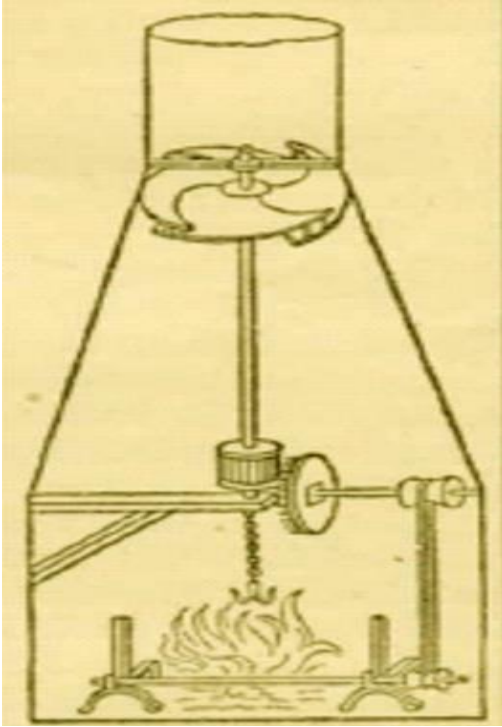
1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, küresel nüfus artışının yanı sıra çevre koruma hedeflerinin bir sonucu olarak kaçınılmaz hale gelmiştir. Enerji talebi, hızla artan sanayileşme nedeniyle önemli ölçüde artmıştır. Bu talebin karşılanmasında çevreye zarar vermeyen sürdürülebilir çözümler bulmak zorunludur. Yenilenebilir enerji kullanımına öncelik verilmesi, çevresel sorunların giderek artmasıyla dünya çapında kabul gören bir yaklaşımdır. Güneş enerjisinin düşük maliyetli ve kolay erişilebilirliği nedeniyle enerji üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın ve potansiyeli yüksek yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Güneş bacaları kullanılarak elektrik üretmek, yenilenebilir enerji teknolojilerinin önemli uygulama alanlarından biridir. Bir güneş bacası enerji santrali, hava akışını kullanan bir türbin, güneş ışınımını toplayan bir hava kolektörü ve hava akışından elektrik üreten merkezi bir bacadan oluşur. Güneş enerjisinin kolektörden emilmesi, havanın yoğunluğunu değiştirerek konvektif bir akış başlatır. Bu hava akışını türbin elektrik enerjisine dönüştürmektedir (Kasaeian ve ark., 2017). Güneş bacaları, güneş enerjisinin kullanıldığı termal yöntemlerden biridir. Diğer yaklaşımlar düşük sıcaklıklarda termal yöntemler kullanır. Kolektör, türbin ve baca, güneş bacasının üç ana bileşenidir. Güneş ışığı kolektördeki havanın ısınmasına ve yükselmesine neden olur ve bu da bacada bir akış hareketi oluşturur. Bu nedenle güneş enerjisi ilk olarak ısı enerjisine dönüştürülür ve daha sonra hareket enerjisine dönüştürülmektedir. Bu, güneş enerjisinin önce ısı enerjisine, daha sonra hareket enerjisine dönüştürülmesini sağlamaktadır (Güzel, 2019). Bir jeneratör ve bir türbin baca girişine yerleştirilir ve hareket enerjisinden elektrik enerjisi üretmektedir (Köse, 2018).

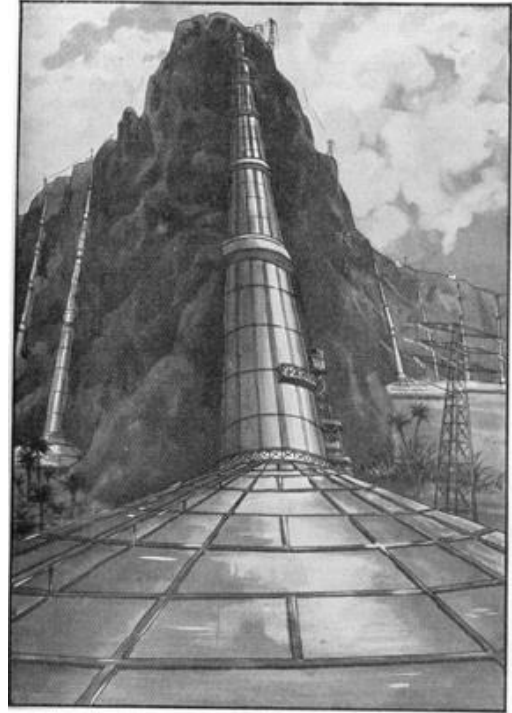
1.1. Güneş Bacası Sistemlerinin Tarihçesi ve Bölgesel Uygulamaları

Teorik olarak, güneş bacası enerji santralinin ilk uygulaması 1980'lerde başlamış olsa da, fikir ilk olarak 1450'lerden 1500'lere kadar Leonardo Da Vinci tarafından yapılan duman jakı olarak benimsenmiştir. Bununla birlikte, İspanyol mühendis Isidoro Cabanyes, 1903 yılında güneş bacalarını kullanarak enerji üretmeyi öneren ilk kişi olmuştur. 1926 yılında Profesör Bernard Dubos, güneş bacası sistemlerinin bugünkü tanımını dikkate alarak Kuzey Afrika'da bir dağ yamacında inşa edilmiş olan güneş enerji santralleri fikrini geliştirilmiştir. Robert Lucier 1975 yılında kapsamlı bir patent başvurusunda bulunmuş ve araştırmacılar bunu inceledikten sonra 1981 yılında

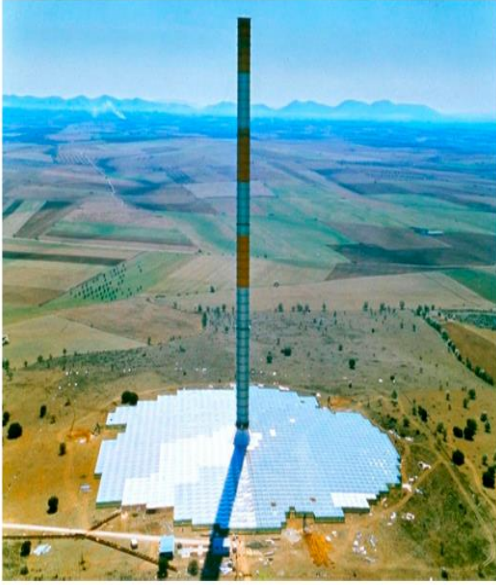
onaylanmıştır. 1982 yılında Jörg Schlaich liderliğindeki Alman ekiple birlikte İspanya'nın Manzanares kentinde 200 m yüksekliğinde ve maksimum 50 kW güç çıkışına sahip bir prototip yapmıştır. Dünya çapında çok sayıda güneş bacası enerji santrali, ilk prototipin üretilmesinden bu yana araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Cuce ve ark., 2022). Aşağıdaki şekillerinde güneş bacasının gelişimi zaman sırasına göre (1982-2020) Şekil 1.1'de verilmiştir. a) Leonardo da Vinci (1452-1519) tasarladığı (Pastohr, 2004); b) Güneş bacası fütürist temsili 1931 Günther tarafından sunulmuştur (Gün, 2013); c) 1982-1983 yıllarında İspanya'da kurulan Manzanares Güneş Bacası Test Tesisi kurulmuştur (Maia ve ark., 2019); d) 1997 yılında Padki ve Sherif tarafından Florida Enerji Servisi tarafından desteklenen bir projenin parçası olarak ABD'nin Florida bölgesinde inşa edilmiştir. Baca yüksekliği 7.92m, kolektör çapı 9.15m, baca giriş çapı 2.28m (Gün, 2013); e) Isparta Süleyman Demirel Üniversitesinde güneş bacası sistemi kurulmuştur (Koyun, 2006); f) PVC güneş bacası kölektör olarak (Zhou ve ark., 2007); g) Silindirik baca (Atit, 2009); h) Suriye'nin başkenti Şam'da güneş bacası prototipi (Kalash ve ark., 2013); i) Tahran Üniversitesi kampüsü güneş bacası kurulmuştur (Fadaei ve ark., 2018); j) Konya Teknik Üniversitesinde tasarlanan ve inşası gerçekleştirilen eğimli güneş bacası (Güzel, 2019); k) Hindistan'da deneysel bir güneş bacası prototipi (Mokrani ve ark., 2024). Çizelge 1.1'de güneş bacası tarihçesi verilmiştir.



a) Güneş bacası ilk fikri 1452-1519 İtalya (Pastohr, 2004)



b) Güneş bacası 1931 Almanya (Gün, 2013)



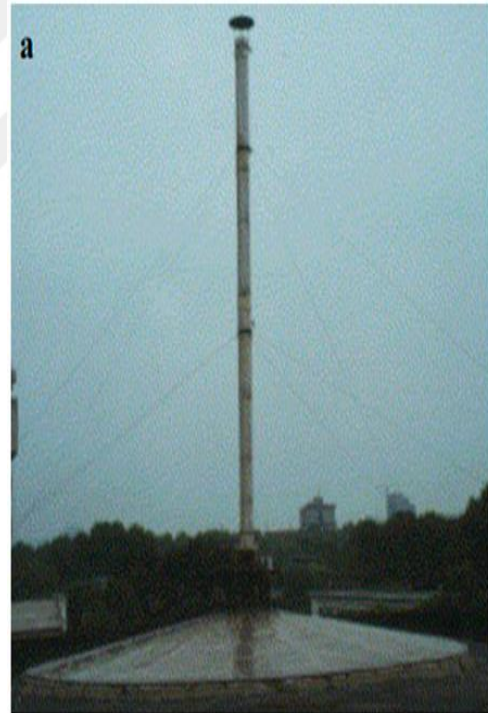
a) Güneş bacası 1982-1983 İspanya
(Maia ve ark., 2019)



d) Güneş bacası 1997 Avustralya
(Maia ve ark., 2019)



e) Güneş bacası 2006 Türkiye (Koyun, 2006)



f) Güneş bacası 2007 Çin (Zhou ve ark., 2007)



g) Güneş bacası 2009 Tayland (Atit, 2009)



h) Güneş bacası 2013 Süriye (Kalash ve ark., 2013)



i) Güneş bacası 2017 İran (Fadaci ve ark., 2018)



j) Güneş bacası 2019 Türkiye (Güzel, 2019)



k) Güneş bacası 2020 Cezayir (Mokrani ve ark., 2024)

Şekil 1.1. Tarih sırasına göre güneş bacası görselleri (a;b;c;d;e,f,g,h;i;j;k;)

Çizelge 1.1. Güneş bacası tarihçesi özeti

Güneş Bacaları Üzerinde Yapılan Farklı Deneysel Çalışmalar								
Konum	D_{koll} m	H_{bc} (m)	D_{bc} (m)	V_{maks}	ΔT (°C)	Kollektör malzemesi	Yıl	Yazar
Manzanares, İspanya	122	194.6	5.08	15	20	Plastik ve Cam	1983	(Haaf ve ark., 1983)
Florida,ABD	18.3	7.92	2.44	4	28	Plastik	1998	(Pasumarthi ve Sherif., 1998)
Hust,Çin	16	15	1.2	4.5	23	Cam	2006	(Ucgu ve ark., 2006)
Botsvana	10	8	0.3	-	24.1	Fiber cam ve Plastik	2007	(Zhou ve ark., 2007)
Tayland	8.2	8	2	-	-	Plastik	2009	(Atit, 2009)
Zanjan,İran	10	12	0.25	3	25	Plastik	2011	(Kasaeian ve ark., 2011)
Karak,Ürdün	6	4	0.2	2.309	22	Plastik	2011	(Ahmed , Chaichan, 2011)
Türkiye	3.2	3.8	0.12 - 0.37	4.67	20	Perpeks	2011	(Ahmed ve Patel, 2011)
Kerman,İran	-	22	2	4	7.5	Cam	2012	(Zuo ve ark., 2012)
Nanjing,Çin	11.58	4.88	0.19	2	-	Plastik	2012	(Raney ve ark., 2012)
Texas,ABD	40	60	3	-	-	Cam	2012	(Najmi ve ark., 2012)
Damascus,Suriye	27	17.15	0.8	5.5	21- 26	Cam	2012	(Bugutekin, 2012)
Tehran,İran	6.8	4	0.58	-	-	Plastik	2012	(Al-Dabbas, 2012)
Zanja,İran	-	9	0.31	2.9	19	Cam	2013	(Kalash ve ark., 2013)
Edirne,Türkiye	3	2	0.32	3	20- 35	Akrilik Sac	2014	(Motoyama ve ark., 2014)
Mısır	3	2	0.2	1.3	26.3	Cam	2015	(Ghalaöchi ve ark., 2015)

Sfax,Tunus	10	12	0.25	4	27	Plastik	2015	(Amirkhani ve ark., 2015)
Warangal,Hindistan	12	8	0.2	6	12.2	Polietilen	2016	(Lal ve ark., 2016)
Erbil,İrak		25	2.5	5	-	Plastik	2016	(Papageorgiou, 2016)
Japonya	3	2	0.32	3	-	Akrilik Sac	2016	(Ohya ve ark., 2016)
El-Beida,Libya	3	6.3	0.32	2.25		Perspeks	2017	(Al-Azawiey ve ark., 2017)
Sfax,Tunus		16.5	0.96	7	16-18	Polikarbonat ve Cam	2017	(Eryener ve ark., 2017)
Petronas,Malaysia	6	6	0.15	-	-	Plastik	2017	(Mekhail ve ark., 2017)
Japonya	2.75	3	0.32	1.32	13	Plastik	2018	(Ayadi ve ark., 2018)
Kota,Hindistan	3.7	2.95	0.16	2.2	18	Plastik Film	2019	(Nasraoui ve ark., 2019)
Suva,Fijic	6.4	10	70	-	-	Cam	2019	(Güzel, 2019)
Baghdad,İrak	18	7.55	0.3	2.1	11.2	Cam	2020	(Khidhir ve Atrooshi, 2020)
Kompotades, Yunanistan	3.5	6	0.6	5.5	11.4	Cam	2020	(Balijepalli ve ark., 2020)
Tafresh,İran	2	2	0.11	8	10	Plastik	2021	(Mohammed ve Ark., 2021)
Isparta,Türkiye	2.25	1.94	0.1	0.33	23.6	Cam	2021	(Golzardi ve ark., 2021)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Schlaich ve ark. (2005) çalışmalarında güneş bacalarının teorisi, ekonomisi ve uygulamalarını vermişlerdir. Çalışmada İspanya'daki bir prototipin tasarımı, inşası ve işletilmesinin sonuçları verilmiştir. Bu sistemde türbin öncesi ve sonrası hava hızları arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. İspanya'nın Manzanares kentinde 1982-1983 yılında 50 kW'lık ilk büyük ölçekli güneş bacası sistemi inşa edilmiştir. Rüzgar türbini dört kanattan ve tek bir rotordan oluşmaktadır. Dikey rüzgar hızı çalışma sırasında 12 m/s'ye kadar yükselebilmektedir. Manzanare'de iç sıcaklık 17°C'ye yükselmiştir. Kolektör yüzeyi daha ucuz ve baca malzemesi daha pahalıysa minimum maliyeti elde etmek için, kolektör yüzeyi daha büyük ve baca daha küçük olmalıdır. Kolektör maliyeti arttığında ise, daha uzun bir baca ve daha küçük bir kolektör inşa edilmelidir.

Koyun (2006), enerji elde etmek için güneş bacası sistemi üzerine bir doktora tez çalışmasını tamamlamıştır. Ayrıca Fluent simülasyon programı kullanılarak Bir güneş bacası modeli kurularak incelenmiştir. Bu prototipin çapı 1,2 metre, yüksekliği 15 metre ve kolektör çapı da 16 m'dir. Deneysel çalışmada hava hızları, sıcaklıklar ve güneş enerjisi miktarı ölçülmüştür. Bu deneysel çalışmada, prototipin toplam güç çıkışı yaklaşık 12 W'ye ulaşmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, bölgenin güneş ışıyım miktarı ve baca yüksekliği en önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Güneş bacası sisteminin elektrik gücü, ilgili bölgeden elde edilen verilerle yakından ilişkilidir.

İçel (2012) tarafından Adıyaman Üniversitesi yerleşkesinde gerçekleştirilen tez çalışmasında kurulan güneş bacası sisteminde ölçümler yapılmıştır. Sistem 15 metre yüksekliğinde, 0,8 metre çapında baca ve üzeri 0.004 metre kalınlığında saydam camdan oluşmaktadır. Günün belirli periyotlarında, Adıyaman'daki güneş ışıyım değerleri, kolektörün zemin ve alt hava sıcaklıkları ve hızları, baca içerisindeki hava akış hızı ve sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ve türbin devir sayısı belirlenmiştir. Türbinin hava sıcaklığının ve hızının en yüksek olduğu yere kurulduğu tespit edilmiştir. Üç kanatlı 0,8 m çapa sahip olan türbinin sistem için en verimli olduğu kanıtlanmıştır. Araştırmada özel olarak üretilmiş bir NACA4415 kanat tip uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, güneş bacası teknolojisinin Adıyaman'da enerji üretiminde uygulanabilir bir seçenek olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Köse (2018) Güneş bacaları üzerine yaptığı araştırma çalışmasında, sistemin tarihi gelişimini inceleyerek genel güç ve verim ifadelerini vermiştir. Ayrıca güneş bacası güç sistemleri ile fotovoltaik (PV) ve Rüzgar güç sistemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Güneş bacası sistemleri diğer termal sistemlerden farklı olarak sistem düşük sıcaklıklarda

çalışmaktadır. Sistem baca, türbin ve kollektörden oluşmaktadır. Kollektördeki hava güneş ışığının etkisiyle ısınır ve yükselmektedir ve bu da bacada bir akış hareketi oluşturmaktadır. Bu, güneş enerjisinin önce ısı enerjisine, daha sonra hareket enerjisine dönüştürülmesini sağlamaktadır. Baca girişine yerleştirilen jeneratör ve türbin hareket enerjisinden elektrik enerjisi üretmektedir.

Padki ve Sherif (1999) Basit bir analitik model geliştirerek güneş bacası sisteminin performansını tahmin etmişlerdir. Analitik modelin tahminlerinin diferansiyel modelin tahminleriyle iyi bir şekilde uyumlu olduğu gösterilmiştir. Analitik model tahminlerinde yüzdelik hata yüzde dört ila altı arasındadır. Bu modelin optimizasyon çalışmalarında da faydalı olacağını belirtmişlerdir.

Rangel ve ark. (2016) Güneş bacası türbinlerinde genel olarak aksel akış tipi kullanılır ve türbinin ana görevi, akışkan gücünü mil gücüne çevirmektir. Türbinlerin ikincil görevi, kanat açılarını değiştirerek akış ve çıkış gücünü ayarlamaktır 12 ana kanatlı ve 18 giriş yönlendirici kanatlı olan bir türbin, 58 d/d dönüş hızında 78 kW elektrik üretmiştir. Bu çalışma, yatay ve dikey eksen türbin uygulama teknolojilerini güneş bacası sistemi için karşılaştırmıştır. HAD Simülasyon sonuçlarına göre türbinler, dikey eksen 78 kW, yatay eksen 32,5 kW maksimum güç üretmiştir. Bu çalışmalarda simülasyon edilen dikey eksendeki Manzanare tesisinden elde edilen enerjiyle karşılaştırıldığında türbinin çok daha iyi performans gösterdiği belirtilmektedir.

Güzel (2019) Bu çalışma, eğimli bir güneş bacası tasarlanmıştır. Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, tasarlanan eğimli güneş bacasını üretmiştir. Kolektör yarım daire şeklinde ve 6,4 metre çapındadır. Bacanın yüksekliği ise 8 metredir. Eğimli güneş bacasının kollektör ve baca bölümlerinde sıcaklık ve hava hızı ölçülmüştür. Deney düzeneğinin bulunduğu alandaki güneş ışınım değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışma sırasında sıcaklık, hava hızı ve ışınım ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Havanın bulutlu olması ve rüzgarın fazla olması gibi çeşitli koşulların bir sonucu olarak veriler anında değişmiştir. Kollektördeki sıcaklık artışının yanı sıra baca girişindeki hava akış hızının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Deney düzeneğinin boyutları dikkate alındığında, elde edilen bu değerlerin tatmin edici olduğu ifade edilebilmektedir.

Ünal (2019) Çalışma kapsamında, eğimli yapıya sahip, 6,4 m çapında bir kollektör ve 10 m yüksekliğinde bir baca içeren güneş bacası sistemi oluşturulmuştur. Sistemin performansını değerlendirmek amacıyla, belirli çevresel ve sistemsel parametreler (hava sıcaklıkları, hızlar, basınç farkı ve ışınım değeri) sensörlerle 10 saniye aralıklarla ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Türbin kanatları üç farklı kanat profili kullanılarak yapılmıştır. Güneş bacası türbini için toplam on beş kanat, alüminyum döküm tekniğiyle

üretilmiştir. İmal edilen türbin, baca çapı ölçüsüne göre baca girişine bağlanmıştır. Profilleri NACA0015, NACA2415 ve NACA4415 olan kanatlar 3 çeşitli hatve açısında test edilip elde edilmiştir.

Sonuçlar, güneş ışınımı ile kollektör çıkış sıcaklığının baca girişindeki hava akış hızını kayda değer şekilde etkilediğini ortaya koymaktadır. Kamburluk oranı yükseldikçe hatve açısı azaldıkça türbin devri artmıştır. Bu araştırmanın kapsamında, 40° hatve açısında kullanılan NACA 4415 profilinin en iyi çalışması elde edilmiştir.

Ayadi ve ark. (2018) Türbin çapının güç çıkışındaki etkisini incelemişlerdir. Sfax Ulusal Mühendislik Okulu'nda güneş enerjisi kullanan bir prototip baca inşa edilmiştir. 50 mm kollektör tavan yüksekliği, 3.000 mm baca yüksekliği ve 150 mm türbin çapı 2.750 mm varmıştır. (90 mm, 120 mm, 140 mm ve 150 mm) türbin çaplarını karşılaştırdılar ve her biri için hava hızını, hava sıcaklığını ve basınç dağılımını incelediler. Sonuç olarak, türbin çapının artmasıyla üretilen gücün arttığı görülmüştür.

Çalışkan (2014) tarafından yürütülen tez çalışmasında, bir rüzgar tüneli için aksenal akışlı 6 tanelik kanatlı bir fan tasarımı incelenmiştir. Bu tasarım sadece aerodinamik açıdan incelenmiştir ve ardından uygulamaya konulmuştur. Çıkış basıncı performansı etki etmektedir. Fandan elde edilen debi, çalıştığı ortamın basıncı değiştikçe değişmektedir. 3B akışkanlar dinamiği analizine göre, fanın tam tasarım hızında ve standart atmosfer koşullarında çalıştırılması 3,8 kW'lık güç gerektirmektedir. Fanın dış çapı 1 m'yi geçmez ve 18,9 kg/s hava debisi ve 15 m³/s hacimsel debi üretebilir. Tasarım endüstrisinin diğer fanları ile karşılaştırılmamıştır.

Buyukluoğlu (2014) Bu tezde, belirtilen parametrelere sahip bir akıştaki performanslarını karşılaştırmak için Clark Y, Fx66196v, NACA4415 ve NACA23012 olmak üzere dört farklı türbin kanat profili seçilmiştir. Tüm kanatların hücum açısı 50° ve rotor yarıçapı 400 mm'dir. Tüm kanatlar, türbinin kurulacağı bacanın 800 mm çapına göre boyutlandırılmıştır ve rotorun 780 mm çapına da karar verilmiştir. Bu tezde, prototip bir güneş bacası sisteminde kullanılan türbinin verimliliğini artırmak için en uygun aerodinamik profili belirlemek için nelerin gerekli olduğunu araştırılmıştır. Düşük sürtünme katsayısı, yüksek kaldırma katsayısı ve yüksek CL/CD oranı daha iyi türbin kanadı performansı sağlanmaktadır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, Fx66196v profili en büyük CL ve CL/CD değerlerine sahiptir .

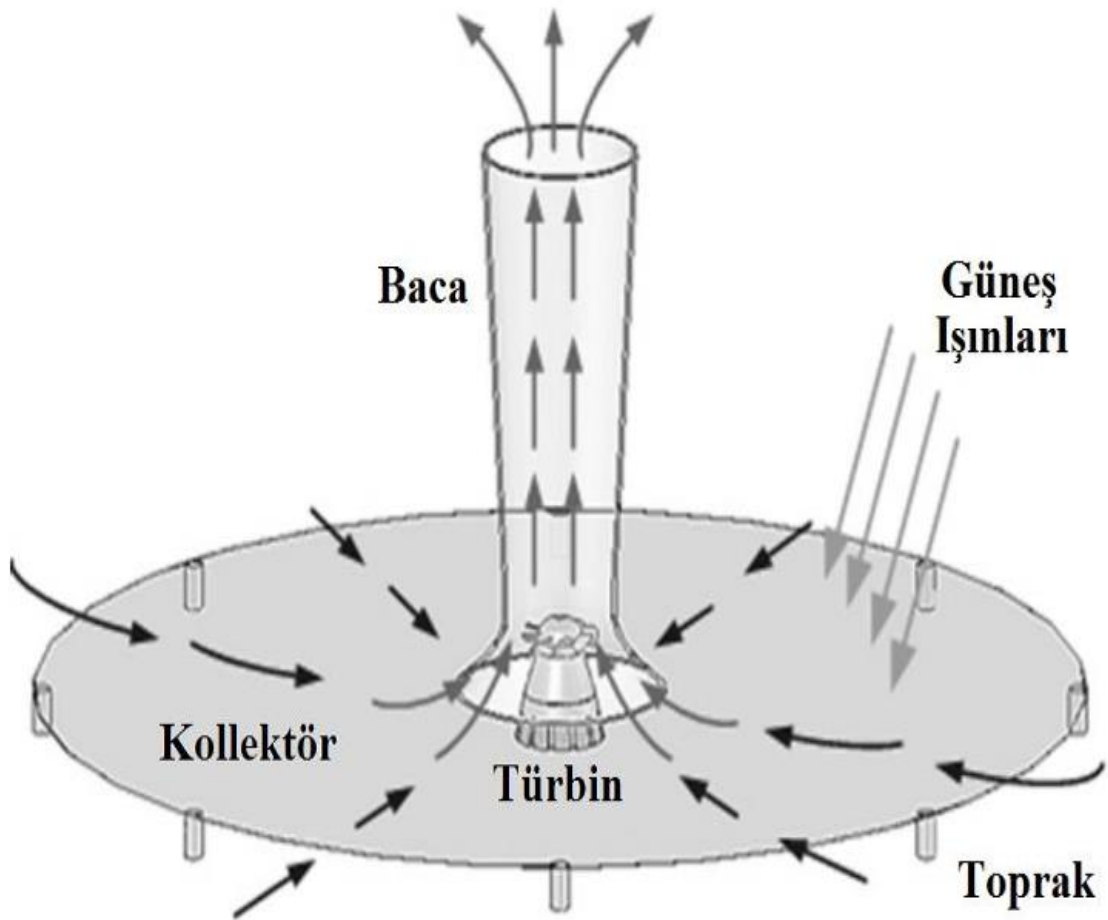
Çizelge 2.1. Güneş bacası sistemi kaynak araştırması özeti

Kaynak	Yıl	Güç(W)	Kanat sayısı	Hız V (m/s)	D_{baca} (m)	H_{baca} (m)	D_{koll} (m)	H_{koll} (m)	Araştırma özeti
Schlaich ve ark. (2005)	2005	50	4	12	5.08	194.6	122	1.85	Maksimum maliyeti elde etmek için kollektör yüzeyi daha ucuz ve baca malzemesi daha pahalıysa kollektör daha büyük ve baca daha küçük olabilmektedir. Kollektör maliyeti arttığında, daha uzun bir baca ve daha küçük bir kollektör inşa edilebilmektedir
Koyun (2006)	2006	-	-	-	1.2	-	15	-	Deneysel çalışmaları ve araştırmalarında bölgenin güneş ışınım miktarı ve baca yüksekliği en önemli faktörler olarak belirlenmiştir
İçel (2012)	2012	-	3	-	0.8	15	-	-	Deneysel çalışmaları ve araştırmalarında, Güneş bacasında uygulanabilir bir türbin kanat profili NACA4415 olarak seçilmiştir
Köse (2018)	2018	-	-	-	-	-	-	-	Literatür çalışmalarında, güneş bacası en verimli ve ekonomik araştırma yapılmıştır
Padki ve Sherif (1999)	1999	-	-	-	-	-	-	-	Araştırma ve çalışmalarında, analitik modelin tahminlerinin diferansiyel modelin tahminleriyle iyi bir şekilde uyumlu olduğu gösterilmiştir. Analitik model tahminlerinde yüzdelik hata %4 ile %6 arasındadır
Rangel ve ark. (2016)	2016	-	12	-	-	-	-	-	Çalışmalarında, HAD programı kullanarak 12 kanat olan bir türbini analizi yaparak Manzaranes'te kurulan güneş bacası karşılaştırma yapılmıştır ve daha yüksek güç elde edilmiştir
Güzel (2019)	2019	-	-	2.35	0.7	8	6.4	2	Deneysel çalışmaları ve araştırmalarında, güneş bacasını üretilmiştir ve en yüksek kollektör verimi %14 elde edilmiştir.
Ünal Ercan (2019)	2019	0.1	5	1.38	0.7	8	6.4	2	Deneysel çalışmaları ve araştırmalarında, güneş bacasında en uyumlu türbin kanat profili NACA4415 olarak seçilmiştir ve üretilmiştir.
Ayadi ve ark. (2018)	2018	-	-	0.15	-	3	-	0.05	Çalışmaları ve araştırmalarında, güneş bacasını üretip ve türbin çapı büyümesiyle üretilen gücü arttığı görülmüştür
Çalışkan (2014)	2014	3.8	6	-	-	-	-	-	Çalışmaları ve araştırmalarında türbin üretilmiştir. Ürettiği türbin tasarımı ve diğer türbin karşılaştırmalar yapılmıştır
Buyukluoğlu (2014)	2014	-	4	-	-	-	-	-	Çalışmaları ve araştırmalarında kanat profili incelenmiştir ve rotorunda 4 tanelik kanat seçilmiştir. Fx66196v profili en büyük CL ve CL/CD değerlerine sahiptir

2.1. Güneş Bacası Sisteminin Çalışma Prensipleri ve Temel Mekanizması

Güneş bacaları, güneş enerjisinden elektrik üretmek için tasarlanmış ısı sistemlerdir. Konvansiyonel ısı sistemlerden çok farklı bir şekilde çalışmaktadır. Bu

sistemin üç temel fiziksel prensibi vardır: Baca çekiş kuvveti, sera etkisi ve kinetik enerji transferi. Güneş ışınımı kollektör yüzeyine girdiğinde, kollektör altındaki dairesel cam ısınır ve yoğunluk farkından dolayı soğuk dış hava ile arasında hareket ederek kollektörün merkezine doğru kaymaktadır. Bununla birlikte, kollektörün merkezinde bulunan dikey baca, havayı dış ortama tahliye etmektedir. Hızlanan hava akışından elektrik enerjisi, bacanın giriş bölümünde bulunan türbin ve generatör tarafından üretilmektedir. Daha fazla güneş ışığı çevrimi hızlandırır. Kollektör altındaki havayı emdiği için baca açık yanlardan hava almaktadır. Bu nedenle sürekli çalışma sağlanmaktadır. Şekil 2.1’de güneş bacasının çalışma mekanizması ayrıntılı olarak sunulmuştur (Köse, 2018) .



Şekil 2.1 Güneş bacasının temel çalışma prensibi (Güzel, 2019)

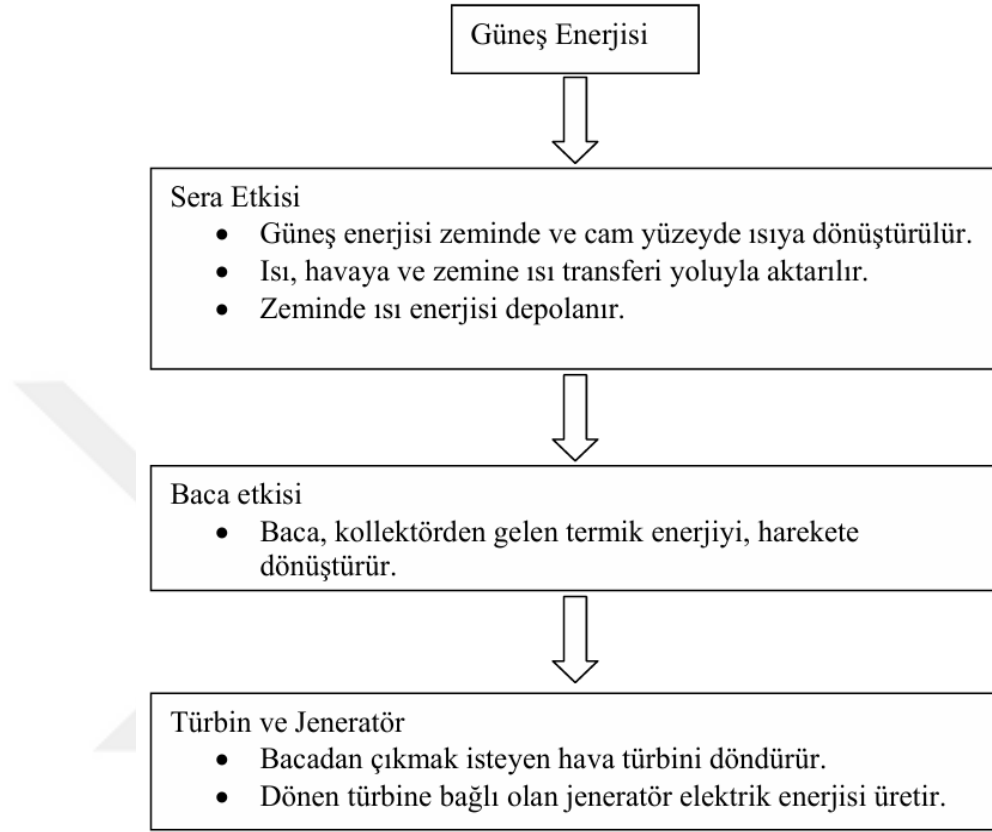
2.2. Güneş Bacası Sistemi Temel Bileşenleri

Bir güneş bacası sistemi temel olarak aşağıdakilerden oluşmaktadır:

- Kollektör (cam yada geçirgen folyo kaplı),
- Baca,
- Bir ya da birden fazla türbin,

- Generatör

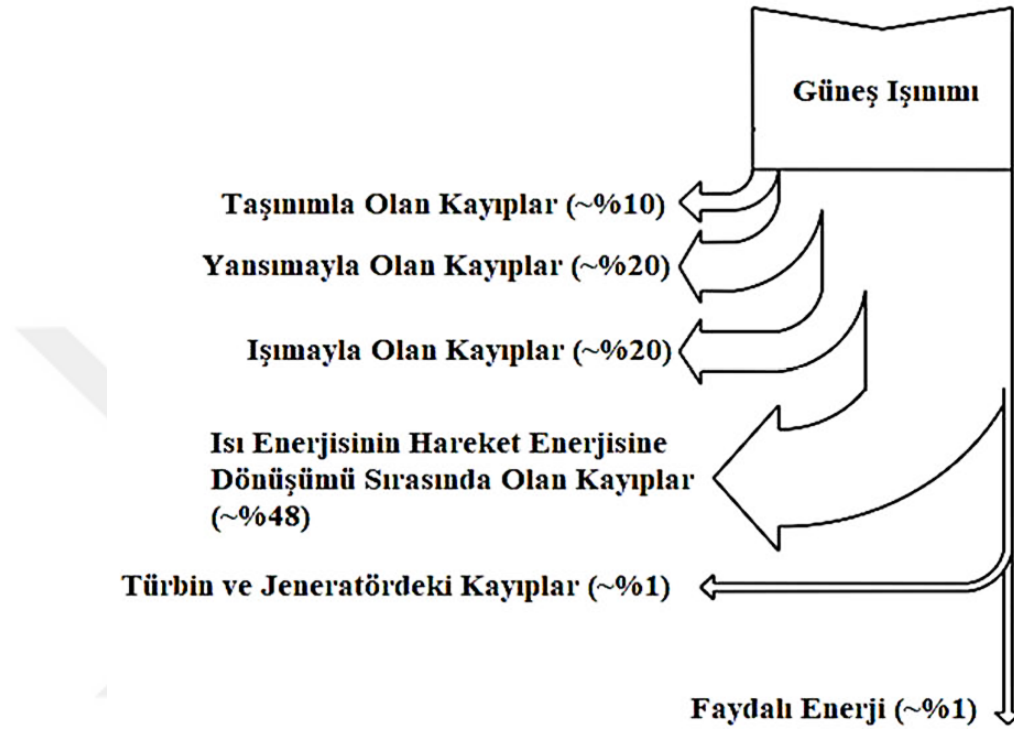
Şekil 2.2’de Güneş bacası için genel olarak enerji dönüşüm adımları verilmiştir.



Şekil 2.2. Güneş bacası genel enerji dönüşüm adımları

Kasaeian ve ark. (2017) bir güneş bacası türbininden geçen akışı belirlemek için temel bir matematiksel model sunmuştur. Manzanares, güneş enerjisi santrali prototipinin türbin kanatlarının 3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonunu yapmıştır. Manzanares'teki güneş enerjisi santralinden elde edilen deneysel verileri karşılaştırarak HAD simülasyon doğrulanmıştır. Daha sonra 12 HAD ile türbin dönme hızının, türbin kanatlarının miktarı, kollektör çapı ve baca yüksekliği üzerindeki etkilerini gösteren bir simülasyon yapılmıştır. Bu koşullar, 3, 4 ve 5 kanat, 40, 80 ve 100 d/d dönüş hızları, 100, 200 ve 300 m baca yükseklik boyutları ve 122 m, 244 m ve 366 m kollektör çapları ile ilişkilidir. Simülasyonun sonuçları, hava çıkış hızını, hava kütle debisini, torku ve gücünü göstermektedir. Sonuçlara göre, sabit bir açısal hızda kanat sayısını artırmanın, türbin tarafından üretilen tork ve gücü artırırken, aynı zamanda hava kütle akışını azalttığını ve türbin tarafından üretilen tork ve gücü artırdığını göstermişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, türbinin açısal hızı arttıkça bacadaki hava kütle akışı azalmıştır. Beş

kanatlı türbin maksimum 91 kW çıkış göstermiştir. 80 d/d'de, 100 m, 200 m ve 300 m baca yüksekliklerinde çıkış hızları 9,5 m/s, 13,7 m/s ve 17,5 m/s olmuştur. Bu nedenle manifoldun kesit çapı baca yüksekliğine uygun olmalıdır. Sonuç olarak, kolektör kesitinin çapı 122 m'den 366 m'ye çıkarılarak daha yüksek çıkış hızı, tork ve güç elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Güneş bacalarındaki enerji akışı (Santos Bernardes, 2004)

Santos Bernardes (2004) Güneş bacası teknolojisi, güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanılmasına yönelik alternatif sistemler arasında önemli avantajlar sunmaktadır.

- Bu sistem, doğrudan ve difüz güneş ışınımı parçalarını enerjiye dönüştürebilir.
- Zemin doğal olarak ısıyı depolamaktadır.
- Güvenilirliği, düşük dönüş sayısına bağlı olmaktadır.
- Çalışabilmesi için soğutma suyu gerekmez.
- Yapımında bilinen teknolojiler ve basit malzemeler kullanılmıştır.
- Bu sistemin uygulanması pahalı teknolojik girişimler gerektirmez.

Bu yararlarının yanında güneş bacalarının bazı dezavantajları da vardır (Gün, 2013).

- ✓ Enerji üretmek için çok büyük kolektörler gereklidir.
- ✓ Verimliliği ve enerji üretimini artırmak için yüksek baca yapıları tercih edilmektedir. Bununla birlikte, bu tür binaların güvenli bir şekilde kurulması ve işletilmesi ciddi yapısal ve teknik sorunlara yol açabilmektedir.
- ✓ Yüksek bacalar uçakları tehlikeye atabilmektedir.
- ✓ Üretilen enerji mevsimlere bağlıdır.
- ✓ Kolektör yüzeyi tozdan temizlenmelidir.

Çizelge 2.2. Manzanares prototipinin ebatları (Schlaich ve ark., 2005)

Baca Yüksekliği (m)	Baca Çapı (m)	Kollektör Çapı (m)	Kollektör Yüksekliği (m)
194,6 m	10 m	240 m	1,85 m



Şekil 2.4. Manzanares prototipinin görseli (Schlaich ve ark., 2005)

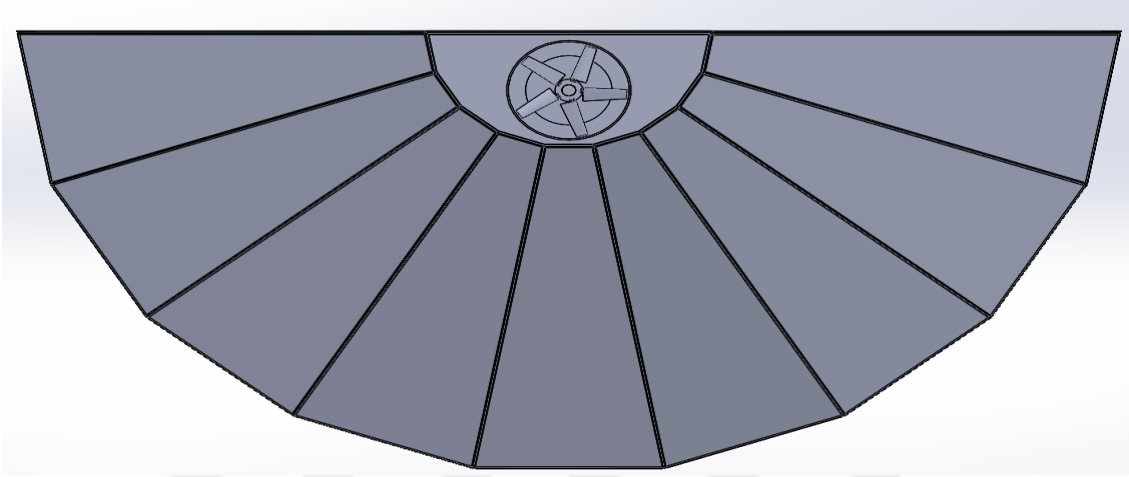
İspanya'da Madrid'in 150 km güneyindeki Manzanares'te inşa edilen prototip, Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Sensör yüzeyinde çeşitli cam malzemeler test edildi (Schlaich ve ark., 2005).

Büyük bacalı güneş enerjisi santralleri için tahminler yapılmıştır. Büyük ölçekli güneş bacalarının ne kadar büyük olduğunu öğrenmek için araştırmalar yürütmüşler. Kollektör çapı 1110 metre, baca yüksekliği 445 metre ve baca çapı 54 metre olan bir güneş bacasının 5 MW güç üretmesi gerektiğini keşfetmişler (Haaf ve ark., 1983).

2.2.1. Kollektör

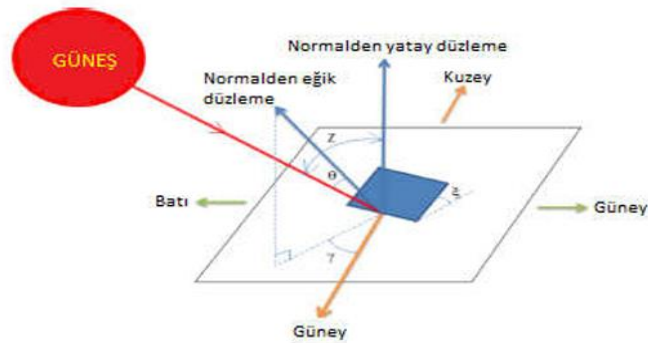
Kollektör, güneş bacasının en önemli parçasıdır ve güneşten gelen ışınları çevredeki havaya göndermektedir. Cam ya da yüksek ışık geçirgenliğine sahip folyo kullanılarak yüzey kaplanabilmektedir. Yerden yükseklik, güneş bacası merkezi olan bacaya doğru gittikçe artar ve yan giriş bölgesinde daha düşüktür. Böylece hava akış hızının çok fazla artması, sürtünme kaybının artmasını önlemektedir. Bununla birlikte, en

az kayıpla hava bacaya yönlendirilmektedir. Kollektör yüzeylerinin güneş ışığını iyi geçirmesi gerekmektedir. Ancak güneş ışını kolektörden geçerken zemin üzerine ulaşır ve bir kısmı yeniden kolektör yüzeyine yansır. Bu yansıyan güneş ışınımını kolektör geçirmemelidir. Bununla birlikte, kolektör gelen ışınımın tamamını enerjiye dönüştüremez; konveksiyon ve yansıma nedeniyle enerji kayıpları meydana gelmektedir. Gün boyunca güneş ışınımının bir kısmı kolektörden yansır, bir kısmı absorbe edilir ve kalan kısmı kolektörden geçmektedir.



Şekil 2.5. Tasarlanan eğimli kolektörün üst görünümü.

Ünal (2019) Kollektör yüzeyi, sistemden elde edilen enerji miktarını etkiler. Kollektör, zemin üzerinde belirli bir yükseklikte konumlandırılır. Kolektörün dış parçaları yere yaklaşırken diğer parçaları bacaya doğru yükselmektedir. Bu, hava akışını artırmak için yapılmaktadır.



Şekil 2.6. Kollektör yüzeyi üzerindeki güneş açısı (Balijepalli ve ark., 2017)

Ünal (2019) deneysel baca teorik analizinde, hesapları en yüksek en yüksek güneş ışınım verisi ile saat 14:30 için aşağıdaki gibi yapmıştır.

$$I = 957.35 \text{ W/m}^2 \quad V = 1.28 \text{ m/s} ; T_{\text{çevre}} = 25.42 \text{ }^\circ\text{C} , A_{\text{baca}} = 17.84 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{çevre}} = 25.42 \text{ }^\circ\text{C} = 298.42 \text{ K} , C_p = 1005 \text{ J/kgK} \quad \rho = 1.18 \text{ kg/m}^3 ,$$

$$A_c = 0.39 \text{ m}^2 , P = 1013.25 \text{ hPa} , R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$\dot{Q}_{\text{güneş}} = I_{\text{güneş}} \cdot A_{\text{baca}} ; \dot{Q}_{\text{kayıp}} = \dot{Q}_{\text{güneş}} - \dot{Q}_{\text{gir}} , \Delta P_{\text{toplam}} = \rho_{\text{hava}} \cdot g \cdot H_{\text{baca}} \frac{\Delta T}{T_{\text{çevre}}}$$

$$\rho_c = \rho_a - \frac{\Delta P_{\text{toplam}}}{g \cdot H} , T_{\text{çıkış}} = \frac{P}{R \cdot \rho_c} , \Delta T_{\text{baca}} = T_{\text{çık}} - T_{\text{gir}}$$

Güneşten gelen ısı enerjisi hesaplanması

$$\dot{Q}_{\text{güneş}} = I_{\text{güneş}} \cdot A_{\text{baca}}$$

$$\dot{Q}_{\text{güneş}} = 957.35 \cdot 17.84 = 17,079.12 \text{ W} = 17.08 \text{ kW}$$

Baca içerisinde maksimum oluşan akış hızından bacada oluşan sıcaklık farkı hesaplanması

$$V_{\text{baca,maks}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H \frac{\Delta T_{\text{baca}}}{T_{\text{çevre}}}} \quad \text{iken } \Delta T_{\text{baca}} \text{ bulunabilir}$$

$$\Delta T_{\text{baca}} = \frac{V_{\text{baca,maks}}^2 \cdot T_{\text{çevre}}}{2 \cdot g \cdot H} = \frac{1.28^2 \cdot 298.42}{2 \cdot 9.81 \cdot 8} = 3.12 \text{ K}$$

Baca içinde giren faydalı enerji hesaplanması

$$\dot{Q}_{\text{gir}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{baca}} ; \quad \dot{m} = \rho \cdot V_{\text{baca}} \cdot A_c$$

$$\dot{m} = 1.18 \cdot 1.28 \cdot 0.39 = 0.59 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{\text{gir}} = 0.59 \cdot 1005 \cdot 3.12 = 1850 \text{ W} = 1.85 \text{ kW}$$

Bacada enerji kayıp hesaplanması

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \dot{Q}_{\text{güneş}} - \dot{Q}_{\text{gir}}$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 17.08 - 1.85 = 15.23 \text{ kW}$$

Baca içinde oluşan basınç hesaplanması

$$\Delta P_{\text{toplam}} = \rho_{\text{hava}} \cdot g \cdot H_{\text{baca}} \frac{\Delta T}{T_{\text{çevre}}}$$

$$\Delta P_{\text{toplam}} = 1.18 \cdot 9.81 \cdot 8 \cdot \frac{3.12}{298.42} = 0.968 \text{ Pa}$$

Baca giriş ve çıkış sıcaklığı hesaplanması

$$\rho_c = \rho_a - \frac{\Delta P_{\text{toplam}}}{g \cdot H}$$

$$\rho_c = 1.18 - \frac{0.968}{9.81 \cdot 8} = 1.17 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{çıkış} = \frac{P}{R \cdot \rho_c}$$

$$T_{çıkış} = \frac{101325}{287 \cdot 1.17} = 301.75 \text{ K}$$

$$\Delta T_{baca} = T_{çıkış} - T_{gİR}$$

$$T_{gİR} = 301.75 \text{ K} - 3.12 \text{ K} = 298.63 \text{ K} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

2.2.2. Baca yüksekliğinin hava akışı ve verim üzerindeki etkisi

Sistemin en önemli parçası olan baca, kollektör örtüsü altında oluşan sıcak havanın çekimini sağlar. Çalışma şekli hidrolik bir sistemin basınç borusu gibidir ve çok az sürtünme kaybı vardır. Kollektör sıcaklığı yükseldikçe ve bacanın kapasitesi arttıkça kollektörün hava sıcaklığı ve kapasitesi de orantılı olarak yükselir. Baca, sisteminin en önemli bileşenlerindedir. Kollektördeki ısınan havanın yükselişi, öncelikle ΔT (sıcaklık artışı) ve bacanın hacmi (baca çapı ve yüksekliği) ile doğrudan ilişkilidir.

Basınç farkı ΔP_{top} hesaplanması için aşağıda denklemleri 2.1.'de verilmiştir (İçel, 2012).

$$\Delta P_{top} = g \cdot \int_0^H (\rho_a - \rho_{baca}) \cdot dH \quad [\text{Pa}] \quad (2.1)$$

g : Yer çekimi ivmesi $[\text{m/s}^2]$

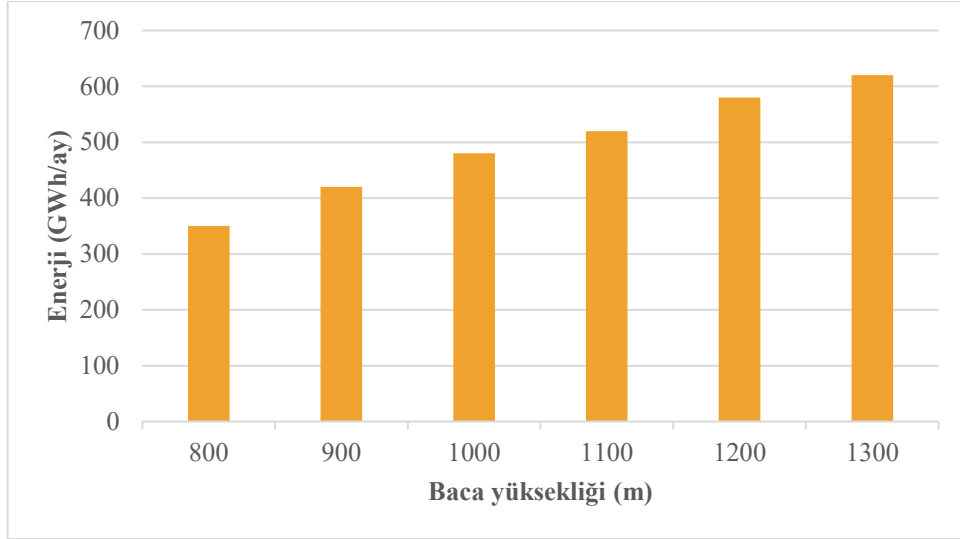
H : Baca yüksekliği $[\text{m}]$

ρ_a : Çevre hava yoğunluğu $[\text{kg/m}^3]$

ρ_{baca} : Baca içi hava yoğunluğu $[\text{kg/m}^3]$

Bacanın yüksekliği boyutu ne kadar yükselirse o kadar sistemi verimini artırır ve daha fazla enerji üretmektedir. Elektrik enerji üretiminde baca yüksekliği nasıl etki ettiği şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Baca, termal enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürür. Beton, alüminyum, sac ve çelik gibi kaba malzemeler genellikle tercih edilir. Sistemin kapasitesine oranla inşa edilecek baca uzunluğunun daha uzun olması durumunda çeşitli güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir (Ünal, 2019).



Şekil 2.7. Elektrik enerjisi üretimi üzerindeki baca yüksekliğinin etkisi (Gün, 2013)

2.2.3. Güneş bacasında kullanılan türbininin çalışma prensibi

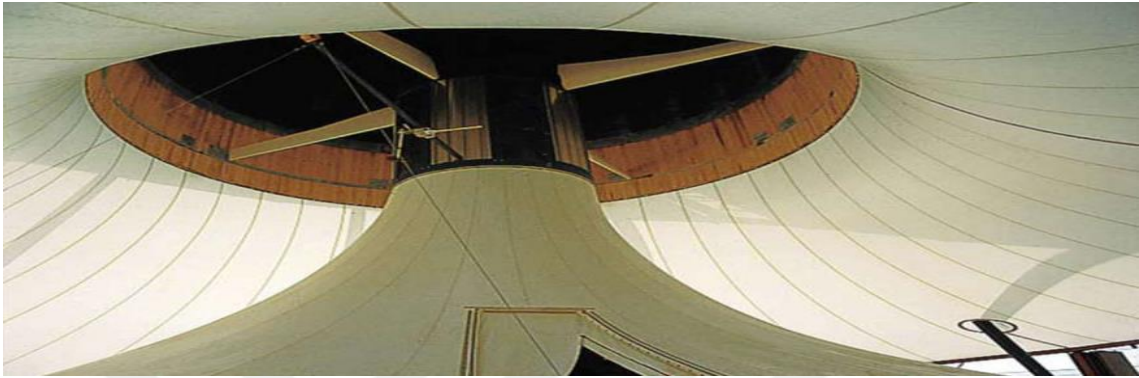
Bu sistem, kinetik enerjiyi mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Güneş bacalarında kullanılan türbinler, rüzgar türbinlerinden farklı olarak basınç kademeli yerine hız kademeli çalışmaktadır. Hız kademeli türbinlere kıyasla, bu türbinler birim rotor yüzey alanı başına daha çok güç üretmektedir. Aynı çapa sahip türbinlerden yaklaşık on kat daha fazla enerji üretebildikleri keşfedilmiştir.

Şekil 2.8’de türbin kanatlarının rotora nasıl monte edildiği gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Türbin kanatlarının rotora monte halinde (Ünal, 2019).

Türbin genellikle kolektör çıkışından hemen sonra bacanın alt kısmında bulunmaktadır. Değişiklik veya arıza durumunda kolayca erişilebilir olmalıdır. Bir güneş bacası sisteminin baca kesiti yüksek olduğunda, türbin bacanın ortasında veya çıkışa yakın bir yerde bulunduğu müdahale etmek zor olabilmektedir. Manzanares güneş bacası sisteminde türbin bacanın alt kısmında yer almaktadır (Şekil 2.9).



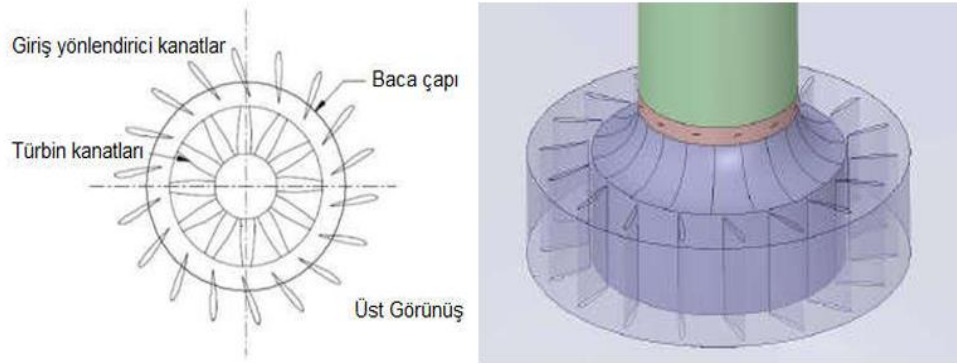
Şekil 2.9. Manzanares güneş bacası sistemindeki türbinin montajı (Schlaich ve ark., 2005)

Isparta Süleyman Demirel Üniversitesinde baca yüksekliği 15 metre olan ve Şekil 2.10 da verilen sistem için 400 W'lık bir türbin kullanılmıştır (Üçgül ve Koyun, 2010). Güneş bacası sisteminin kapasitesi, birden fazla türbinin kurulmasına izin verir. Türbin çalışmadan önce ve sonra hava hızları neredeyse aynıdır. Türbin kanatları, hava akışını ve basıncı değiştirebilmektedir. Türbinin dönmesini sağlayan kanatlar vardır. Düz yüzeyli kanatların hava akımına dik konumda bulunması, türbinin dönmesini engellemektedir. Paralel olduklarında, hava diğer yöne hareket eder ve elektrik üretilmez.



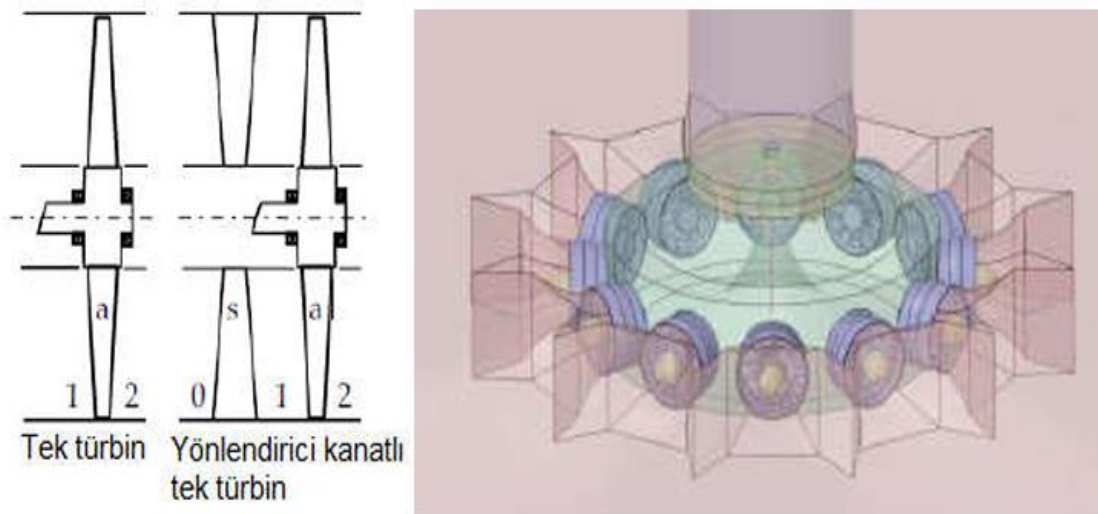
Şekil 2.10. Isparta SDÜ'de güneş enerjisi türbini (Üçgül ve Koyun, 2010)

Manzanares güneş bacası sisteminin boyutlarını kullanan Gannon, çalışmasında baca girişine on iki kanatlı bir türbin yerleştirmiştir ve şekil 2.11’de verilmiştir. Kolektörü çevrelemek için on sekiz kılavuz kanat da eklemiştir. 58 d/d’de 78 kW enerji çıktısı elde etti (Gannon ve von Backström, 2003).



Şekil 2.11. Manzanares ölçeğinde Gannon sisteminin 3 boyutlu şeması (Gannon ve von Backström, 2003).

Güneş bacası türbinleri kolektörün etrafına ve baca giriş ve çıkışına yerleştirilebilmektedir. Şekil 2.12’de gösterildiği gibi, Fluri, Manzanares güneş bacası sisteminin boyutlarını kullanarak kolektörün etrafına on iki türbin yerleştirmiştir. Yerleştirilen türbinlerin dört farklı incelemesinden sonra, Şekil 2.12’de gösterilen tek rotorlu yönlendirilebilir kanatlı türbin, 86 d/d’de 32,5 kW çıkış gücü ile Manzanares modeline uyarlandığında en iyi performansı göstermiştir (Fluri ve von Backström, 2008).



Şekil 2.12. Manzanares ölçeğinde ve türbin tipinde Fluri sisteminin üç boyutlu gösterimi (Fluri ve von Backström, 2008).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, daha önce tasarlanmış ve denemeler yapılmış olan güneş bacası Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi binasında kurulmuştur ve bu kurulan güneş bacasına teorik analizi ve HAD fluent simülasyon denemeleri yapılmıştır. Konya meteorolojik hava durumu 2024 yılı aylık ortalama verileri kullanarak hem teorik analizi hem de HAD simülasyonu yapılmıştır. Işınım değerleri, çevre sıcaklıkları ve basınçları olarak güneş bacası baca girişinde hava akış hızı 1 m/s'den ve 5 m/s 'ye kadar ortalama aylık verileri alınarak teorik analiz yapılmıştır..

3.1. Güneş Bacası Sisteminin Teorik Analiz Yöntemi

Bir kontrol hacmi için enerji dengesi anlık olarak (Çengel ve ark., 2008).

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_{in} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) - \sum_{out} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad (3.1)$$

Burada;

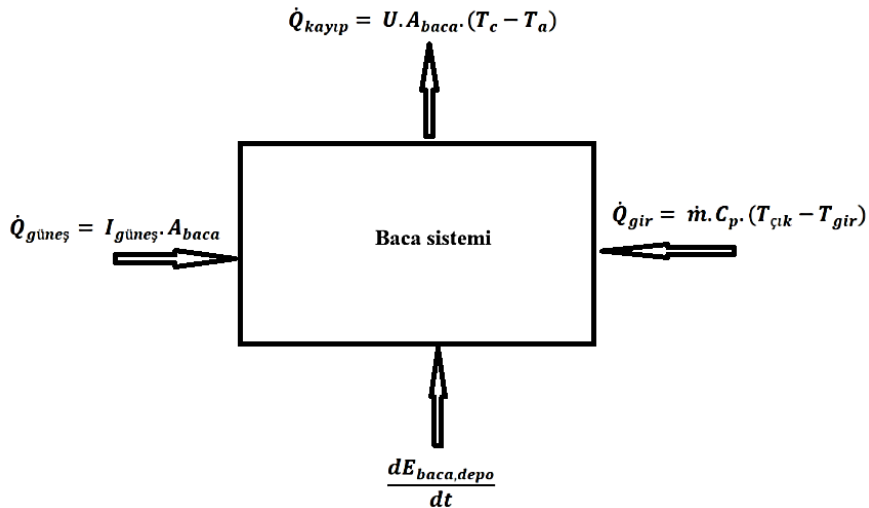
E_{CV} : control hacminin toplam enerjisi (iç + kinetic + potansiyel)

\dot{Q} : ısı enerjisi [W]

\dot{W} : iş çıkışı [W]

\dot{m} : kütle debisi, h : özgül entalpi (J/kg), V : hız (m/s), z : yüksekliğe bağlı potansiyel terim'dir.

Şekil 3.1'de baca enerji denge diyagramı verilmiştir.



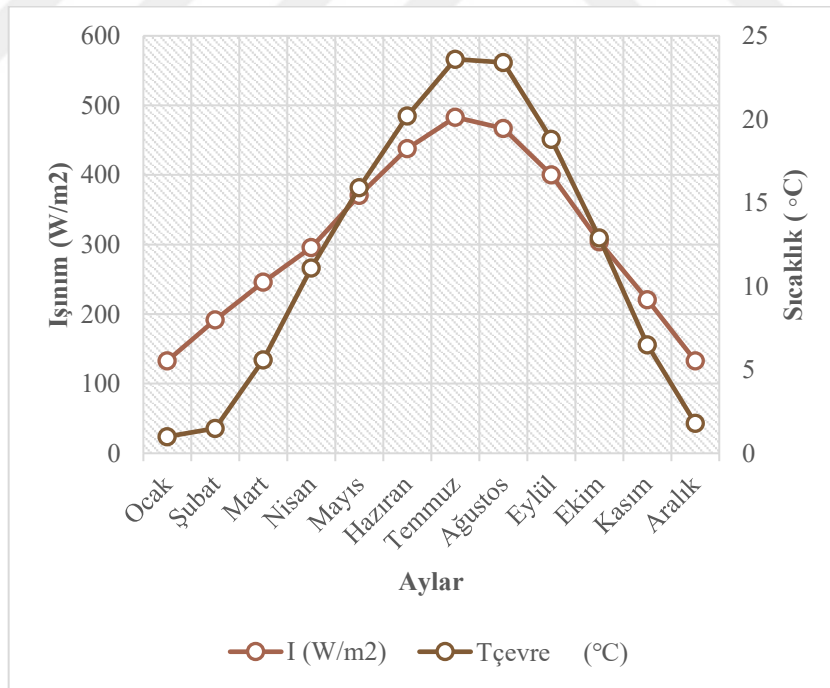
Şekil.3.1 Baca ısı enerji dengesi blok diyagram

3.1.1. Güneş bacası teorik hesaplamaları

Bu teorik analiz çalışma tarihinde Konya illine ait 2024 yılı arası aylık meteorolojik verilere dayanarak, değerleri elde edilmiştir ve verileri çizelge 3.1'de verilmiştir (Anonim, 2025e).

Çizelge 3.1. Konya 2024 yılı aylık ortalama güneş ışınımı ve çevre sıcaklığı verileri

Aylar	I (W/m^2)	$T_{çevre}$ ($^{\circ}C$)
Ocak	133	1
Şubat	192	1.5
Mart	246	5.6
Nisan	296	11.1
Mayıs	371	15.9
Haziran	438	20.2
Temmuz	483	23.6
Ağustos	467	23.4
Eylül	400	18.8
Ekim	304	12.9
Kasım	221	6.5
Aralık	133	1.8



Şekil 3.2. Konya aylık ortalama güneş ışınımı ile çevre sıcaklığı değişimi grafiği

Serbest aktarımda Boussineq denklemi kullanılarak elde edilen maksimum baca hız (3.1) ifadesiyle hesaplanır (İçel, 2012).

$$V_{baca,maks} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H \frac{\Delta T}{T_{\text{çevre}}}} \quad [\text{m/s}] \quad (3.1)$$

Bu şekilde ;

H (m) : Baca yüksekliği

ΔT (K) : Çevre sıcaklığından kollektör çıkışı (baca girişi) sıcaklığı kadar artışı göstermektedir.

$T_{\text{çevre}}$ (K) : Çevre sıcaklığı

Yoğuluya bağlı ΔP_{toplam} Bacada vakum etkisi ve hava yoğunluk farkından kaynaklanan kaldırma kuvveti, kollektörde ısınınca yükselmektedir. Aşağıdaki şekilde basınç farkı ΔP_{toplam} 'yi bulunabilmektedir. Sıcaklık ve yoğunluğa bağlı toplam basınç ve baca basınç eşit iken $\Delta P_{\text{toplam}} = \Delta P_{\text{basınç}}$ aşağıdaki (c.2) denklemi verilmiştir (İçel, 2012)

$$\Delta P_{\text{toplam}} = \rho_{\text{hava}} \cdot g \cdot H_{\text{baca}} \frac{\Delta T}{T_{\text{çevre}}} \quad (3.2)$$

Burda ; hava yoğunluğu ρ_{hava} (kg/m^3), baca yüksekliği H_{baca} (m), çevre sıcaklığı $T_{\text{çevre}}$ (K) oluşmaktadır.

Baca içinde oluşan hava yoğunluğu denklem (3.3)'de hesaplanabilmektedir ve onun ardından yoğunluğu denklemin formülünde kollektör çıkış sıcaklığı $T_{\text{çıkış}}$ (K) bulunabilmektedir ve aşağıda verilmiştir.

$$\rho_c = \rho_a - \frac{\Delta P_{\text{toplam}}}{g \cdot H} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.3)$$

Yoğunluk denklemi denklem (3.4)'de verilmiştir (Çengel ve ark., 2008)

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T_o} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.4)$$

Burda; 1929-2024 yılın arası tarihindeki meteorolojine göre dış yoğunluğu $\rho_{\text{dış}}$ çevre sıcaklıklarına göre hesaplanmıştır ve baca iç yoğunluğu ρ_c ise iç sıcaklığına göre hesaplanmıştır ve $T_{\text{çıkış}}$ (3.4) denklemden bulunmuştur.

$$T_{\text{çıkış}} = \frac{P}{R \cdot \rho_c} \quad [\text{K}]$$

$$\rho_a = \frac{P}{R.T_{\text{çevre}}} \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$$

Burada;

- $T_{\text{çevre}}$: Çevre sıcaklığı
 ρ_a : Hava yoğunluğu
 P : Atmosfer basıncı

Baca içinde oluşan basınç farkı (3.5 ve (3.6) ifadeleri ile hesaplanır (Cao ve ark., 2013).

$$\Delta P_{\text{toplam}} = g \cdot \int_0^{H_{\text{baca}}} (\rho_0 - \rho_{\text{baca}}) \cdot dH \quad [Pa] \quad (3.5)$$

$$\Delta P_{\text{toplam}} = g \cdot H \cdot (\rho_0 - \rho_{\text{baca}}) \quad [Pa] \quad (3.6)$$

Burda; H (m) baca yüksekliği, ρ_0 (kg/m^3) çevre yoğunluğu, ρ_{baca} (kg/m^3) baca içinde hava yoğunluğudur.

Güneş bacasının içinde üretilen basınç dört farklı bileşen tarafından tüketilir: $\Delta P_{\text{sürtünme}}$ (kollektör ve baca sürtünme kayıpları), $\Delta P_{\text{giriş}}$ (türbin girişindeki kinetik enerji kayıpları), $\Delta P_{\text{çıkış}}$ (baca çıkışındaki kinetik enerji kayıpları) ve etkin basınç ($\Delta P_{\text{türbin}}$) (türbin geri kalan enerjii üretmek için kullanılır). Sonuç olarak, $\Delta P_{\text{türbin}}$ 'ni aşağıdaki (3.7) denklemleriyle de verilmiştir (Cao ve ark., 2013).

$$\Delta P_{\text{türbin}} = \Delta P_{\text{baca}} - (\Delta P_{\text{sürtünme}} + \Delta P_{\text{giriş}} + \Delta P_{\text{çıkış}}) [Pa] \quad (3.7)$$

Burda türbin olmadığı için türbindeki basınç farkı $\Delta P_{\text{türbin}} = 0$ ve girişte basınç olmadığı için $\Delta P_{\text{giriş}} = 0$ 'da bulunmaktadır. O halde baca içinde oluşan basınç farkı aşağıda (3.8) ve (3.9) ile verilmiştir (Cao ve ark., 2013).

$$\Delta P_{\text{baca}} = \Delta P_{\text{sürtünme}} + \Delta P_{\text{çıkış}} [Pa] \quad (3.8)$$

$$\Delta P_{\text{çıkış}} = \Delta P_{\text{baca}} - \Delta P_{\text{sürtünme}} [Pa] \quad (3.9)$$

Baca içinde oluşan sürtünme basıncı deklm 3.10'da verilmiştir (Cao ve ark., 2013)

$$\Delta P_{\text{sürtünme}} = f \frac{H_{\text{bacca}}}{D} \left(\rho_{iç} \frac{V^2}{2} \right) \quad [\text{Pa}] \quad (3.10)$$

Burda; f sürtünme katsayısı 0.02-0.04 arasında değişmektedir, H_{bacca} baca yüksekliği, $\rho_{iç}$ baca içindeki yoğunluğu, V (m/s) bacadaki hızıdır.

Yukarıda verilen formülleri kullanarak baca verimi denklem 3.11'de verilmiştir (Köse, 2018);

$$\eta_{\text{bacca}} = \frac{g \cdot H}{C_p \cdot T_o} \quad (3.11)$$

Burda, η_{bacca} Baca verimi, g yer çekimi, H_{bacca} Baca yüksekliği, C_p özgül ısısı, $T_{\text{çevre}}$ çevre sıcaklığıdır.

Kollektör verimi denklem (3.12)'de verilmiştir (Köse, 2018)

$$\eta_{\text{koll}} = \frac{\dot{Q}_{\text{sistem}}}{I_{\text{güneş}} \cdot A_{\text{koll}}} \quad (3.12)$$

Burada ;

\dot{Q}_{sistem} kollektör çıkışındaki güç

$I_{\text{güneş}}$ Güneş ışınımı $[\text{W}/\text{m}^2]$

A_{koll} Kollektör alanı $[\text{m}^2]$

Kollektöre giren havanın sıcaklığını (bacaya giriş anında) ölçmek için kollektör incelemek gerekmektedir. Bu nedenle, kollektöre giren hava ile çıkan hava arasındaki sıcaklık farklılıkları meydana gelir. Bunun yapılması için öncelikle kollektöre giren hava akımının kütesel debisi belirlenmelidir (Arslan, 2011).

$$\dot{Q}_{\text{sistem}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{koll}} \quad [\text{W}] \quad (3.13)$$

$$\Delta T_{\text{koll}} = T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}} \quad [\text{K}] \quad (3.14)$$

Kütleme debisini belirlenmesi denklem (3.15)'te verilmiştir (Arslan, 2011).

$$\dot{m} = \rho_{\text{hava}} \cdot V_{\text{bacca}} \cdot A_{\text{bacca}} \quad [\text{kg/s}] \quad (3.15)$$

$$A_{\text{bacca}} = \pi D_H^2 \quad [\text{m}^2] \quad (3.16)$$

Bu arada, \dot{Q}_{sistem} kollektöre toplam ısı enerjisini göstermektedir. Denklem (3.14) ve (3.15) yerleri denklem (3.12)'de koyulduğunda aşağıdaki şekilde düzenlenmektedir (İçel, 2012).

$$\eta_{koll} = \frac{\rho_{hava} \cdot V_{baca} \cdot A_{baca} \cdot C_p \cdot (T_{çıkış} - T_{giriş})}{I_{güneş} \cdot A_{koll}} \quad (3.15)$$

Burada; ρ_{hava} hava yoğunluğu, V_{baca} baca içindeki hava hızı, A_{baca} baca kesit alanı, C_p özgül ısı, $T_{çıkış}$ kollektöre çıkış sıcaklığı, $T_{giriş}$ kollektöre giriş sıcaklığı göstermektedir. Isı nerji dengesi;

$$\dot{Q}_{sistemi} = \dot{Q}_{güneş} - \dot{Q}_{kayıp} \quad [W] \quad (3.16)$$

Burada; $\dot{Q}_{güneş}$ güneşten gelen ısı enerjisi, $\dot{Q}_{kayıp}$ kollektörde oluşan kayıp enerjisidir. Kollektördeki gerçekleşen ısı enerji kayıp aşağıdaki denklem (3.17)'de verilmiştir (Çengel ve ark., 2008).

$$\dot{Q}_{kayıp} = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad [W] \quad (3.17)$$

Burada; U ısı iletken katsayısı, A kollektör yüzey alanı, ΔT_m ısı kayıplardan oluşan sıcaklık farkı.

$$\Delta T_m = \frac{T_{koll,gir} + T_{koll,çık}}{2} - T_{çevre} \quad [K] \quad (3.18)$$

Denklem (3.17)'de denklem (3.18) yerine koyulduğunda aşağıdaki şekilde gösterilmektedir

$$\dot{Q}_{kayıp} = U \cdot A \cdot \left(\frac{T_{koll,gir} + T_{koll,çık}}{2} - T_{çevre} \right) \quad [W] \quad (3.19)$$

3.1.2. Güneş bacası türbini teorik analizi

Bir uygun türbin verimliliği ($\eta_{türbin}$) elde etmek için aşağıdaki gibi hesaplama denklemini 3.20 'de verilmiştir (Köse, 2018).

$$\eta_{t\u00fcrbin} = \frac{\dot{m}.C_p.\Delta T.\eta_{baca} - \dot{m}.V_{baca}^2}{2.\dot{m}.C_p.\Delta T.\eta_{baca}} = 1 - \frac{V_{baca}^2}{2.C_p.\Delta T.\eta_{baca}} \quad (3.20)$$

Burda; k\u00fctle debisi \dot{m} ; kollet\u00f6rden giri\u015f \u00e7ıkı\u015f sıcaklık farkı ΔT ; baca verimi η_{baca} ; baca giri\u015f (kollekt\u00f6r \u00e7ıkı\u015fı) hızı V_{baca} .

Kolekt\u00f6rdeki g\u00fcne\u015f ı\u015fınımından kaynaklanan hava sıcaklı\u011fı artışı, bacada meydana gelen s\u00fcr\u00fckleyici basın\u00e7 farkı ve t\u00fcrbin \u00fczerinden enerji d\u00f6n\u00fc\u015f\u00fcm\u00fc, g\u00fcne\u015f bacası sisteminin \u00e7alı\u015ma prensibini olu\u015fturur. Sistemin temel denklemleri bu b\u00f6l\u00fcmde verilmi\u015ftir.

Hava hızı (K\u00fcp-k\u00f6k ba\u011fıntısı), basın\u00e7 farkını ve enerji dengesini g\u00f6z \u00f6n\u00fcnde bulundurarak baca giri\u015findeki ortalama hava hızını bulmak i\u00e7in kullanılır:

$$v = \left[\frac{2.g.H.\beta.\eta_{th}.I.A_{kol}}{K_{top}.\rho.A_c.C_p} \right]^{1/3} \quad [m/s] \quad (3.21)$$

$K_{top} = 1.5$, aslında kolekt\u00f6r\u00fcn (ort\u00fcn\u00fcn, camın veya plastik y\u00fczeyin) ısı kayıplarını ve optik \u00f6zelliklerini g\u00f6stermektedir. A_c baca kesit alanı (Kasaeian ve ark., 2011).

Isı degesi kollekt\u00f6r sıcaklık\u011fı farkı

$$\Delta T = \frac{\eta_{th}.I.A_{kol}}{\rho.A_c.v.C_p} \quad [K] \quad (3.22)$$

Burda, I g\u00fcne\u015ften gelen ısı, A_{kol} kollekt\u00f6r alanı, A_c kollekt\u00f6r kesit alanıdır (Larbi ve ark., 2010).

S\u00fcr\u00fckleyici basın\u00e7 :

$$\Delta p_{stack} = \rho . g . H . \beta . \Delta T \quad [Pa] \quad (3.23)$$

$$\beta = \frac{1}{T} \quad [K^{-1}] \quad (3.24)$$

β Isıl genle\u015fme katsayısı

$$\Delta p_{stack} = \rho . g . H . \frac{\Delta T}{T} \quad [Pa] \quad (3.25)$$

Burda, baca yüksekliği (H) ve kolektörün giriş ve çıkış sıcaklık farkı (ΔT) arttıkça basınç farkı artar. T mutlak sıcaklığıdır (İçel, 2012).

Türbin gücü (yük payı ϕ ile):

$$P_t = \phi \frac{g.H.\beta.\eta_{th}}{c_p} I.A_{kol} \quad [W] \quad (3.26)$$

ϕ değeri deneysel optimizasyon ve türbin–baca etkileşimiyle belirlenir. Tipik güneş bacalarında 0.35–0.45 aralığı optimum kabul edilmektedir. Kolektör alanı (A_{kol}), baca yüksekliği (H) ve kolektör verimi (η_{th}) ile güneş bacasının enerji dönüşüm kapasitesi doğrudan ilişkilidir (Haaf ve ark., 1983).

Bu çalışma, 2024 yılına ait meteorolojik hava durumu verilerini kullanarak sistemin teorik analizini yaptı. Analiz, %30, %40 ve %50'lik kolektör verim değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır ve sırasıyla elde edilen sonuçları çizelge 3.2; çizelge 3.3 ve çizelge 3.4'te verilmiştir

Çizelge 3.2. Kolektör verimi %30 iken Konya 2024 yılı aylık ortalama güneş ışınlamı, ortam sıcaklığı ile sistem için hesaplanmış baca hava akış hızı, sıcaklık ve basınç farkı ile türbin gücü değerleri

Aylar	Işınım I (W/m ²)	$T_{\text{çevre}}$ (°C)	Baca hızı V (m/s)	Delta T (K)	Δp_{baca} (Pa)	Türbin gücü P_t (W)
Ocak	133	1	0.88	2.04	0.67	0.09
Şubat	192	1.5	0.96	2.44	0.88	0.13
Mart	246	5.6	1.05	2.92	1.03	0.17
Nisan	296	11.1	1.11	3.37	1.14	0.20
Mayıs	371	15.9	1.20	3.98	1.30	0.24
Haziran	438	20.2	1.32	4.85	1.38	0.28
Temmuz	483	23.6	1.36	5.24	1.46	0.31
Ağustos	467	23.4	1.34	5.11	1.43	0.30
Eylül	400	18.8	1.27	4.53	1.31	0.26
Ekim	304	12.9	1.16	3.69	1.11	0.20
Kasım	221	6.5	1.05	2.92	0.92	0.15
Aralık	133	1.8	0.88	2.05	0.67	0.09

Çizelge 3.3. Kollektör verimi %40 iken Konya 2024 yılı aylık ortalama güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ile sistem için hesaplanmış baca hava akış hızı, sıcaklık ve basınç farkı ile türbin gücü değerleri

Aylar	Işınım I (W/m ²)	T _{çevre} (°C)	Baca akış hızı, V (m/s)	Deta T (K)	Δpbaca (Pa)	Türbin gücü P _t (W)
Ocak	133	1	0.97	2.47	0.81	0.12
Şubat	192	1.5	1.06	2.95	1.07	0.17
Mart	246	5.6	1.15	3.54	1.24	0.22
Nisan	296	11.1	1.23	4.08	1.38	0.26
Mayıs	371	15.9	1.32	4.82	1.58	0.32
Haziran	438	20.2	1.45	5.87	1.67	0.37
Temmuz	483	23.6	1.50	6.34	1.77	0.41
Ağustos	467	23.4	1.48	6.19	1.73	0.39
Eylül	400	18.8	1.40	5.49	1.59	0.34
Ekim	304	12.9	1.28	4.47	1.35	0.27
Kasım	221	6.5	1.15	3.54	1.12	0.20
Aralık	133	1.8	0.97	2.48	0.81	0.12

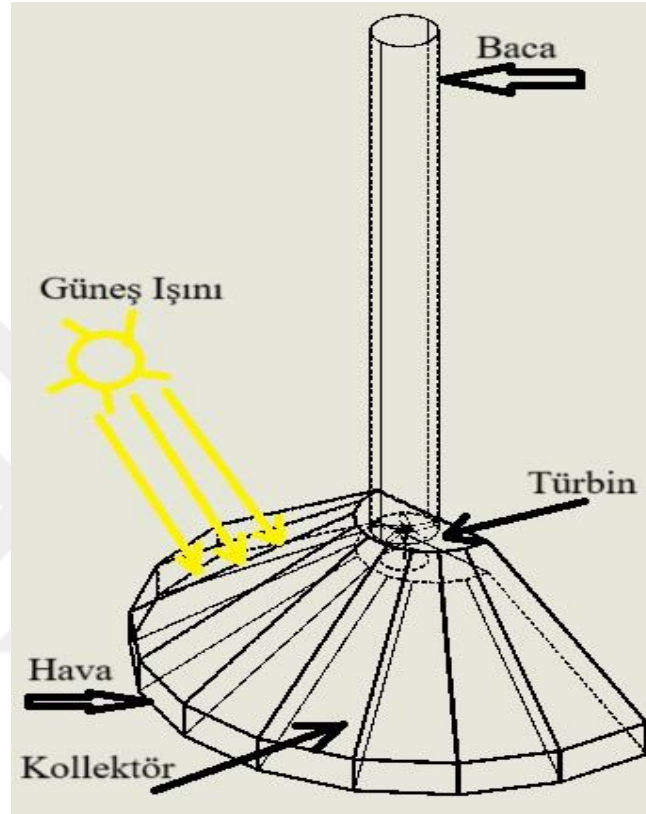
Çizelge 3.4. Kollektör verimi %50 iken Konya 2024 yılı aylık ortalama güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ile sistem için hesaplanmış baca hava akış hızı, sıcaklık ve basınç farkı ile türbin gücü değerleri

Aylar	Işınım I (W/m ²)	T _{çevre} (°C)	Baca hızı V (m/s)	Deta T (K)	Δpbaca (Pa)	Türbin gücü P _t (W)
Ocak	133	1	1.05	2.87	0.94	0.15
Şubat	192	1.5	1.14	3.43	1.24	0.22
Mart	246	5.6	1.24	4.11	1.44	0.28
Nisan	296	11.1	1.32	4.74	1.60	0.33
Mayıs	371	15.9	1.42	5.60	1.83	0.40
Haziran	438	20.2	1.56	6.81	1.94	0.47
Temmuz	483	23.6	1.61	7.36	2.05	0.51
Ağustos	467	23.4	1.59	7.19	2.01	0.49
Eylül	400	18.8	1.51	6.37	1.84	0.43
Ekim	304	12.9	1.38	5.19	1.57	0.33
Kasım	221	6.5	1.24	4.10	1.29	0.25
Aralık	133	1.8	1.05	2.88	0.94	0.15

3.2. Güneş Bacası Sisteminin Tasarımı ve Tasarım Kriterleri

Teorik analizlerin tamamlanmasının ardından, HAD yöntemiyle analiz yapılacaktır. SOLIDWORKS yazılımı kullanılarak tasarlanan güneş bacası modeli sayısal analize tabi tutulmuştur. Analizin sonuçları ve teorik hesaplamaların sonuçları

karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yönteminin kullanılması için SOLIDWORKS ortamında iki farklı güneş bacası modeli ve bunların parçaları tasarlanmıştır. ANSYS yazılımı için geometrik modelleme ve sayısal analizler için bu tasarımlar temel veri olarak kullanılmıştır. SOLIDWORKS yazılımı kullanılarak oluşturulan güneş bacası modellerinden biri Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



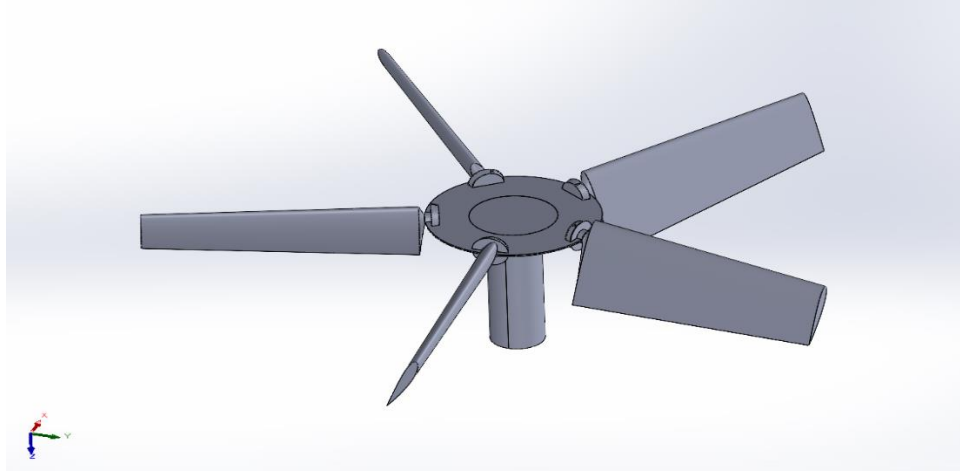
Şekil 3.3. SOLIDWORKS üzerinde tasarlanmış olan bir güneş bacası

Çizelge 3.5. Konya Teknik Üniversitesi'nde tasarlanmış ve kurulmuş güneş bacası sisteminin ölçüleri (Güzel, 2019)

Baca yüksekliği	8 m
Kollektör çapı	6.4 m
Baca çapı	0.71 m
Kollektör giriş ağız açıklığı	0.5 m
Kollektör yüksekliği	0.5 m

3.2.1. Güneş bacası türbini tasarımı

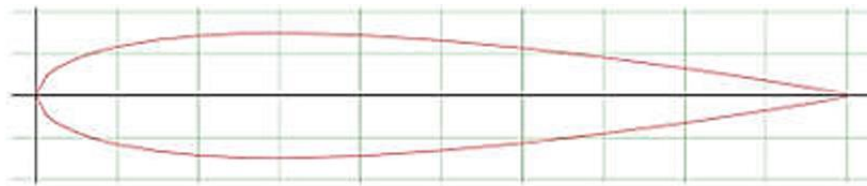
Sistemin boyutları göz önüne alındığında, Ünal (2019) tarafından aynı sistem için tasarlanan 70 cm çapındaki türbinin HAD analizinde de kullanılması uygun görünmüş olup çizimleri yeniden yapılmıştır. Şekil 3.4'te uygun olan türbin görülmektedir.



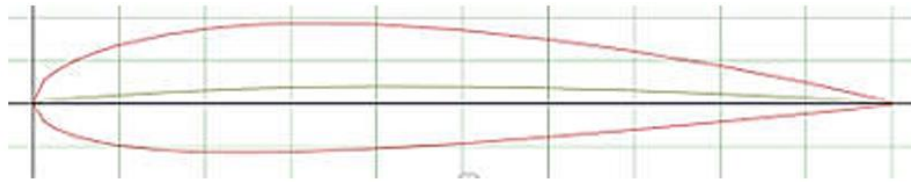
Şekil 3.4'te Çizilmiş olan uygun türbin görseli

3.2.2. Türbin kanat profillerinin uygun seçilmesi

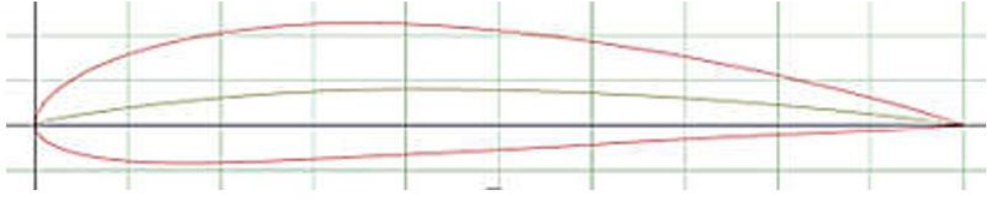
Bu alanda yapılan araştırmalar, türbin kanatlarında kullanılacak kanat tipini belirlemek için en sık tercih edilen NACA4415 açık bir seçimdi. Ulusal Havacılık Danışma Kurulu (NACA) tarafından belirlenen kurallar, profillerin oluşturulması için temeldir. NACA grubunun üç farklı kanat profili, hane sayısı ve kalınlık oranı (%15) bakımından kamburluk-kiriş oranları değiştiğinde davranışlarını karşılaştırmalı olarak incelemek için seçilmiştir. Bu nedenle, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterildiği gibi NACA0015, NACA2415 et NACA4415 profil tipleri seçilmiştir. Şekil 3.8 de üç farklı profil tipinin fiziksel görünüşlerindeki farklılıkları göstermektedir .



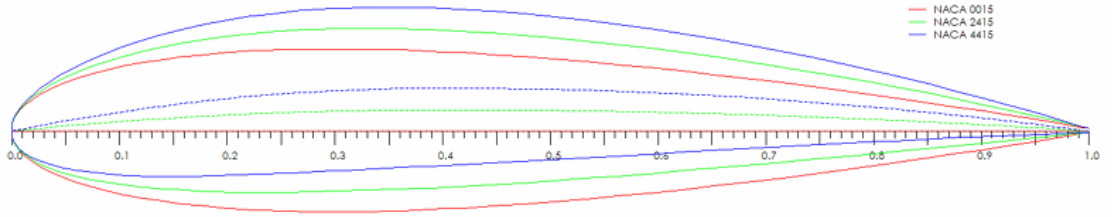
Şekil 3.5. NACA0015 (Anonim, 2025b)



Şekil 3.6. NACA2415 (Anonim, 2025b)

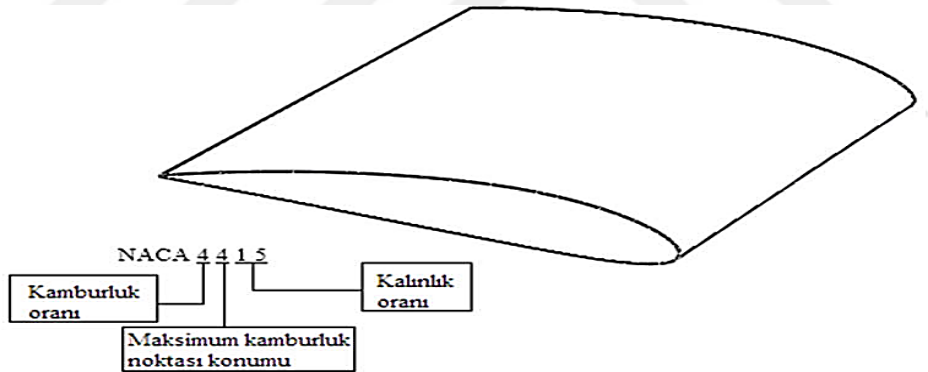


Şekil 3.7. NACA4415 (Anonim, 2025b)



Şekil 3.8. NACA0015 – NACA2415 – NACA4415 (Anonim, 2025b)

Kodlamada profil numaralandırmasında ilk sayı kamburluk oranını, ikinci sayı kamburluğun profildeki konumunu ifade eder. ve son iki rakam kalınlık oranını göstermektedir.



Şekil 3.9. NACA profiline göre hane kodlaması

Data Dosyası

NACA 4415	
1.00000	0.00000
0.99893	0.00039
0.99572	0.00156
0.99039	0.00349
0.98296	0.00610
0.97347	0.00932

Şekil 3.10. NACA profil oluşturma koordinatlarını gösteren bir ekran (Anonim, 2025b)

3.3. Güneş Bacası Türbin Rotoru ve Kanatların Boyutlandırılması

Düzenli güneş enerjisi sisteminde, baca çapı 71 cm olduğu için türbin tam çapı 70 cm'dir. Bacanın tüm alanı türbin kanatları tarafından kaplanmalıdır. Kanat boyunun hesaplanabilmesi için rotor parçasının çapını hesaplamak gerekmektedir. Mevcut çalışmalardan elde edilen ortalama dönüş hızı ve baca girişindeki ortalama hava hızı, rotorun çapını hesaplamak için kullanılmıştır (3.27, 3.28, 3.29) (Ünal, 2019).

$$\eta_{ortala} = 240 \text{ dev / dk} \quad v_{baca,ort} = 2,2 \text{ m/s} \quad \Delta P = 0,3 \text{ mmSS}$$

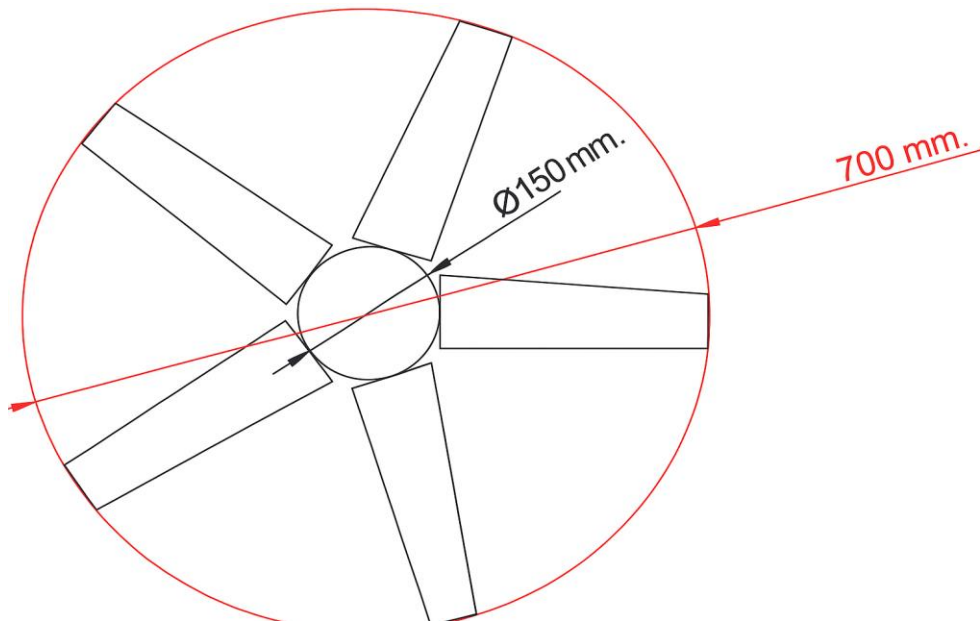
$$u = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,7 \cdot 240}{60} = 8,79 \text{ m/s} \quad (3.27)$$

$$\psi = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\rho \cdot u^2} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{1,2 \cdot 8,79^2} = 0,063 \quad (3.28)$$

$$\lambda_b = \sqrt{(0,8 \cdot \psi)} = \sqrt{(0,8 \cdot 0,063)} \quad (3.29)$$

$$d_1 = \lambda_b \cdot d_2 = 0,0225 \cdot 0,7 \quad \text{ise } d_1 = 0,157 \text{ m}$$

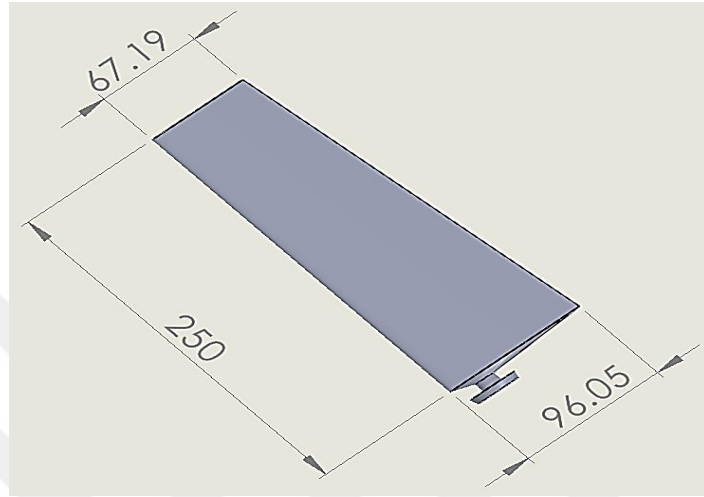
$d_1 = 15 \text{ cm}$ seçilir. Türbin rotoru ön görünüşü ve çap ölçüleri Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Şematik olarak türbin rotorun çapı ölçülerinin gösterimi

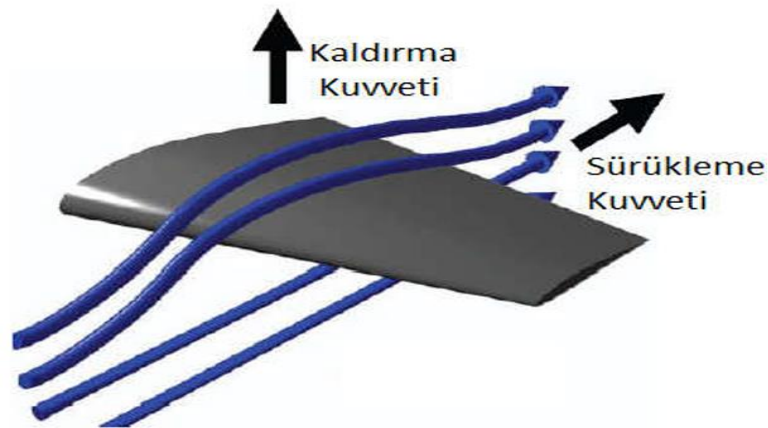
3.3.1. Türbin kanatlarının SOLIDWORKS çizimi ve tasarımı

Seçilen profil tipleri için kanat çizim koordinatları, üç boyutlu bir katı modelleme programına aktarılır. Kanat 25 cm uzunluğunda, alt kirişin 9,6 cm ve üst kirişin 6,72 cm'dir. Her bir profil türü 10° kanat açısında çizilmiştir.



Şekil 3.12. Türbin kanadının ölçüleri

Türbin dönmeye başladığında, kanat iki ana kuvvet tarafından etkilenir. Kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri Şekil 3.13'te gösterilmektedir. Kanadın düz yüzeyi daha fazla basınç uygularken, kavisli yüzeyi daha az basınç uygular (Buyukluoğlu, 2014).

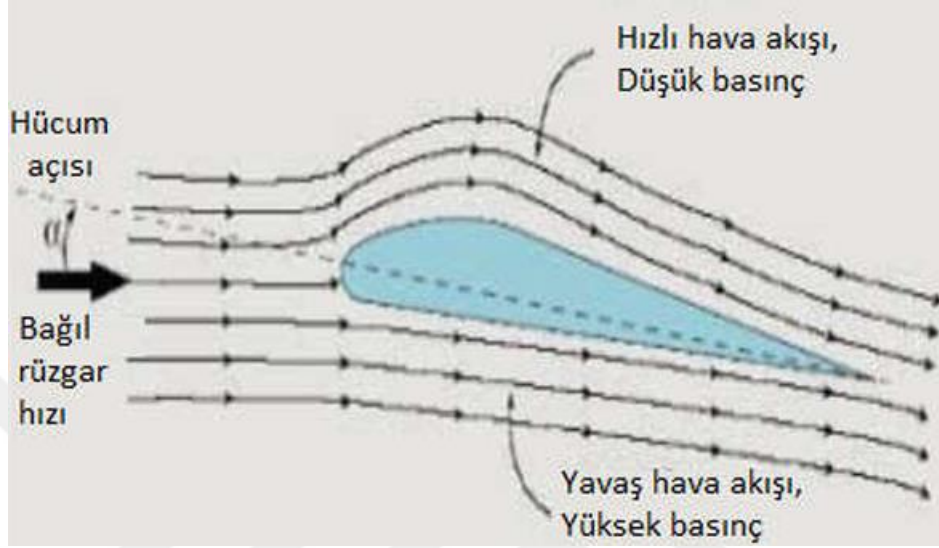


Şekil 3.13. Kanat boyunca gelişen aerodinamik kuvvetler: kaldırma ve sürüklenme (Buyukluoğlu, 2014)

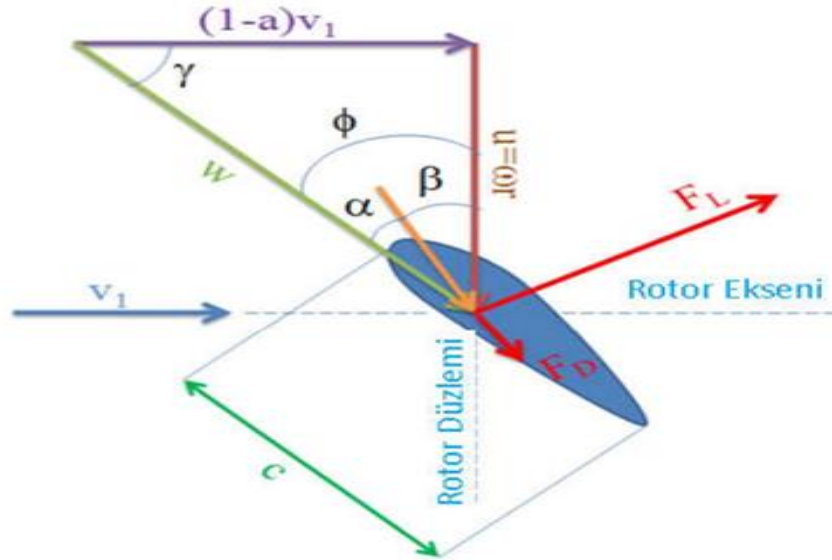
Kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle ilgili basınç düşüşü denklem 3.30'da gösterilmiştir. Bu basınç düşüşü Bernoulli denklemi ile açıklanmaktadır (Buyukluoğlu, 2014).

$$\Delta PS = \Delta P_{toplam} - \frac{1}{2}\rho_{baca}V_{2baca}^2 \quad [\text{Pa}] \quad (3.30)$$

ρ_{baca} hava yoğunluğu ; V_{2baca} bacadaki akış hızı; ΔP_{toplam} bamsıç ΔPS basınç düşüşü

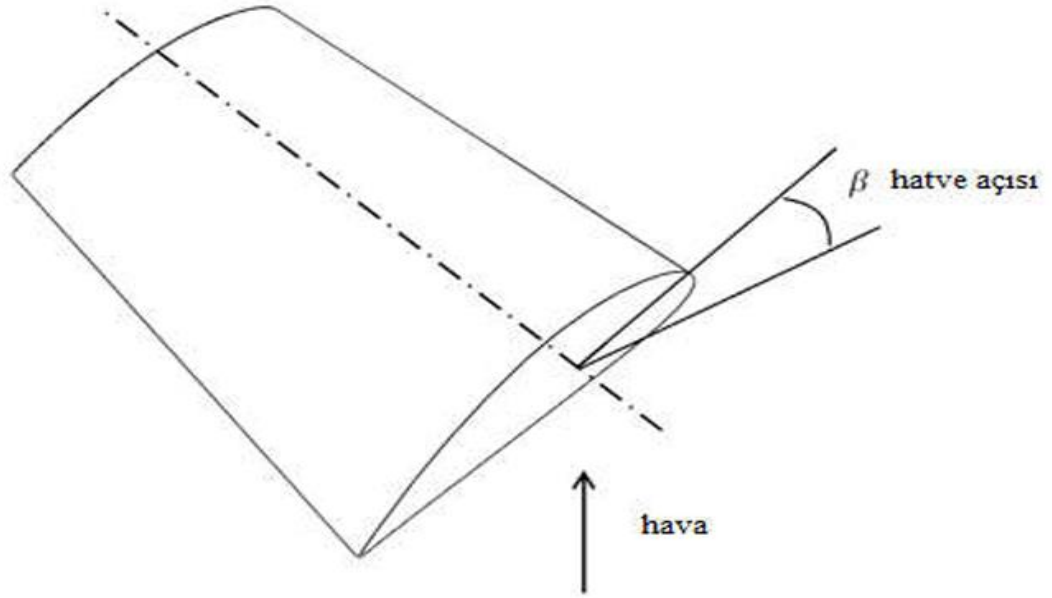


Şekil 3.14. Bernoulli mekanizması (Buyukluoğlu, 2014)



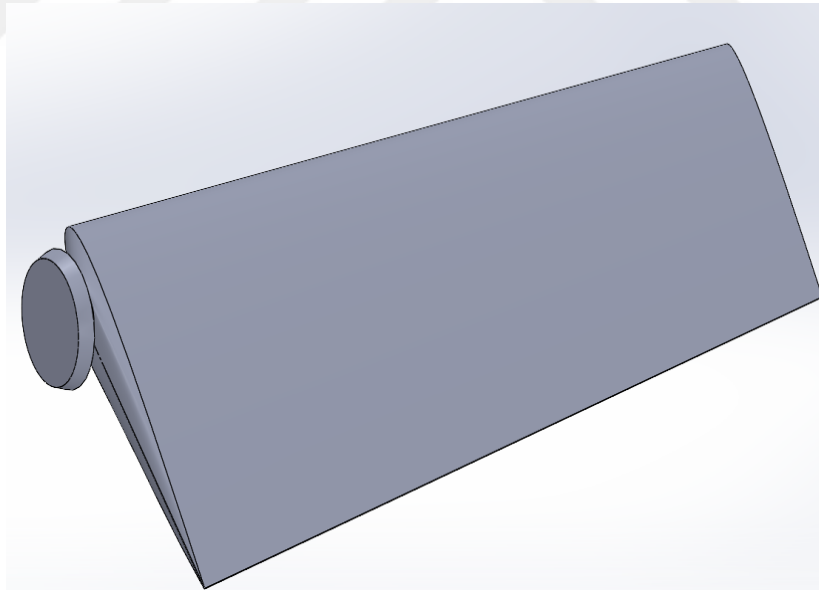
Şekil 3.15. Profilde oluşan hız üçgeni, kuvvetler ve açılar (Balijepalli ve ark., 2017)

Şekil 3.16'da güneş bacası türbininin hatve açısı gösterilmiştir.

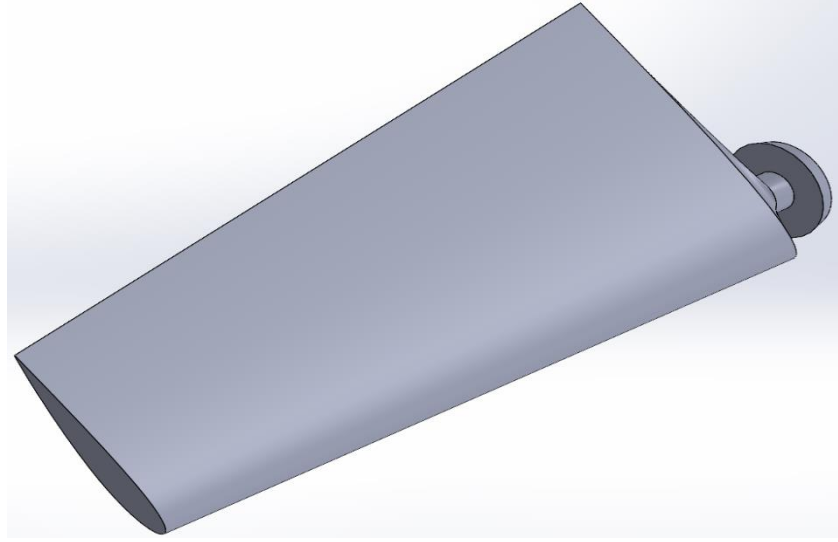


Şekil 3.16. Güneş bacası türbini için hava yönü ve hatve açısı

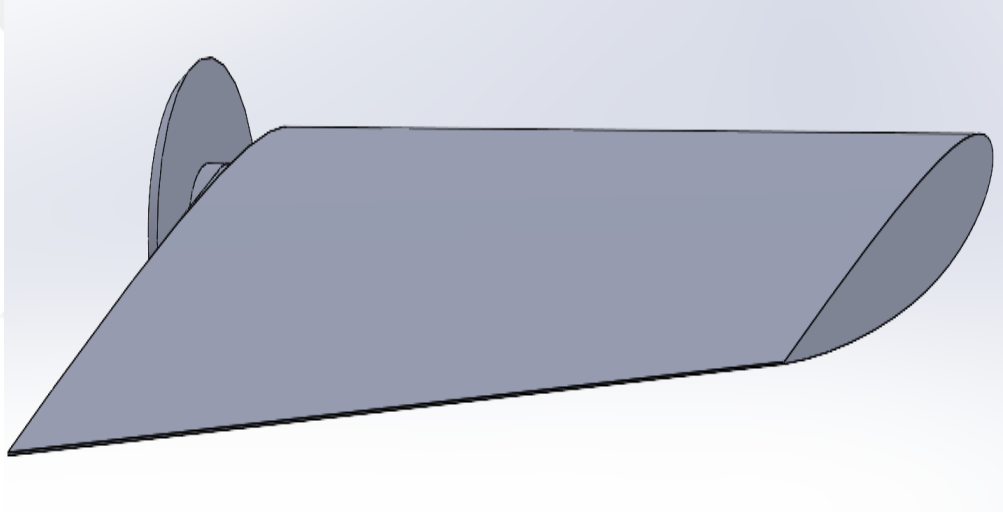
Şekil 3.17., Şekil 3.18. ve Şekil 3.19'da 3D katı SOLIDWORKS programında çizilen farklı kanat tiplerine sahip kanatlar gösterilmektedir.



Şekil 3.17. NACA0015 türbin kanadının SOLİDWORİKS'te 3D katı modelleme

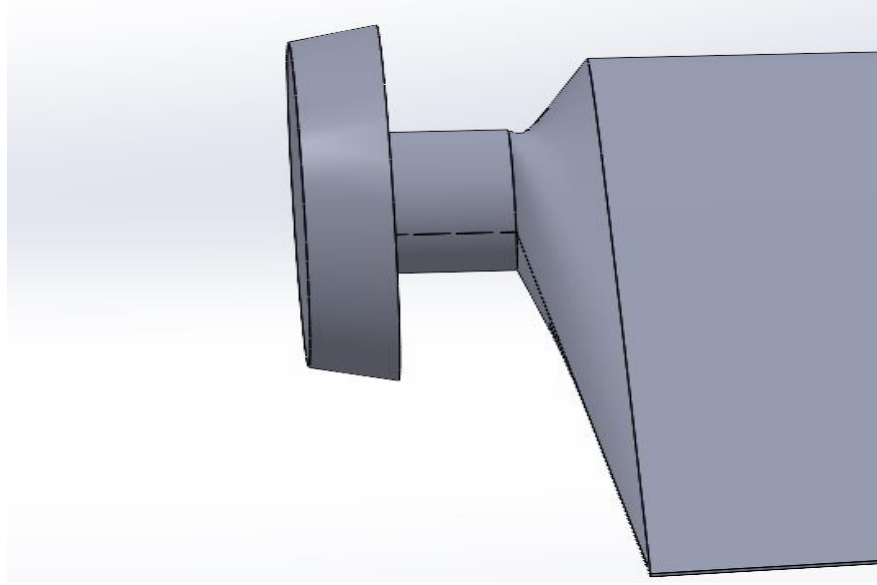


Şekil 3.18. NACA2415 türbin kanadının SOLİDWORKS'te 3D katı modelleme



Şekil 3.19. NACA4415 türbin kanadının SOLİDWORKS'te 3D katı modelleme

Güneş bacası türbini kanatları ile rotor arasındaki bağlantı noktası tasarlanırken, her bir kanat için üç farklı eğim açısı belirlendi. Kanat davranışını incelemek için bu açılar (40, 45° ve 50°) kullanılmıştır.



Şekil 3.20. Türbin kanatının hatve açılarını değiştiren rotor bağlantı parçası

NACA sistemi 3 farklı kanat profillerinden NACA4415 seçilmiştir ve bütün HAD analizi NACA4415 üzerinde yapılmıştır.

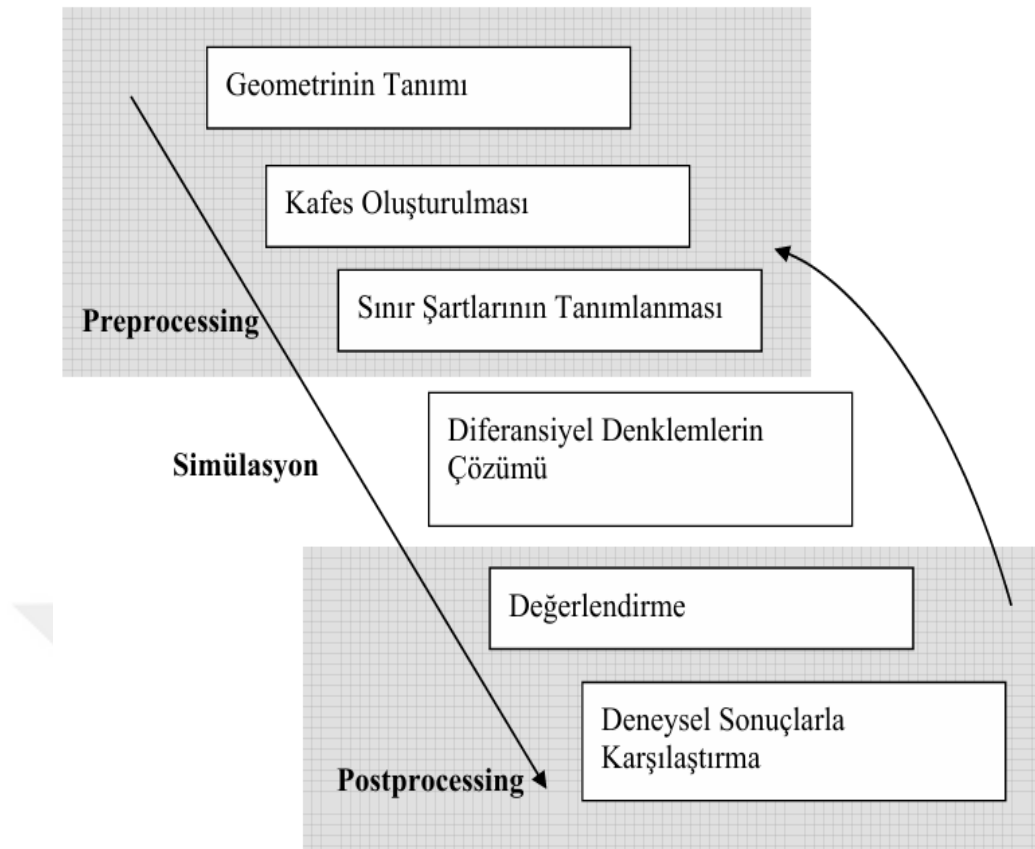
3.4. Güneş Bacası Verimini Artırmada HAD Yöntemi Analizi

Bilgisayar teknolojisinin gelişimi sayesinde, sayısal çözüm yöntemleri günümüz mühendislik problemlerinin çözümü için vazgeçilmez hale gelmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonu, akış ve ısı transferi sorunlarını bilgisayar ortamında çözmek için akış mekaniği alanında kullanılır. Burada, akışkanlar dinamiği denklemlerinin çözümü, ön işlem (preprocessing) ve son işlem (postprocessing) için modern teknikler uygulanmaktadır. Sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akışkanların laminar, türbülanslı veya çok fazlı akışlarını modellemek için Navier-Stokes veya Reynolds ortalımalı Navier-Stokes denklemlerinin çözülmesi HAD'nin temelini oluşturmaktadır. Bu denklemleri çözdükten sonra, basınç, hız, sıcaklık ve türbülans gibi nicelikler için akış alanlarının detaylı bir açıklaması gerekmektedir.

HAD toplam sürecini üç ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 3.21):

- Preprocessing (işlem öncesi)
- Simülasyon ve denklem çözümü
- Postprocessing (işlem sonrası)

HAD modelinde kullanılan materyallerin fiziksel özellikleride Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.21. Genel HAD simülasyon adımları (Janicka, 2004)

Çizelge 3.6. HAD modelinde kullanılan materyallerin fiziksel özellikleri (Tan ve Dede, 2024)

Fiziksel Özellik	kollektör yüzü	Baca
(Birim)	(Cam)	(Alüminyum)
Yoğunluk (kg/m^3)	2500	2719
Özgül Isı Kapasitesi (J/kgK)	750	871
Isı İletkenliği (W/mK)	1.15	202.4

3.4.1 HAD Simülasyonu işlemi öncesi

Ön işleme aşamasında, sorunun tanımlanması ile ilgili her şey açıklanmaktadır. Bu faktörler arasında sistemin fiziksel geometrisi, ağ tasarımı ve sınır koşulları yer almaktadır. Bu işlemleri yapmak için tipik olarak kullanılan simülasyon programından farklı bir program kullanılmıştır.

3.4.2. HAD Simülasyon ve denklem çözümü

Bu tür denklemler, sonlu farklar, sonlu elemanlar veya sonlu hacimler gibi sayısal yöntemlerle çözümlenmektedir. Bu, simülasyonun gerçekleştirildiği ve denklemlerin çözüldüğü ana bölümdür. Belirli fiziksel olayları belirlemek için sisteme ek modüller dahil edilebilir. Türbülanslı akışı modellemek için bir dizi türbülans modeli kullanılabilir. Türbülanslı akışı simule etmek için çeşitli türbülans modellerinin kullanılması mümkündür.

3.4.3. HAD Simülasyon işlem sonrası

Simülasyon tamamlandığında, veri değerlendirme aşaması post-processing olarak adlandırılır. Bu noktada, simülasyondan elde edilen çok sayıda verinin istenilen herhangi bir grafiğe dönüştürülmesi mümkündür. Ayrıca, deney sonuçlarını karşılaştırmak için bu sonuçlar sayısal değerler olarak da alınabilir. Bu nedenle, sayısal, deneysel ve analitik yöntemlerden elde edilen sonuçların doğrudan karşılaştırılması kolaylaşmış ve sistemin doğruluğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, bu sonuçlar ve karşılaştırmalar sonucunda önemli farklılıklar veya hatalar ortaya çıkarsa, ilk adımı tekrarlamak için iteratif bir yöntem kullanılmalıdır. Bu yöntem, öncelikle sistemin fiziksel tanımına, ağ yapısına, sınır koşullarına ve kullanılan denklemlere odaklanmaktadır. Daha sonra simülasyon tekrarlanır ve amaçlanan veriler veya deneysel sonuçlar elde edilmektedir.

3.5. HAD Simülasyon Yönemiyle Hesaplamalar

Bu çalışmada FLUENT paket programı kullanılarak HAD analizi gerçekleştirilmiştir. FLUENT programı, laminer ve türbülanslı akış sorunları için oldukça kapsamlı modelleme sağlar ve geniş bir aralıktaki sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış türlerini kapsar (Fluent, 2003).

Türbin ve baca gücü ve verimlerini hesaplamak için;

- Türbin rotoru (çarkı) devir sayısı,
- Türbin giriş ve çıkışındaki havanın basıncı (veya basınç farkı) ve hızı,
- Güneş bacası giriş ve çıkışındaki basınç farkı ve hava hızı,
- Baca içerisindeki ve dışındaki sıcaklıklar,
- Güneş ışınım değeri,

- Elektrik çıkış gücü (akım ve voltaj) değerleri ölçülecektir.

Güneş bacası sisteminde kullanılacak türbinde en uygun olan kanat profili NACA4415 kabul ederek, türbin özellikleri belirlendi ve tasarlanmıştır.

Bu ifadelerdeki; n_t : Dönme hızı, M : Dönme momenti, Δp_t : Türbin bölgesi boyunca basınç düşmesi ve Q_v : Hacimsel hava debisidir. Rayleigh sayısı; Ra ise (4) ifadesi ile verilmiştir (Balijepalli ve ark., 2017).

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_h - T_c) \cdot L^3}{\alpha \cdot \nu} \quad (3.31)$$

İfadede; g : Yer çekimi ivmesi, β : Hacimsel genişleme kat sayısı, T_h : Sistemin en yüksek sıcaklığı, T_c : Sistemin en düşük sıcaklığı, L : Kollektör yüksekliği, α : Termal yayılma ve ν : kinematik viskozitedir.

Güneş bacası sisteminde kullanılan türbinler;

- Havanın ısı enerjisi, mekanik enerji üretiminde kullanılmak üzere dönüştürülür.
- Bacaya göre yatay konumdadır.
- Türbin kanatları bacanın tam kesitini kaplamalıdır.
- Türbin girişindeki ve çıkışındaki hava hızları arasında ihmal edilebilir düzeyde fark vardır.

Türbülans modelleri:

Genel bakımında, türbülans hesaplamayı çözülebilir yapmak için farklı yaklaşımlar

Çizelge 3.7. Simülasyon çeşitleri

DNS	LES	RANS
Direkt bir Numerik Simülasyonu	Büyük Girdap Simülasyonu	Reynold ortamalı Navier-stokes simülasyonu

HAD simülasyonunda mevcut türbülans modelleri aşağıdaki Çizelge 3.7'de verilmiştir

Çizelge 3.8. HAD simülasyon türbülans modeli

RANS esaslı modeller	Bir Denklemlilik Model Spalart-Allmaras
	İki denklemlilik Modeller
	Standart k-ε
	RNG k-ε
	Realizable k-ε*
	Standart k-ω SST k-ω*
	Reynolds Stress Model
	k-k-l-ω Transition Model SST Transition Model

Bu tez çalışmasında HAD yönteminde, RANS esaslı türbülans modeli standart k-ε uygulanacaktır. İki denkleme dayalı türbülans modelleri arasında, bu yarı ampirik model düşük hesaplama maliyeti ve yeterli doğruluk oranı sunduğu için sıklıkla tercih edilir. Model, türbülans kinetik enerjisi (k), enerji dağılımı oranı (ε) ve türbülans viskozitesini bulmak için taşıma denklemlerini çözebilmektedir. Kaldırma kuvveti etkilerinin göz önüne alınmadığında, bu denklemler k ve ε için sırasıyla aşağıdaki şekilde yazılmıştır (Koyun, 2006):

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k - \rho \varepsilon \quad (3.32)$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \quad (3.33)$$

şeklinde yazılabilir. Modelde yer alan difüzyon terimleri

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \quad \Gamma_\varepsilon = \mu + \mu_t / \sigma_\varepsilon \quad (3.34)$$

hız gradyenti nedeniyle oluşan türbülans enerjisini temsil eden kavram

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial u_j} \quad (3.35)$$

olup burada türbülans viskozitesi, türbülans kinetik enerjisi ve dissipasyon oranı cinsinden

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.36)$$

Yazılabilir. Bu modelde $R=0$ olup diğer ampirik sabitleri: $C_{1\varepsilon} = 1.44$; $C_{2\varepsilon} = 1.92$; $C_\mu = 0.09$; k ve ε için tanımlanan türbülans Prandtl sayıları $\sigma_k = 1.0$; $\sigma_\varepsilon = 1.3$ dir

ε Türbülans kinetik enerjisinin yayılma hızı [m^2/s^3]

μ_t Türbülans eddy viskozitesi [Ns/m^2]

G_k Türbülans üretim miktarı (boyutsuz)

C_μ Eddy viskozite için bir sabit

HAD yönteminde kullanılacak genel denklemleri aşağıdaki gibi verilmiştir (Çengel ve ark., 2008):

Kütlenin korunumu : (Süreklilik denklemi)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.37)$$

Momento Denklemleri

$$\frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\tau_{zx}}{\partial z} \quad (3.38)$$

Momento X :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (3.39)$$

Momento Y :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p+\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (3.40)$$

Momento Z :

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p+\tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (3.41)$$

Isı transfer için yüksek Reynolds sayılarında geçerli üniversal cidara yakın sıcaklık dağılımını kullanabilmektedir:

$$T^+ = \frac{(T - T_m) c_p \rho u_\tau}{q_m} = \sigma_{T,l} \left(u^+ + P \left[\frac{\sigma_{T,l}}{\sigma_{T,l}} \right] \right) \quad (K) \quad (3.42)$$

HAD yönteminde sınır şartları :

k ve ε için model denklemleri, gradyan difüzyon terimi sayesinde eliptiktir. Davranışları, aşağıdaki sınır koşullarına ihtiyaç duyulmasına neden olan diğer eliptik akış denklemlerine benzer:

- Giriş (inlet): k ve ε dağılımları verilmelidir
- Çıkış (outlet), simetri
Eksen: $\partial k / \partial n = 0$ ve $\partial \varepsilon / \partial n = 0$
- Serbest akış: k ve ε verilmeli veya $\partial k / \partial n = 0$ ve $\partial \varepsilon / \partial n = 0$
- katı duvarlar: yaklaşım Reynolds sayısına bağlıdır

Tasarım hesaplamalarında, modeli çalıştırmak için gereken ayrıntılı sınır koşulu bilgisi mevcut olmayabilir. Endüstriyel HAD kullanıcıları nadiren k ve ε ölçümlerine sahiptir.

$$k = \frac{2}{3} (U_{ref} T_i)^2 \quad \varepsilon = C_\mu^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l} \quad l = 0.07L \quad (3.43)$$

Türbin, bir akışkanın enerjisini kinetik enerjiye döndürmek için kullanılan mekanizmadır. Türbinler rüzgarda bulunan mekanik enerjiyi bir mil vasıtasıyla dönme hareketi gerçekleştirerek faydalı mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılırlar.

Türbin Çeşitleri:

- Rüzgar Türbinleri
- Su Türbinleri
- Gaz Türbinleri
- Buhar Türbinleri

Bu tez çalışmasındaki olan ihtiyaç rüzgar olduğu için rüzgar türbinlerinden projeye uyumlu sağlayanı seçilecektir.

Rüzgar Türbinleri

- Düşey (Dikey) eksenli rüzgâr türbinleri
- Yatay eksenli rüzgâr türbinleri
- Eğik eksenli rüzgâr türbinleri

Rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir.

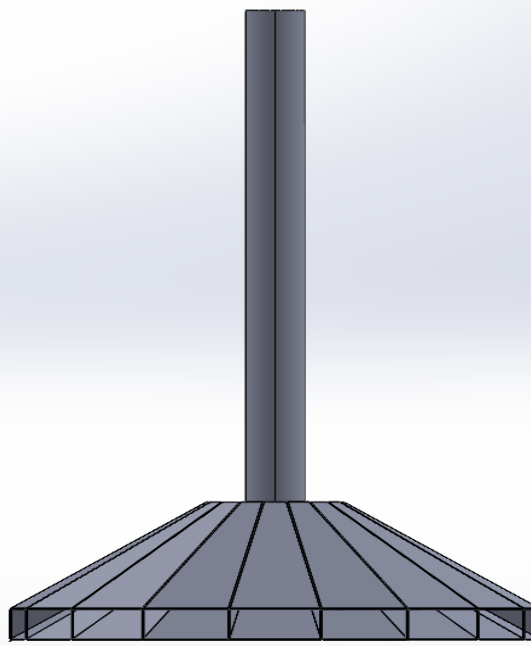
Eğer;

- $\lambda= 1-5$ Çok kanatlı rotor
- $\lambda= 6-8$ Üç kanatlı rotor,
- $\lambda= 9-15$ İki kanatlı rotor,
- $\lambda>15$ Tek kanatlı rotor kullanılır

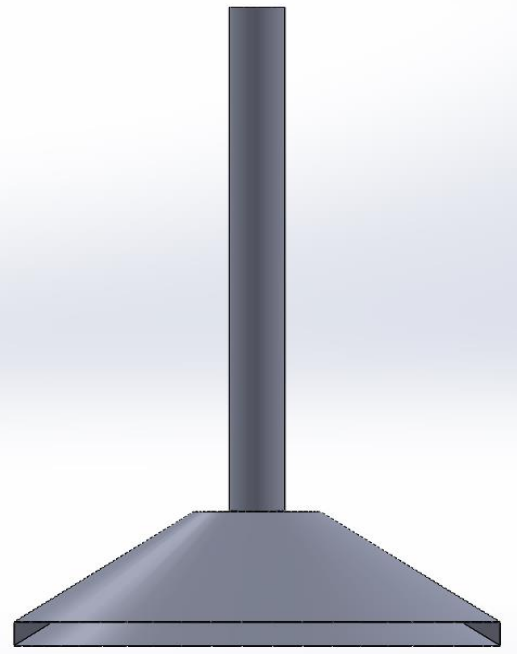
Tasarım sırasında, $\lambda= 1-5$ Çok kanatlı rotor seçilmiştir.

3.5.1. ANSYS Fluent içinde geometri oluşturulması

FLUENT programında güneş bacasını modellemek için sistemin fiziksel boyutlarını belirlemek ve bir kafes oluşturmak gerekmektedir. Bu amaçla SOLIDWORKS programında aynı boyutta ve bütün kriterleri dikkat alınarak 2 tane güneş bacası tasarlanmıştır (kafesli ve düz). Düz kollektör olan sadece HAD'te analizi kolaylaştırmak için ve hızlı çözümü elde etmek için tasarlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.22'de sistemin Solidworkste tasarlanan ve ANSYS programına aktarılan 3 boyutlu modelleri gösterilmiştir.



a. Kafesli kolektör güneş bacası



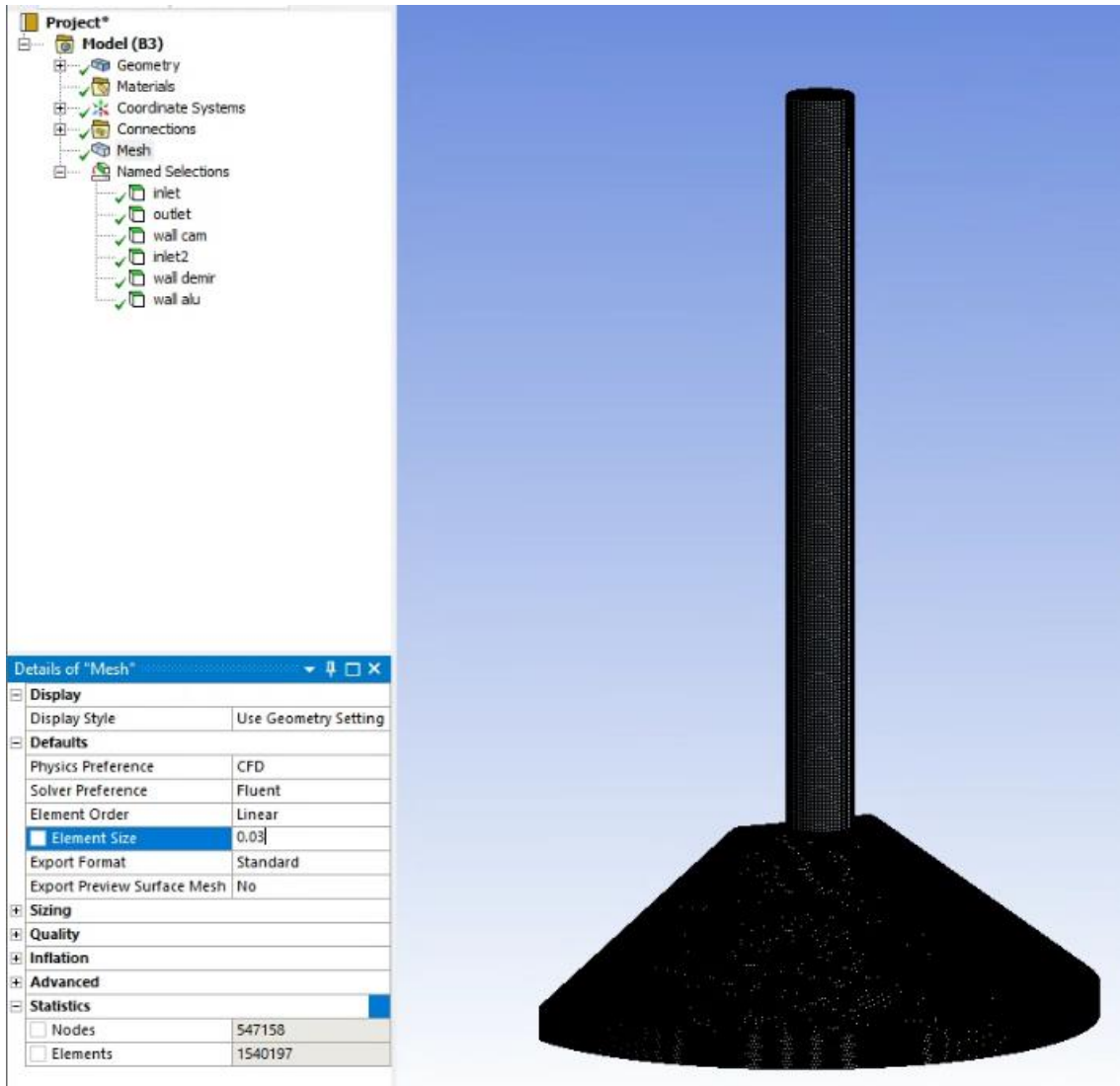
b. Düz kolektör güneş bacası

Şekil 3.22. Kafesli ve düz güneş baca kolektörleri

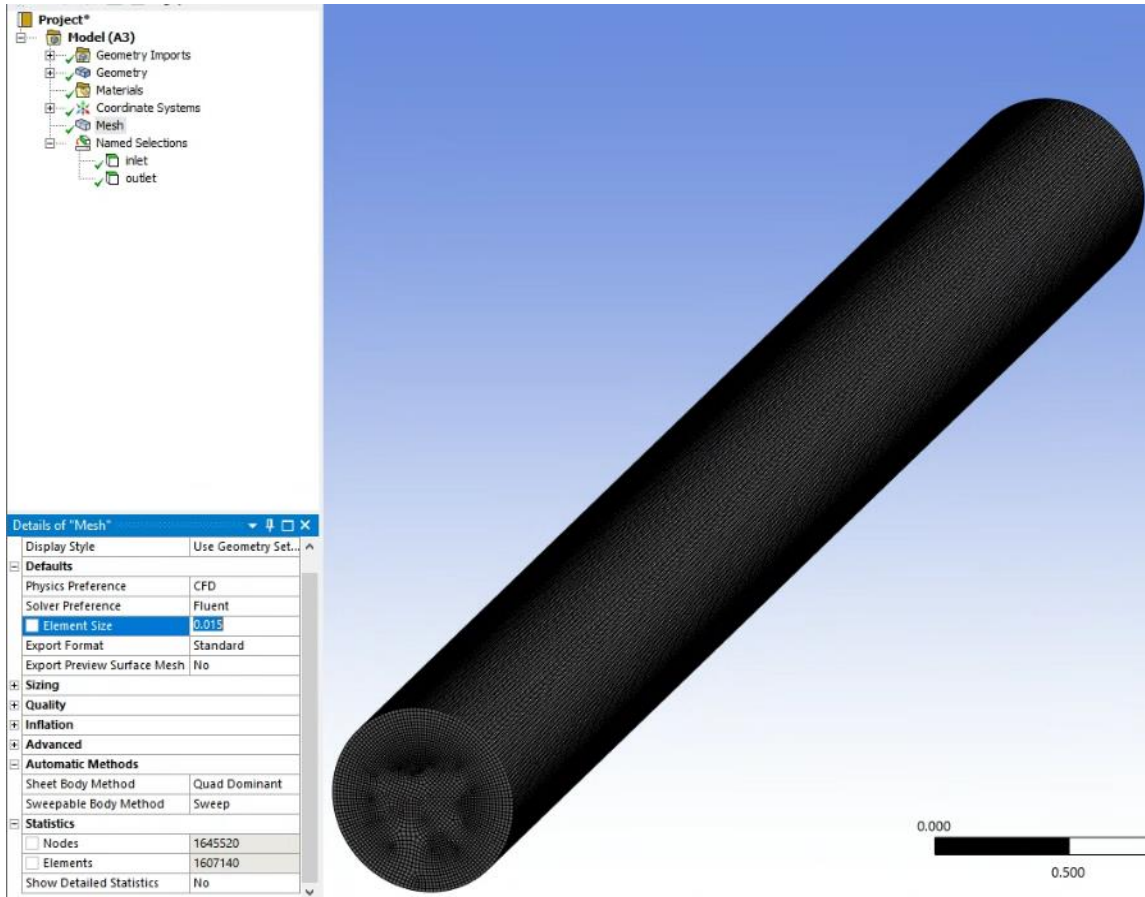
3.5.2. Kafes oluşturulma yöntemi ve hesabı

Fiziksel büyüklükler ilk olarak HAD programı tarafından dahil edilmiştir. Ardından, istenen doğruluğa uygun olarak ağ yapısını oluşturdu ve sistemin giriş ve çıkış

parametrelerini tanımlanmıştır. Şekil 3.23'te güneş bacasının çözüm ağı gösterilmiştir. Çözüm ağı oluşturması için eleman boyutu 0.03 m kullanılmıştır. Analizler yapmak için çözüm ağı 1.540.197 kadar artırarak analizler yapılmıştır ve giriş-çıkışları belirlenmiştir. Şekil 3.23'te güneş bacasının çözüm ağı gösterilmiştir. Çözüm ağı oluşturması için eleman boyutu 0.015 m kullanılmıştır. Analizler yapmak için çözüm ağı 1.607.140 kadar artırarak analizler yapılmıştır ve giriş-çıkışları belirlenmiştir. Hava giriş-çıkışları belirlenmiş olup, baca malzemesi alüminyum, kollektör üstü cam ve kollektör alt kısmı da sac olarak tanımlanmıştır.



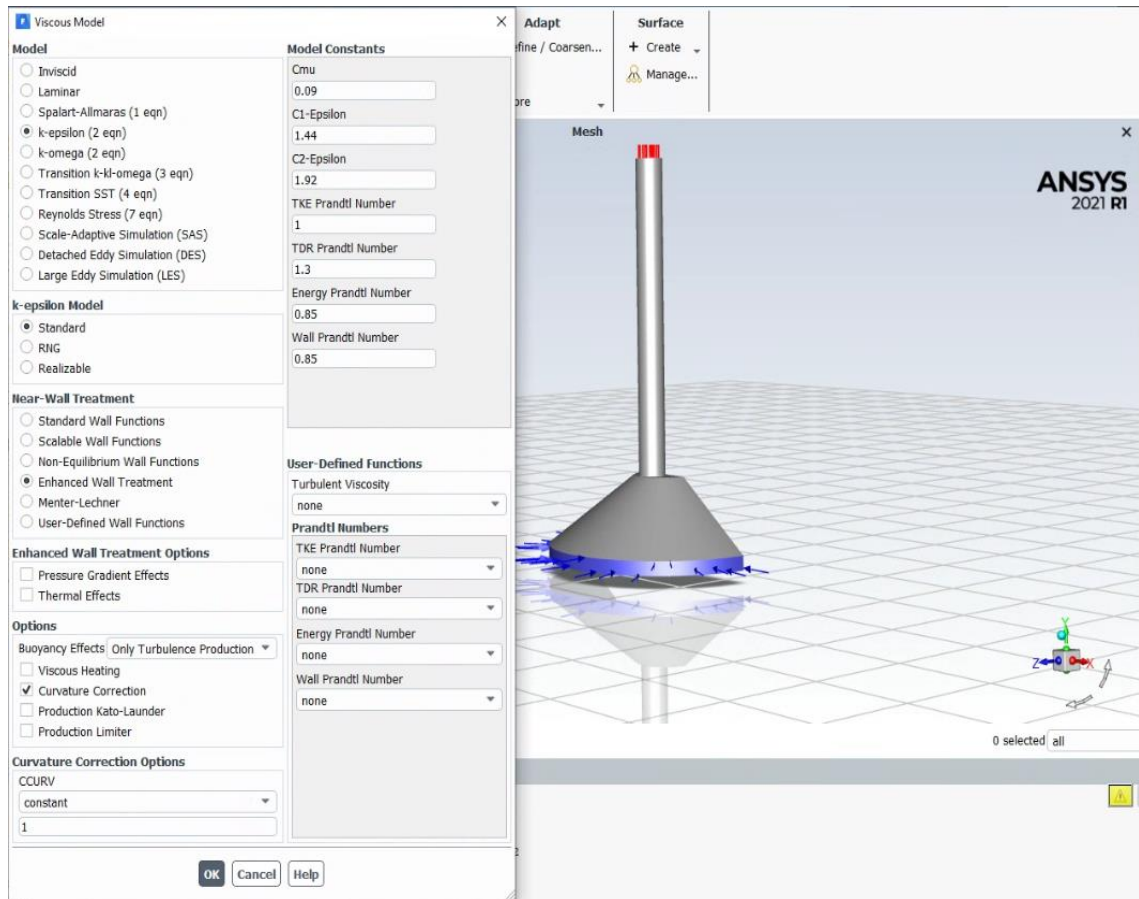
Şekil 3.23. Güneş bacasının oluşturulan mesh sayısı



Şekil 3.24. Bacas oluşturulan mesh sayısı

3.5.3. Modelleme ve sayısal çözüm yöntemi

Güneş bacasındaki akış, sıkıştırılabilir, kararlı, simetrik, 2 boyutlu Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerinin sayısal çözümü kullanılarak hesaplanmıştır. Kararlı akış nedeniyle zamana bağlı terimler yoktur. Bu çalışmada; $k-\epsilon$ türbülans modeli, türbülans için standart duvar modeli olarak kullanılmıştır. Baca içindeki akışın sürekli olduğunu ve hava yoğunluğunun nasıl değiştiğini belinmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.25, bu işlemle ilgili seçim ekranını gösterilmiştir.



Şekil 3.25. k-ε modelleme işlem çözümü

3.5.4. Sınır şartlarının tanımlaması

Simülasyon sürecini başlatmak için sistemin her bir bileşeninin başlangıç koşullarını karşılaması gerekir. Deneyden çıkan sonuçlara göre en yüksek sıcaklığını kabul ederek kollektör gir. Çizelge 3.9’da başlangıç değerlerini gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Programın başlama koşulları ve sınır şartları

Parametreleri	Tür	Değer
Baca Yüzeyi	Duvar (Alüminyum)	$A_{\text{baca}} = 0.385 \text{ m}^2$
Kollektör Yüzeyi (Cam)	Duvar (Semi-Transparent)	$H = 5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $A_{\text{koll}} = 0.385 \text{ m}^2$ $C_{p(\text{cam})} = 750 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
Kollektör Girişi	Hız Girişi (Velocity inlet)	$C_{p(\text{hava})} = 1005 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$; $g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$ $V_{\text{baca;gir}} = 1 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s}$

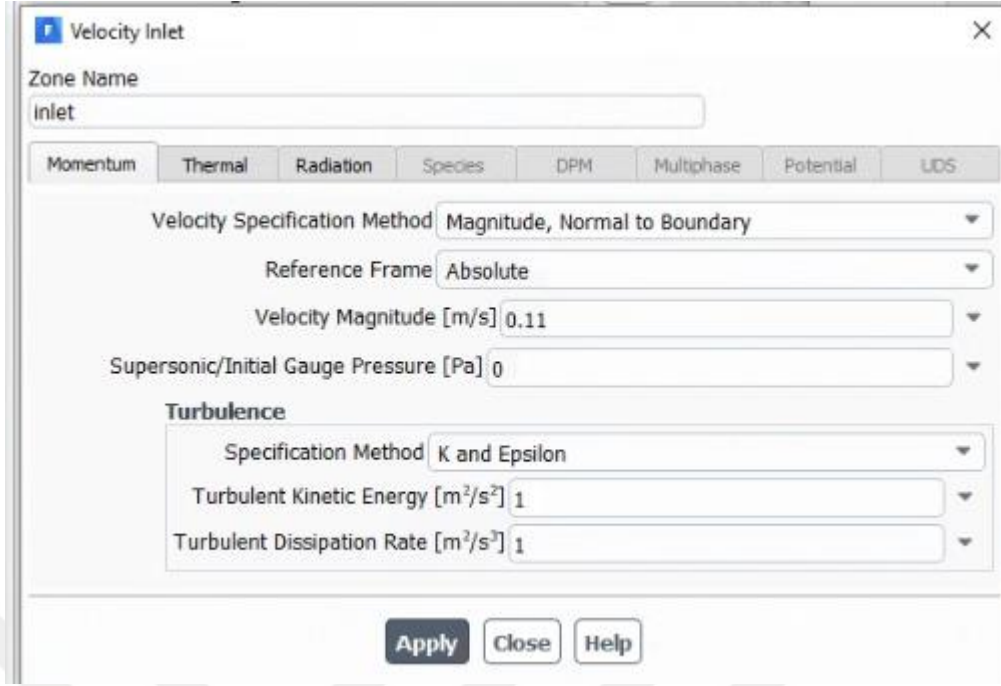
Çizelge 3.10. Kollektör (cam) yüzeyi ve toprak malzemelerinin karakteristikleri.

Malzeme özellikleri	Kollektör (Cam) yüzey
Emilim katsayısı	0.004
İletim katsayısı	0.92
Yoğunluk (kg/m ³)	$\rho=2500$
Özgül ısı (J / kgK)	750
Isı iletkenliği (W / mK)	0.78
Emissivite	0.9

Şekil 3.26’da Başlangıçta, akışkanın (hava) temel fiziksel özellikleri olan yoğunluk, özgül ısı kapasitesi, termal iletkenlik ve viskozite için kullanılan standart değerler aşağıdaki tabloda belirlenmiştir.

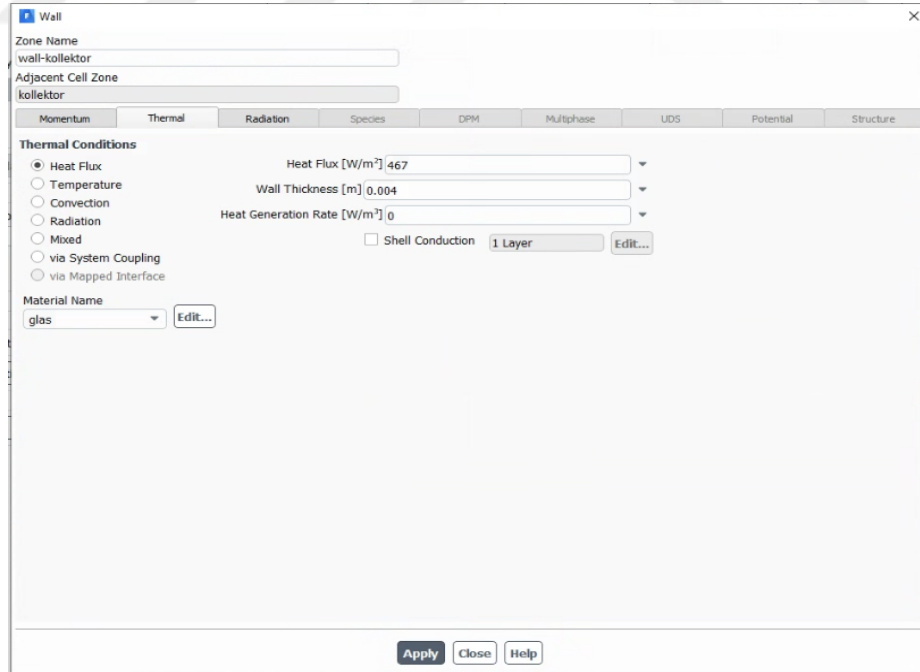
Şekil 3.26. Fluent programında kullanılan havanın özellikleri

Teorik analizleri hesaplamadan bulunan kollektör girişinde hava akış hızı HAD simülasyonunda girilecek kısmı gösterilmiştir ve k- ϵ çözüm olarak tanımlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.27’de kollektöre giriş hava akış hızı gösterilmiştir.



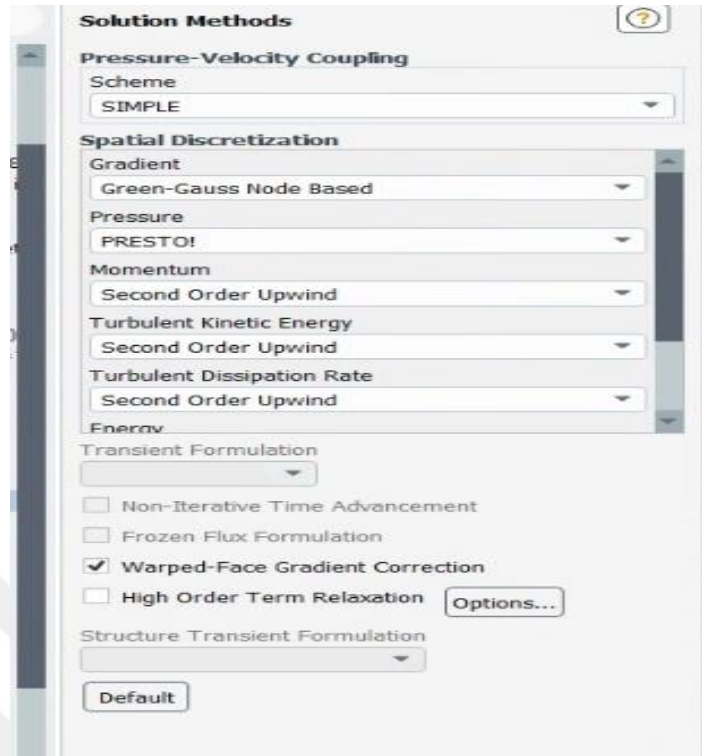
Şekil 3.27. Kollektör girişinde hava akış hızı sınır şartları

Güneş ışınımı, kollektör yüzeye gelen ışınım ve kollektör kalınlığı girilmiştir ve Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



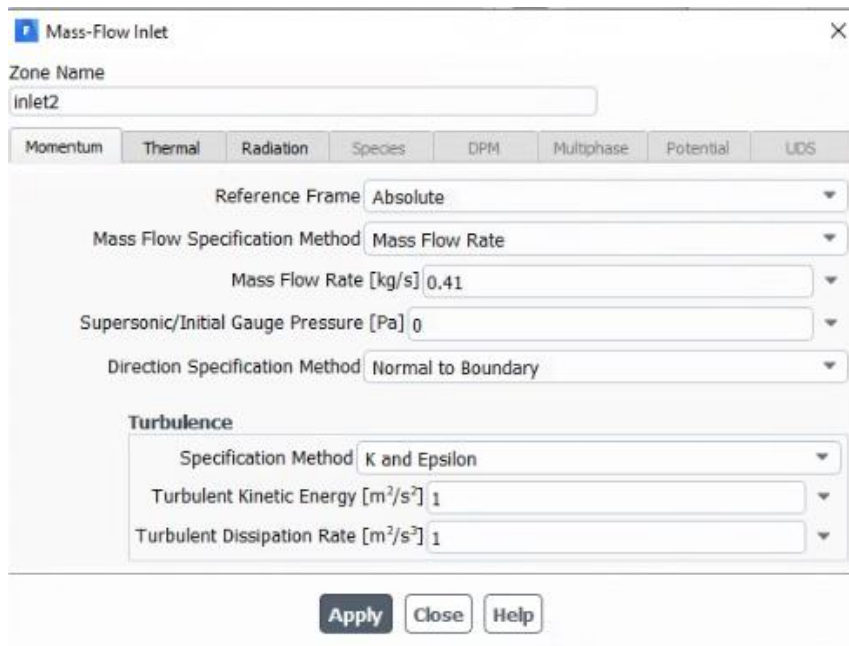
Şekil 3.28. Güneş ışınım ve kollektör kalınlığı girişi

Model seçiminden sonra sistem çözdürmeye başlamaktadır. Kollektöre giren havanın kütleli debisi ile çıkan havanın kütleli debisi eşit olduğunda, analizin iterasyon sayısı belirlenir. Model çözüm yöntemi Şekil 3.29’ da verilmiştir.



Şekil 3.29. Model çözüm yöntemi seçim ekranı

Ortalama aylık verileri kullanarak teorik hesaplamalardan elde edilen kütle debileri Ansys fluent programına girdikten sonra baca girişindeki hava akış hesaplanmaktadır. Şekil 3.30'da kütle debisinin ansys fluent programında girilecek kısmı gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Kütle debisinin AANSYS Fluent programına giriliş yeri

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Teorik Analizler ve HAD Fluent Sonuçları

Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (HAD-Fluent) simülasyonlarının sonuçları, Konya'nın uzun dönem 2024 meteorolojik verileri kullanılarak yapılan teorik değerlendirmelerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, sayısal simülasyonlar ile teorik tahminler arasında yüksek derecede uyum olduğunu göstererek, seçilen metodolojinin geçerliliği ispatlamıştır.

Bulgular, tüm sistem performansının baca açıklığındaki hava giriş hızındaki değişikliklerden önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Baca içindeki hava akışı davranışı, basınç dağılımı ve termal özellikler, 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s ve 5 m/s giriş hızları için ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yüksek hızlarda iyileşme oranı azalsa da, hem teorik hem de ANSYS fluent çalışmaları, giriş hızının artırılmasının sistemin kütle akış hızını ve enerji dönüşüm verimliliğini iyileştirdiği gösterilmiştir.

Bütün durumlar göz önünde bulundurulursa, teorik ve HAD değerlendirmelerinin uzun vadeli meteorolojik verilerle birleştirilmesi, güneş bacasının Konya ikliminde ne kadar iyi performans gösterdiğini kapsamlı bir şekilde anlamamızı sağlar. Bu sonuç ise güneş bacalarının benzer hava şartlarına sahip bölgelerde nasıl başarılı bir yenilenebilir enerji kaynağı olabileceğini göstermektedir. Çizelge 4.1'de Konya iline ait 2024 yılı aylık ortalama güneş ışınımı, ortam basıncı ve çevre sıcaklığı değerleri verilmiştir (Anonim, 2025f).

Çizelge 4.1. Konya iline ait 2024 yılı aylık ortalama güneş ışınımı ve dış hava basınç ve sıcaklık verileri

Aylar	I (W/m ²)	P (kPa)	Tçevre (°C)
Ocak	133	89.9	1
Şubat	192	99.8	1.5
Mart	246	99.7	5.6
Nisan	296	99.7	11.1
Mayıs	371	99.8	15.9
Haziran	438	89.7	20.2
Temmuz	483	89.6	23.6
Ağustos	467	89.7	23.4
Eylül	400	89.9	18.8
Ekim	304	90.2	12.9
Kasım	221	90.1	6.5
Aralık	133	90	1.8

4.1.1. Güneş bacası sisteminin teorik analizi sonuçları

Güneş enerjisi sisteminin üç ana parçası kollektör, baca ve türbindir. Güneş ışığı kollektörün yüzeyine çarptığında hava ısınır ve sıcaklıklar değişir. Isınan hava bacadan yükseldikçe yoğunluğu azalır ve mekanik enerjiye dönüşür. Türbin bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür.

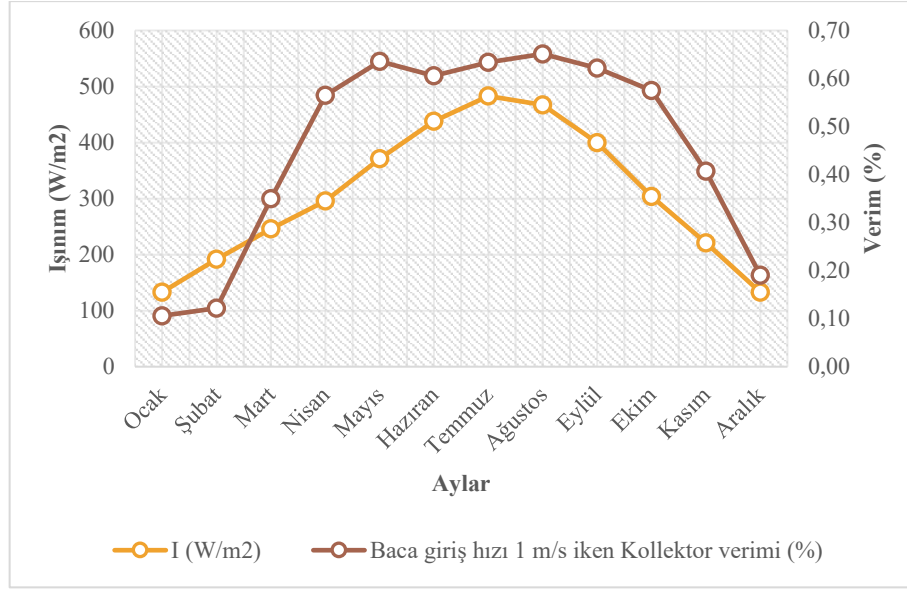
Bu çalışmada Konya iline ait 2024 yılı dönem aylık ortalama meteorolojik veriler kullanılarak teorik hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda sırasıyla baca girişinde hava akış hızları 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s ve 5 m/s tercih ederek kollektöre girişler de 0.11 m/s, 0.21 m/s, 0.32 m/s, 0.42 m/s ve 0.53 m/s olarak hesaplanmıştır. Aşağıda teorik olarak hesaplanmış olan sonuçları hem çizelge olarak ve hem grafik olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. ve Şekil 4.1.'de güneş ışınımının vasıtasıyla baca giriş hızı 1m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Baca girişi hava hızı 1 m/s için aylık ortalama ışınım, ΔT_{koll} , kollektör ve sistem verimleri

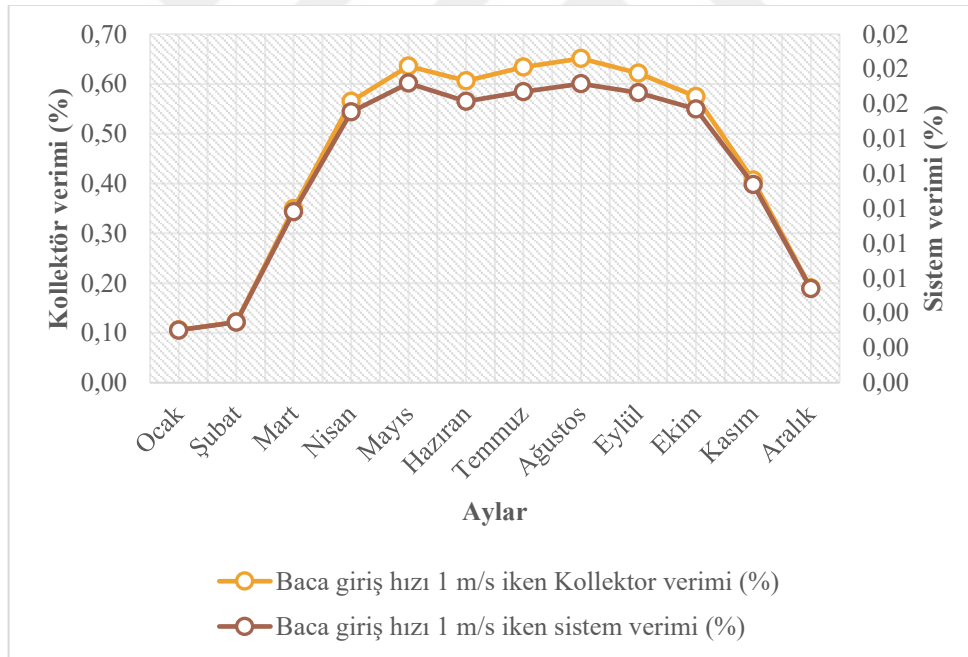
Aylar	I (W/m^2)	ΔT_{koll} (K)	Kollektor verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.01	0.11	0.00
Şubat	192	0.01	0.12	0.00
Mart	246	0.04	0.35	0.01
Nisan	296	0.07	0.57	0.02
Mayıs	371	0.10	0.64	0.02
Haziran	438	0.13	0.61	0.02
Temmuz	483	0.15	0.63	0.02
Ağustos	467	0.15	0.65	0.02
Eylül	400	0.12	0.62	0.02
Ekim	304	0.08	0.57	0.02
Kasım	221	0.04	0.41	0.01
Aralık	133	0.01	0.19	0.01

Şekil 4.1.'de aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.11 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.



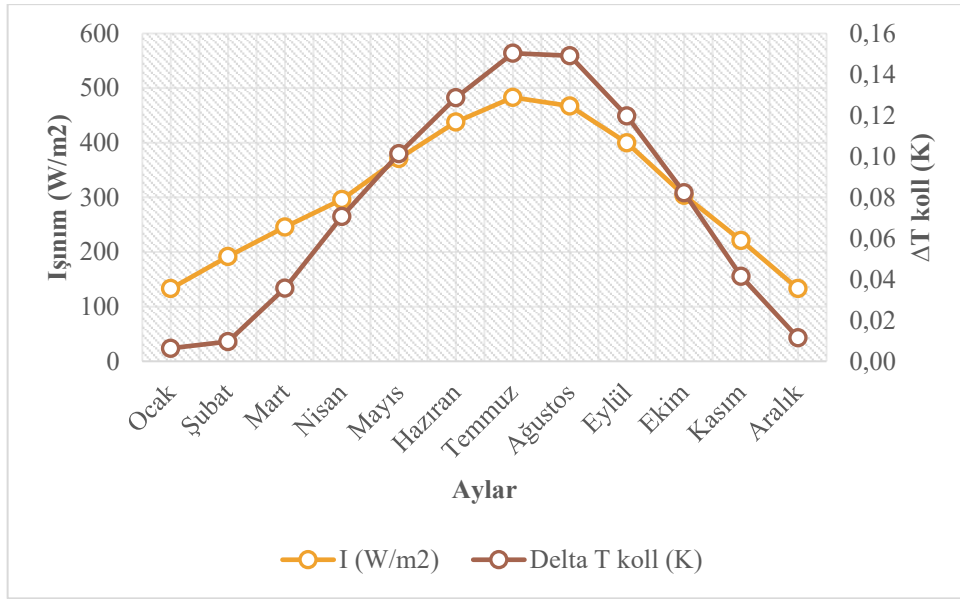
Şekil 4.1. Konya 2024 aylık ortalama güneş ışınımı ve baca giriş hızı 1 m/s için kollektör verimleri

Şekil 4.2.'de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 1 m/s iken kollektör verimi ve sistem verimi davranış gösterilmiştir.



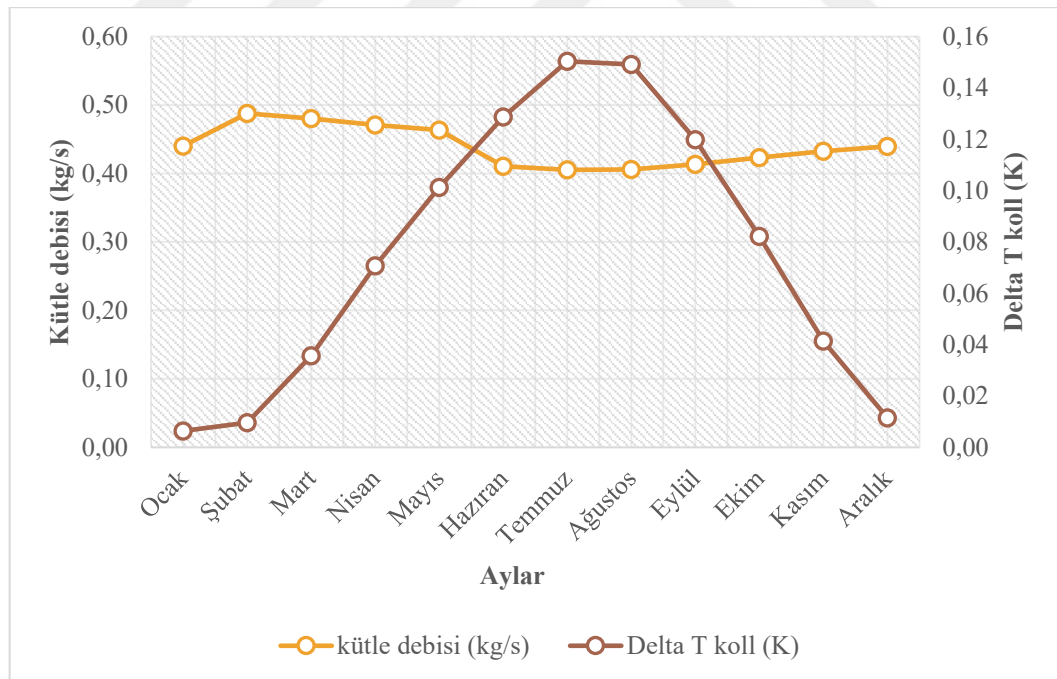
Şekil 4.2 Konya 2024 aylık ortalama güneş ışınımı ve baca giriş hızı 1 m/s için kollektör ve sistem verimleri

Şekil 4.3.'de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 1 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör içinde sıcaklık farkını nasıl etkilediği gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Konya 2024 aylık ortalama güneş ışınımı ve baca giriş hızı 1 m/s için kollektör sıcaklık farkı değerleri

Şekil 4.4.'te aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 1 m/s iken kütle debisi ve kollektör içinde oluşan sıcaklık farkı gösterilmiştir.



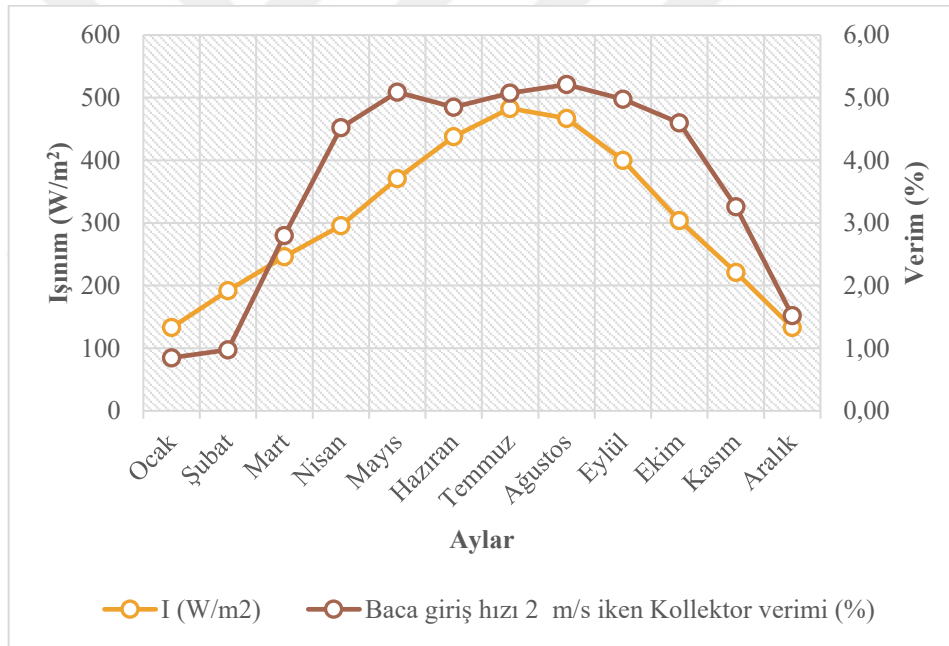
Şekil 4.4. Konya 2024 aylık baca giriş hızı 1 m/s için kollektör sıcaklık farkı ile kütle debisi değişimi

Çizelge 4.3. ve Şekil 4.5'de güneş ışınımının vasıtasıyla baca giriş hızı 2 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimini nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Baca girişi hava hızı 2 m/s için aylık ortalama ışınım, ΔT_{koll} , kolektör ve sistem verimleri

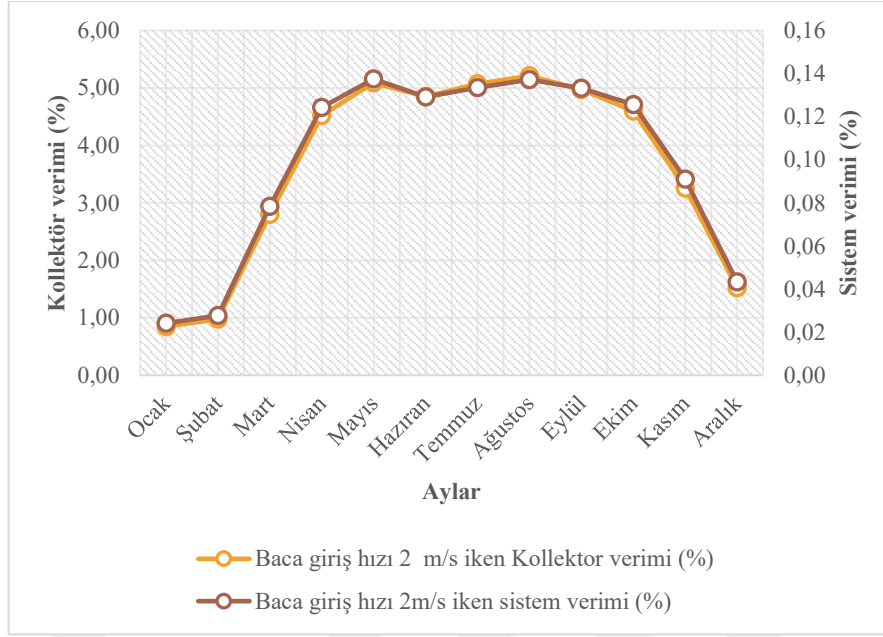
Aylar	I (W/m^2)	ΔT_{koll} (K)	Kolektör verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.03	0.85	0.02
Şubat	192	0.04	0.98	0.03
Mart	246	0.14	2.80	0.08
Nisan	296	0.28	4.52	0.12
Mayıs	371	0.41	5.09	0.14
Haziran	438	0.51	4.85	0.13
Temmuz	483	0.60	5.07	0.13
Ağustos	467	0.60	5.21	0.14
Eylül	400	0.48	4.97	0.13
Ekim	304	0.33	4.60	0.13
Kasım	221	0.17	3.26	0.09
Aralık	133	0.05	1.52	0.04

Şekil 4.5.'te aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.21 m/s iken güneş ışınımı kolektöre yansıttığında kolektör verimi nasıl etkelediği gösterilmiştir.



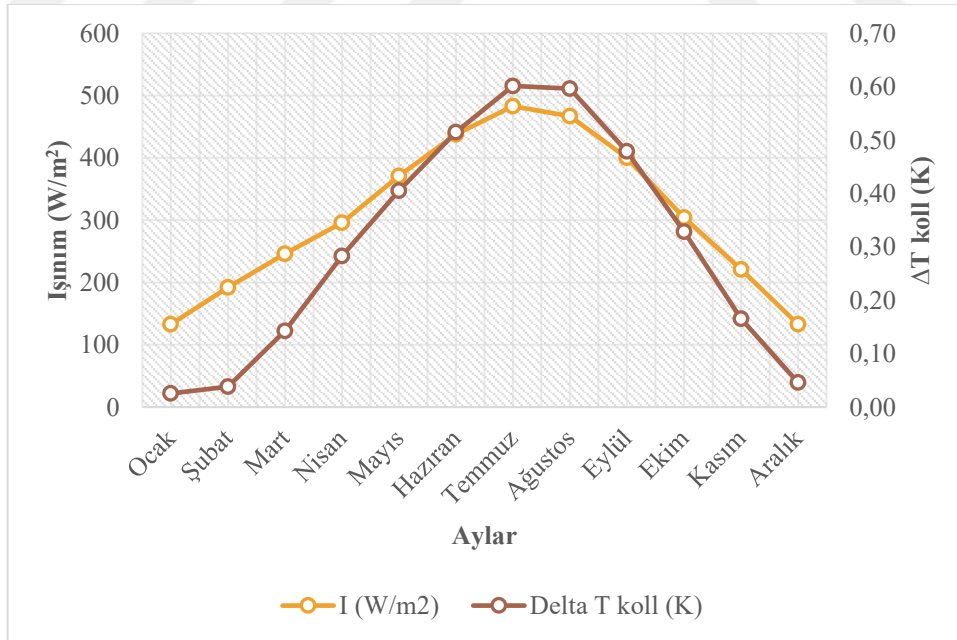
Şekil 4.5. 2 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ve kolektör verim etkisi

Şekil 4.6.'da aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 2 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir



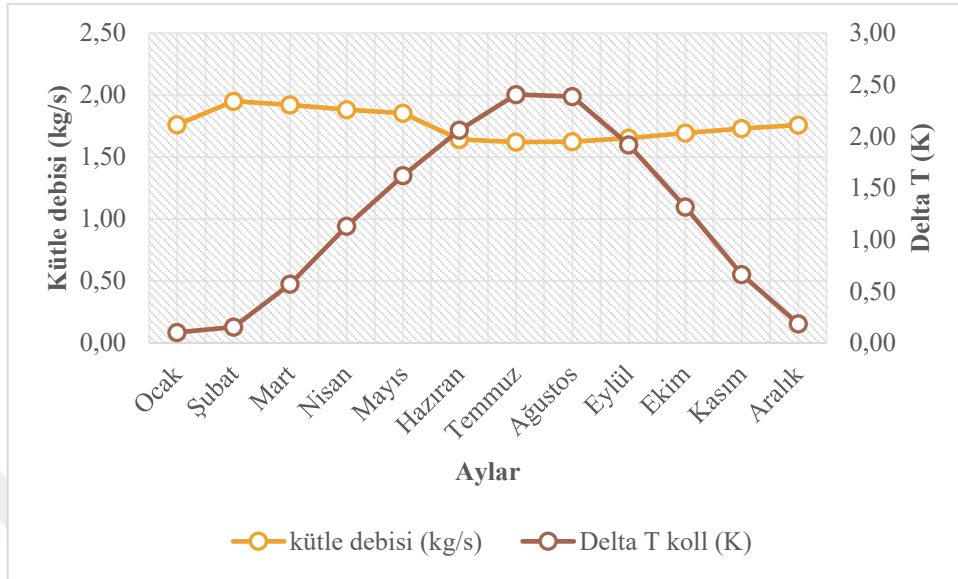
Şekil 4.6. 2 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör verim ve sistem verimi davranışı

Şekil 4.7’de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 2 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör içinde oluşan sıcaklık farkı nasıl etkilendiği gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 2 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı ve kütle debisi ilişkisi

Şekil 4.8’de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 2 m/s iken kütle debisi ve kollektör içinde oluşan sıcaklık farkı gösterilmiştir



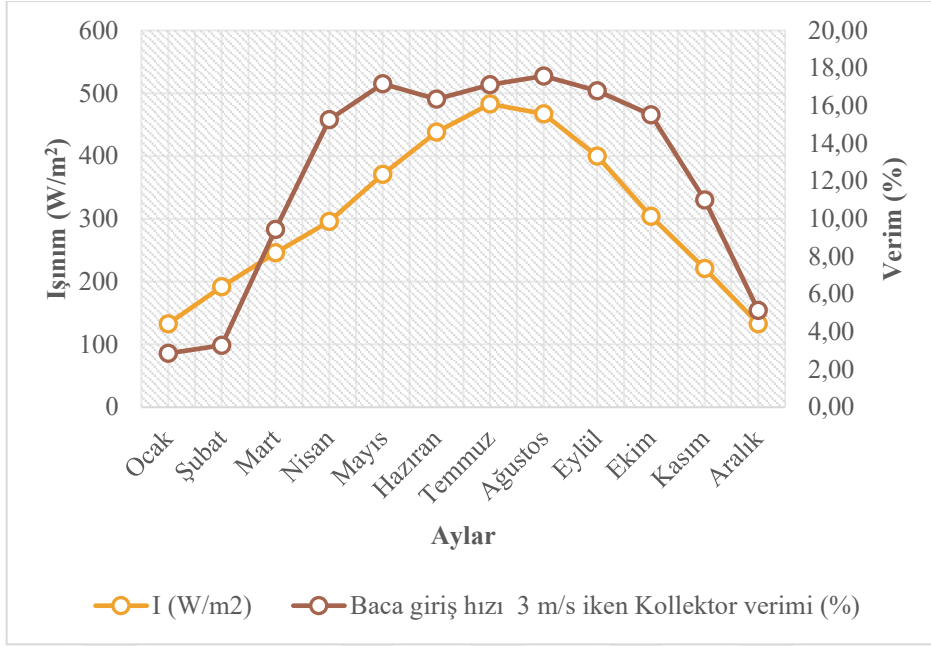
Şekil 4.8. 2 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı ve kütle debisi ilişkisi

Çizelge 4.4. ve şekil 4.9’de güneş ışınımının vasıtasıyla baca giriş hızı 3 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilendiği gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Baca girişi hava hızı 3 m/s için aylık ortalama ışınım, ΔT_{koll} , kollektör ve sistem verimleri

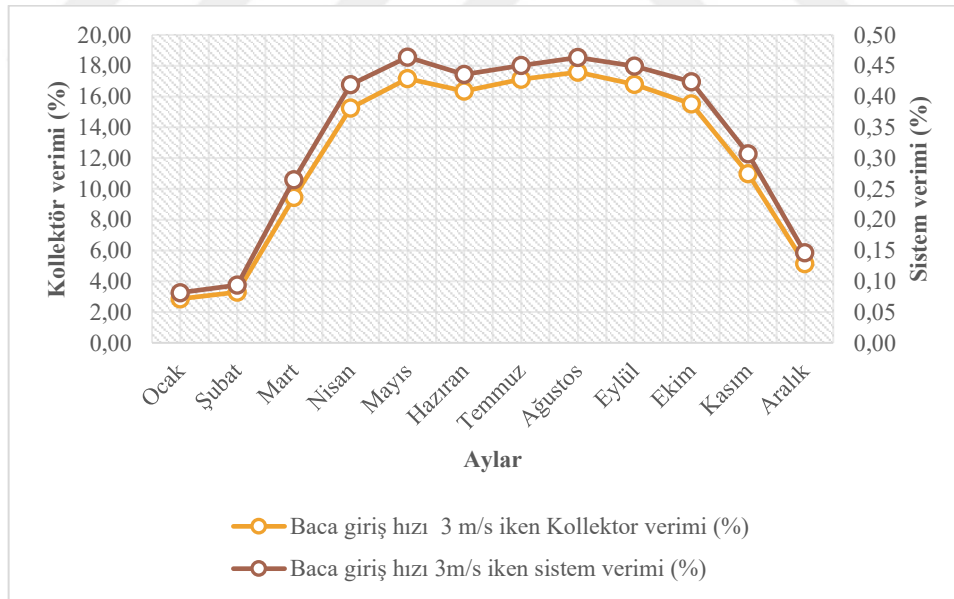
Aylar	I (W/m ²)	ΔT_{koll} (K)	Kollektor verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.06	2.86	0.08
Şubat	192	0.09	3.29	0.09
Mart	246	0.32	9.45	0.26
Nisan	296	0.64	15.26	0.42
Mayıs	371	0.91	17.17	0.46
Haziran	438	1.16	16.36	0.44
Temmuz	483	1.35	17.12	0.45
Ağustos	467	1.34	17.58	0.46
Eylül	400	1.08	16.79	0.45
Ekim	304	0.74	15.52	0.42
Kasım	221	0.37	10.99	0.31
Aralık	133	0.10	5.14	0.15

Şekil 4.9.’de aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.32 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör verimi nasıl etkilendiği gösterilmiştir.



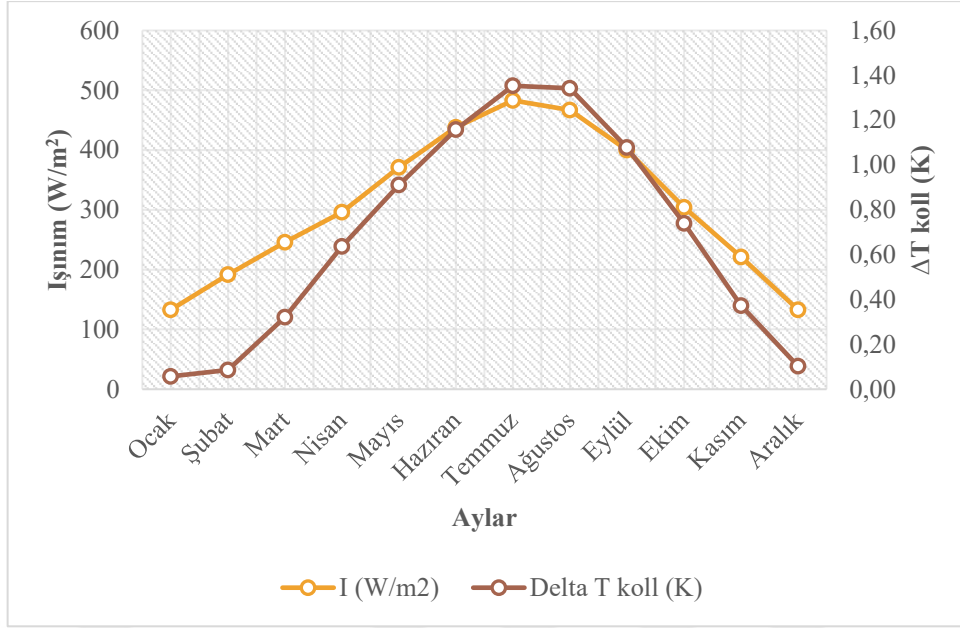
Şekil 4.9. 3 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ve kollektör verim etkisi

Şekil 4.10.'da aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 3 m/s iken kollektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir



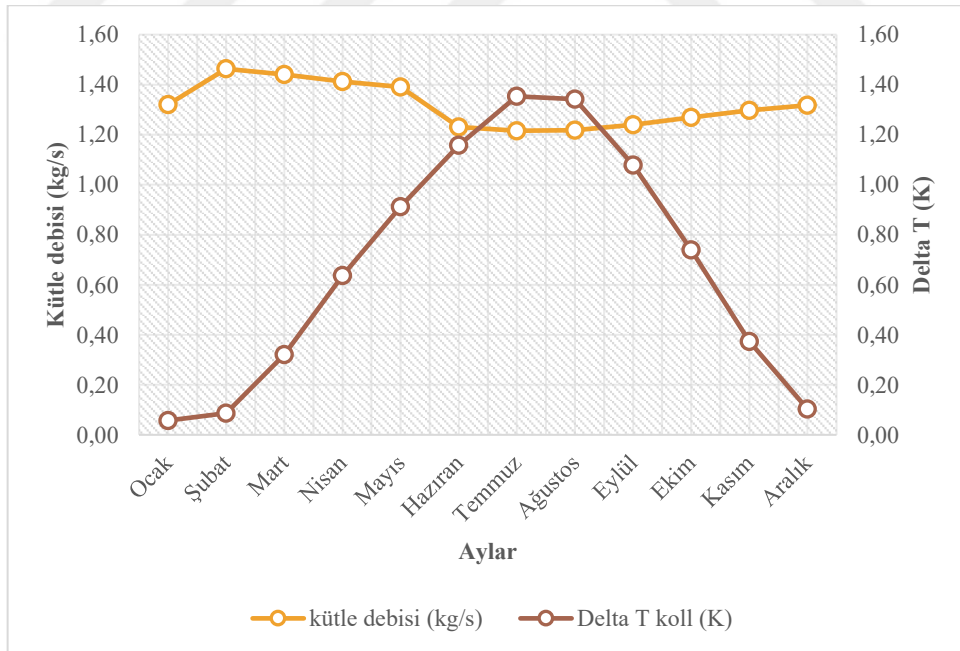
Şekil 4.10. 3 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör verim ve sistem verimi davranışı

Şekil 4.11.'de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 3 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör içinde sıcaklık farkı nasıl etkilediği gösterilmiştir.



Şekil 4.11. 3 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ve kolektör sıcaklık farkı etkisi

Şekil 4.12'de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 3 m/s iken kütle debisi ve kolektör içinde oluşan sıcaklık farkı gösterilmiştir.



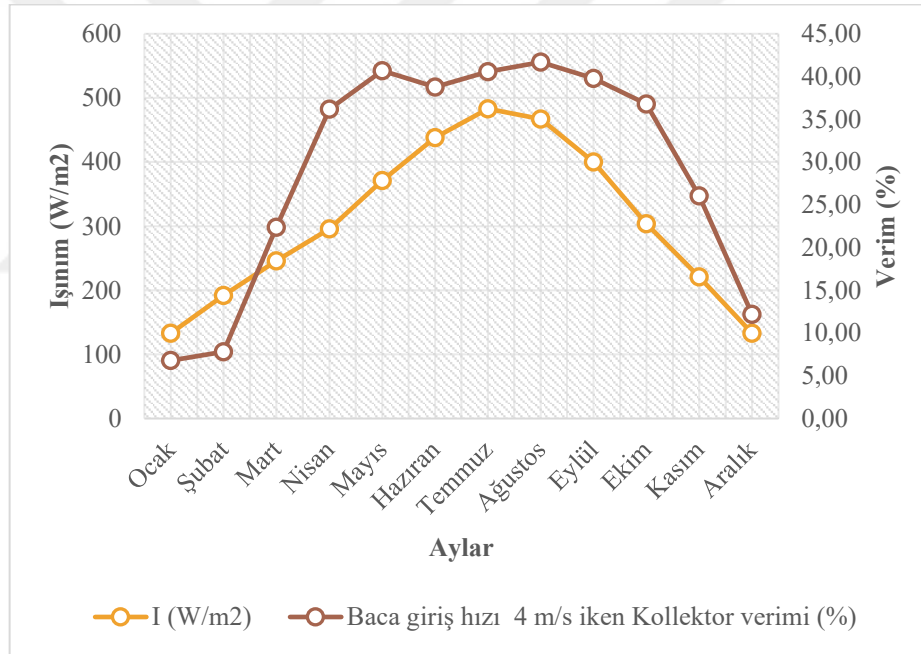
Şekil 4.12. 3 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kolektör sıcaklık farkı ve kütle debisi ilişkisi

Çizelge 4.5. ve şekil 4.13'te güneş ışınımının vasıtasıyla baca giriş hızı 4 m/s iken kolektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilendiği gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Baca girişi hava hızı 4 m/s için aylık ortalama ışınım, ΔT_{koll} , kolektör ve sistem verimleri

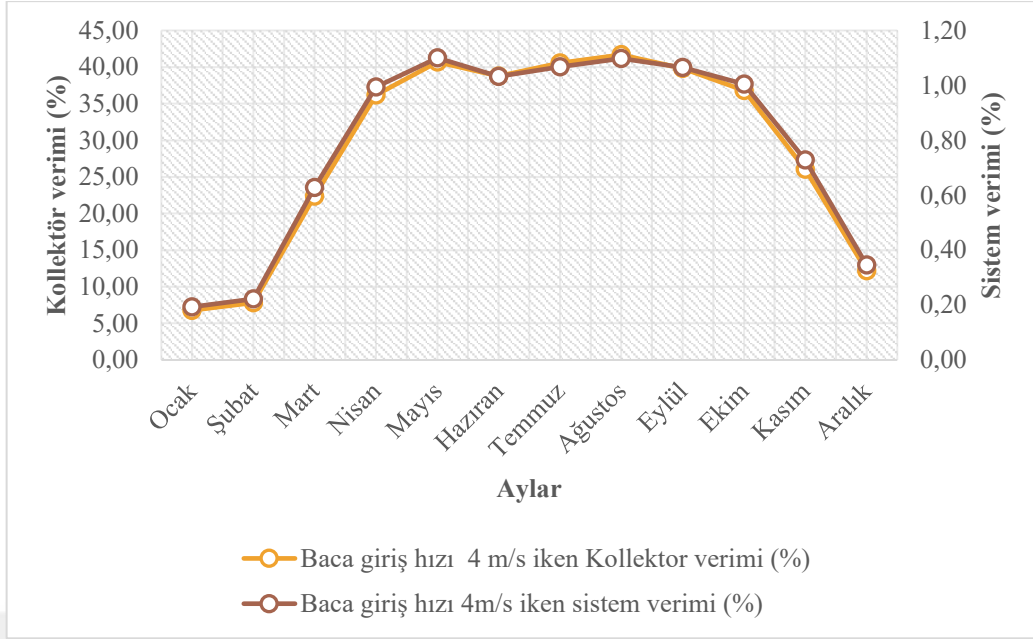
Aylar	I (W/m^2)	ΔT_{koll} (K)	Kolektör verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.10	6.78	0.19
Şubat	192	0.15	7.81	0.22
Mart	246	0.57	22.39	0.63
Nisan	296	1.13	36.17	0.99
Mayıs	371	1.62	40.69	1.10
Haziran	438	2.06	38.78	1.03
Temmuz	483	2.41	40.57	1.07
Ağustos	467	2.39	41.68	1.10
Eylül	400	1.92	39.80	1.07
Ekim	304	1.31	36.80	1.01
Kasım	221	0.66	26.06	0.73
Aralık	133	0.18	12.18	0.35

Şekil 4.13.'te aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.42 m/s iken güneş ışınımı kolektöre yansıttığında kolektör verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.



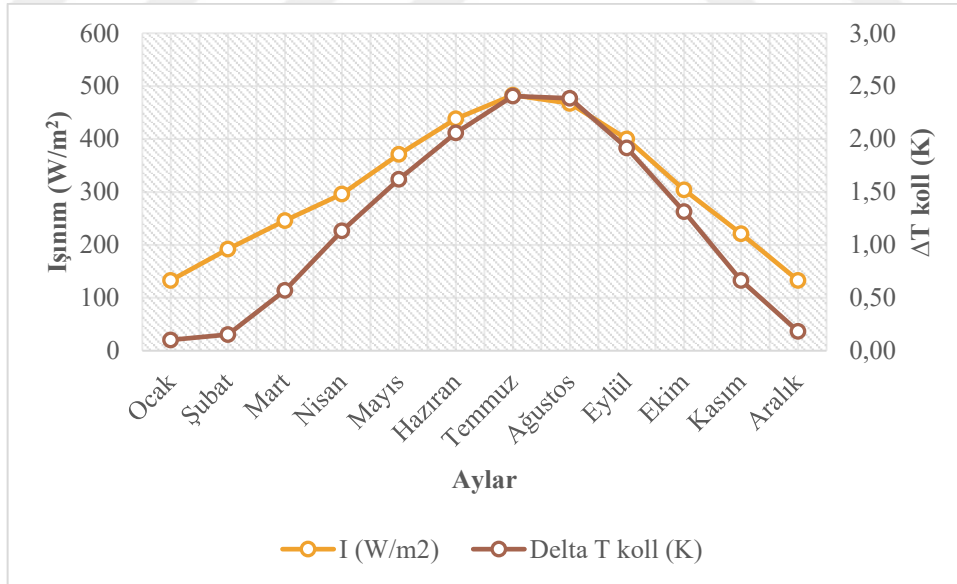
Şekil 4.13. 4 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ve kolektör verim etkisi

Şekil 4.14.'da aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 4 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir



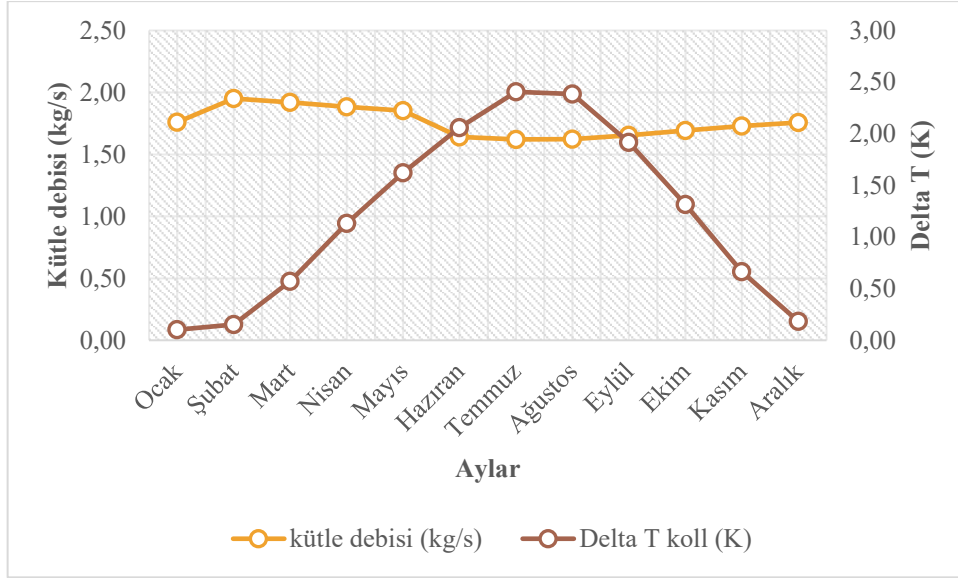
Şekil 4.14. 4 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör verim ve sistem verimi

Şekil 4.15'te aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 4 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör içinde oluşan sıcaklık farkı nasıl etkilendiği gösterilmiştir.



Şekil 4.15 4 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı ve kütle debisi ilişkisi

Şekil 4.16'da aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 4 m/s iken kütle debisi ve kollektör içinde oluşan sıcaklık farkı gösterilmiştir.



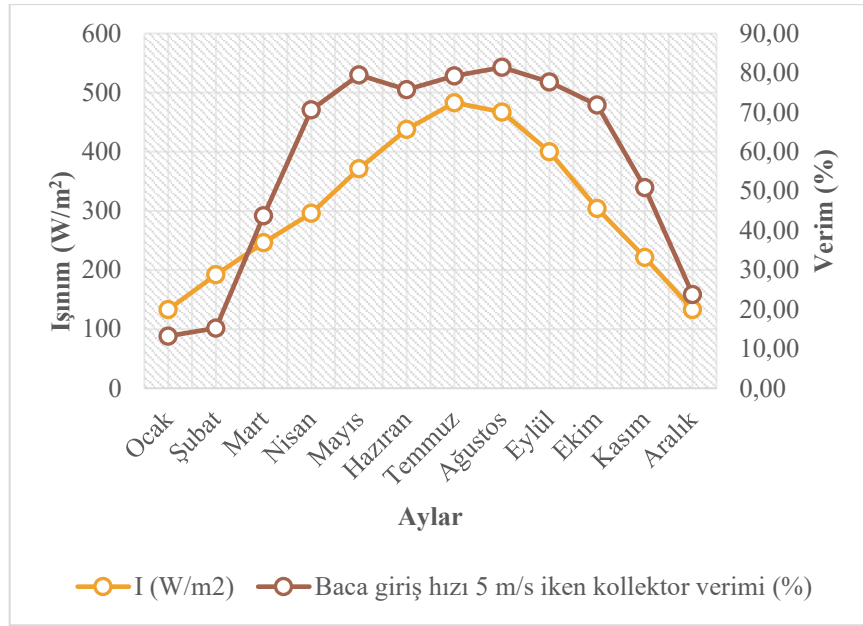
Şekil 4.16. 4 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı ve kütle debisi ilişkisi

Çizelge 4.6. ve şekil 4.17’te güneş ışınımının vasıtasıyla baca giriş hızı 5 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Baca girişi hava hızı 5 m/s için aylık ortalama ışınım, ΔT_{koll} , kollektör ve sistem verimleri

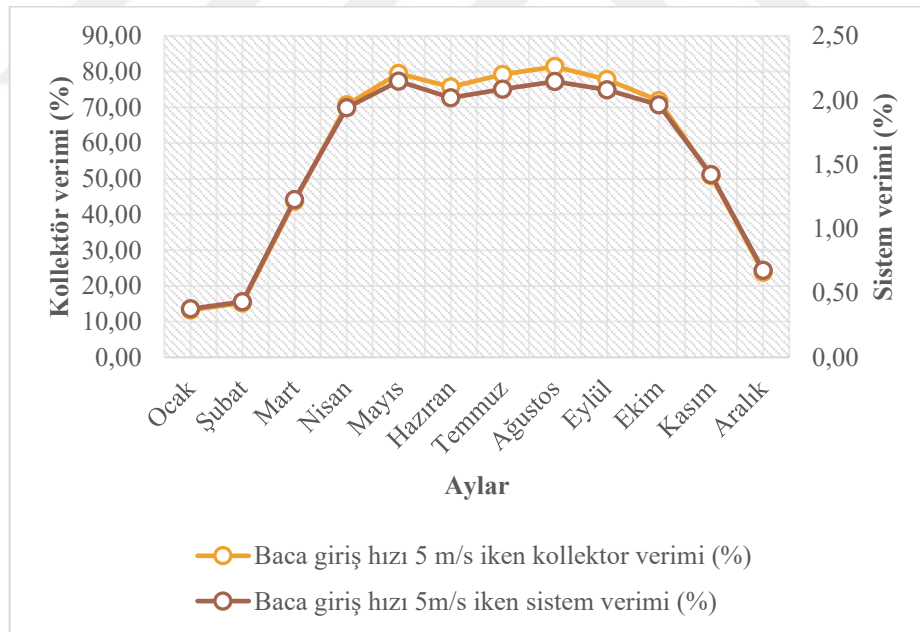
Aylar	I (W/m^2)	ΔT_{koll} (K)	Kollektor verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.16	13.24	0.38
Şubat	192	0.24	15.25	0.43
Mart	246	0.89	43.73	1.23
Nisan	296	1.77	70.65	1.94
Mayıs	371	2.53	79.48	2.15
Haziran	438	3.22	75.74	2.02
Temmuz	483	3.76	79.24	2.09
Ağustos	467	3.73	81.40	2.14
Eylül	400	2.99	77.73	2.08
Ekim	304	2.05	71.87	1.96
Kasım	221	1.04	50.90	1.42
Aralık	133	0.29	23.79	0.68

Şekil 4.17.’de aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.53 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.



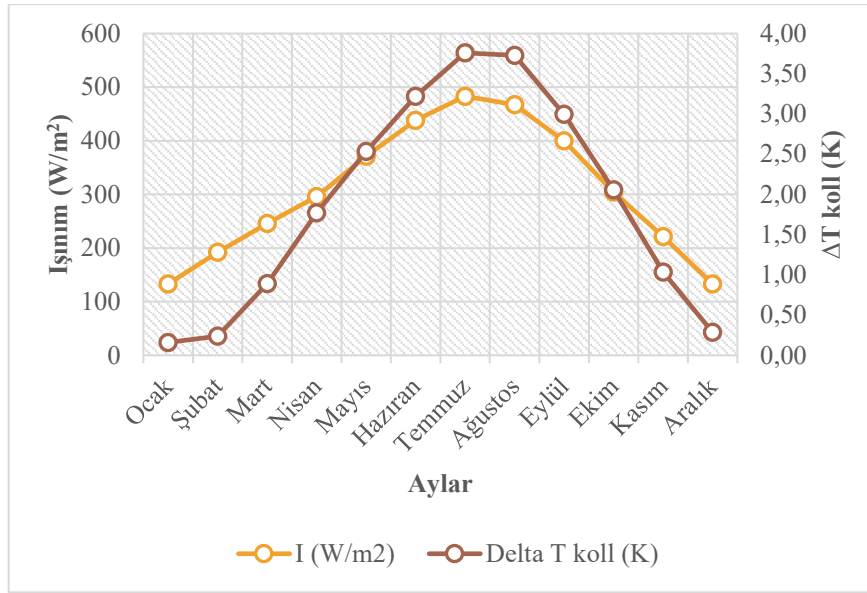
Şekil 4.17. 5 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ve kolektör verim etkisi

Şekil 4.18.'de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 5 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir.



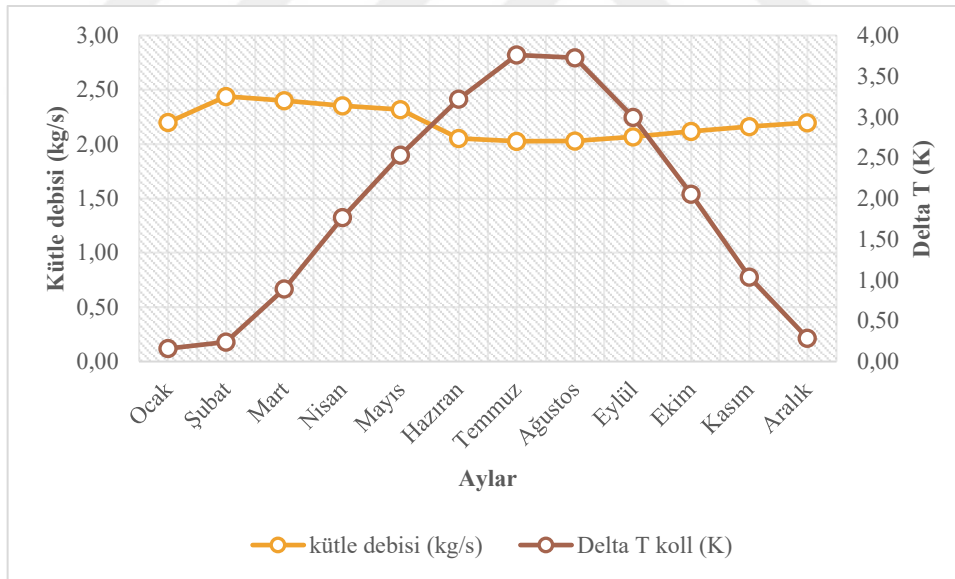
Şekil 4.18 5 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kolektör verim ve sistem verimi davranışı

Şekil 4.19'te aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 5 m/s iken güneş ışınımı kolektöre yansıttığında kolektör içinde sıcaklık farkı nasıl etkilediği gösterilmiştir.



Şekil 4.19 5 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kolektör sıcaklık farkı ve kütle debisi ilişkisi

Şekil 4.20’de aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 5 m/s iken kütle debisi ve kolektör içinde oluşan sıcaklık farkı gösterilmiştir.

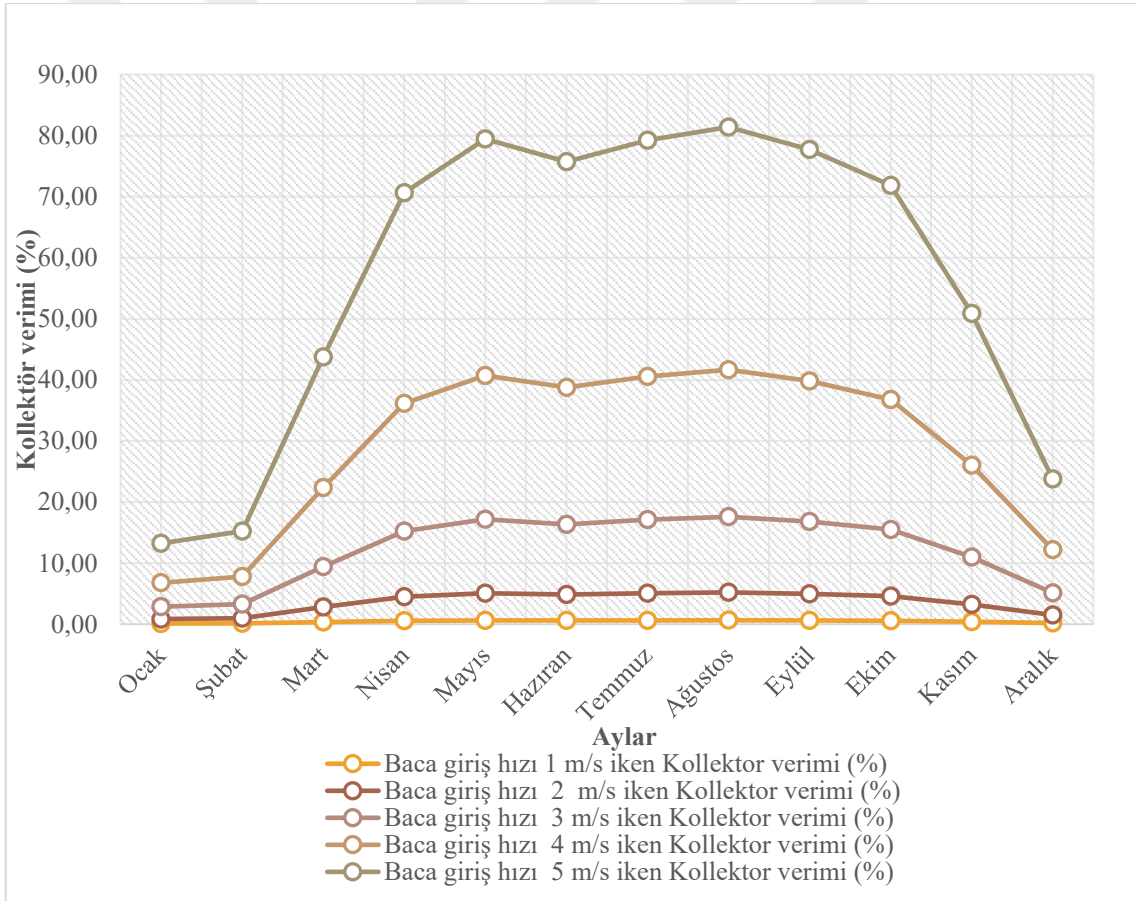


Şekil 4.20. 5 m/s iken Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kolektör sıcaklık farkı ve kütle debisi ilişkisi

Güneş bacası sistemlerinin verimini doğrudan etkileyen en önemli değişkenlerden biri baca yüksekliğidir. Güneş bacasının baca yüksekliğine bağlı olduğundan ve bu analizde baca yüksekliği 8 m olduğu için baca verimi %0.03 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.7’de Konya 2024 yılı meteorolojik aylık ortalama verilerine göre 1-5m/s baca giriş hızları için hesaplanan güneş bacası kolektörünün verimleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Konya 2024 yılı meteorolojik aylık ortalama verilere göre 1-5m/s baca giriş hızları için hesaplanan kollektör verimleri

Aylar	Baca giriş hızı 1 m/s iken Kollektor verimi (%)	Baca giriş hızı 2 m/s iken Kollektor verimi (%)	Baca giriş hızı 3 m/s iken Kollektor verimi (%)	Baca giriş hızı 4 m/s iken Kollektor verimi (%)	Baca giriş hızı 5 m/s iken Kollektor verimi (%)
Ocak	0.11	0.85	2.86	6.78	13.24
Şubat	0.12	0.98	3.29	7.81	15.25
Mart	0.35	2.80	9.45	22.39	43.73
Nisan	0.57	4.52	15.26	36.17	70.65
Mayıs	0.64	5.09	17.17	40.69	79.48
Haziran	0.61	4.85	16.36	38.78	75.74
Temmuz	0.63	5.07	17.12	40.57	79.24
Ağustos	0.65	5.21	17.58	41.68	81.40
Eylül	0.62	4.97	16.79	39.80	77.73
Ekim	0.57	4.60	15.52	36.80	71.87
Kasım	0.41	3.26	10.99	26.06	50.90
Aralık	0.19	1.52	5.14	12.18	23.79



Şekil 4.21. Konya 2024 yılı meteorolojik aylık ortalama verilere göre 1-5m/s baca giriş hızları için hesaplanan kollektör verimleri grafiği

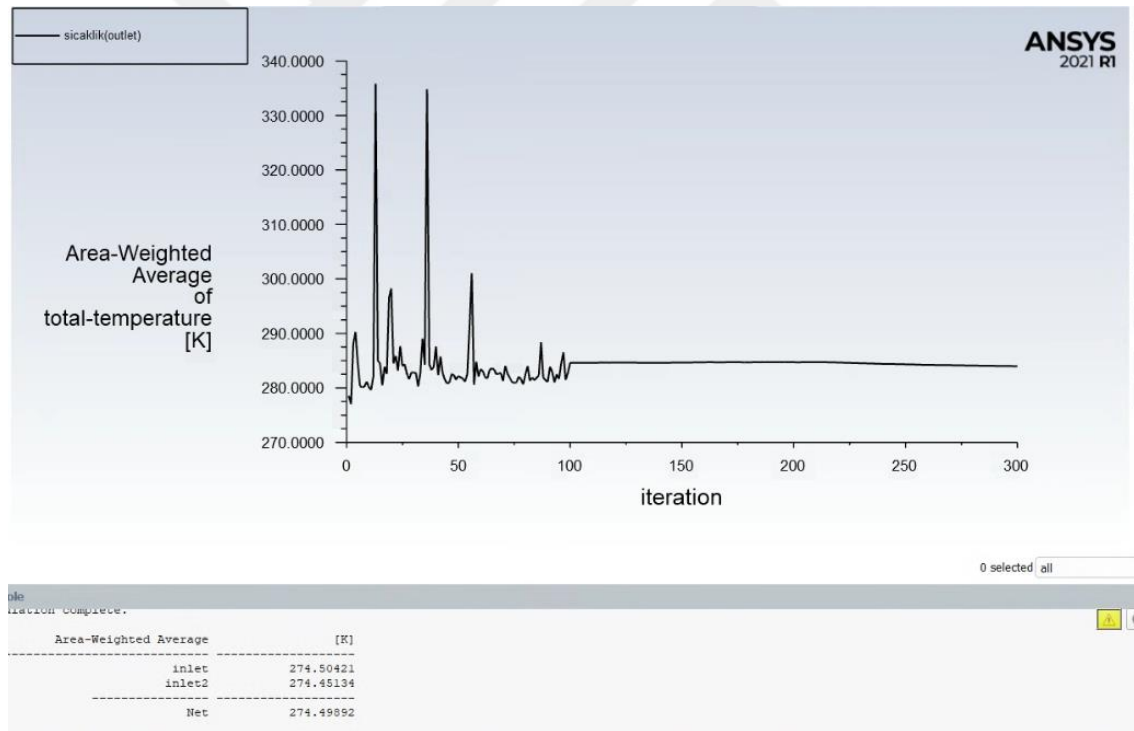
Çizelge 4.7 ve Şekil 4.21 de görüldüğü gibi Konya 2024 yılı meteorolojik aylık ortalama verilerine göre baca girişi hava hızının artması kollektördeki hava akış hızının da artmasını sağladığı için kollektörün ve veriminin artmasını sağlamıştır.

4.1.2. ANSYS Fluent ile güneş bacası sisteminin sayısal analizi

Bu çalışmada teorik hesaplamalardan elde edilen değerleri kollektör giriş çıkış sıcaklığı, kollektöre giriş hava akış hızı, kütle debisi ve ortalama aylık güneş ışınımların verileri ANSYS fluent programına girilerek bacadaki akış hava hızını hesaplanmıştır .

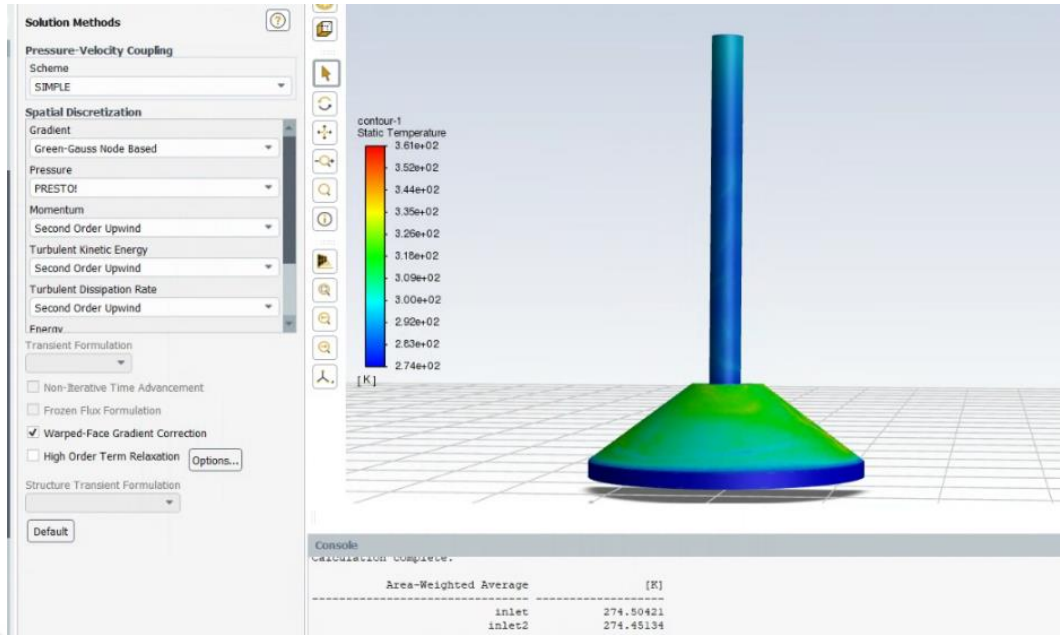
Bu çalışmada Konya iline ait 2024 yılı aylık ortalama meteorolojik veriler kullanılarak teorik hesaplamalar yapılmıştır. ANSYS fluent analizinde sırasıyla baca girişinde kollektöre giriş hava akış hızları 0.11 m/s, 0.21 m/s, 0.32 m/s, 0.42 m/s ve 0.53 m/s girildikten sonra sırasıyla baca giriş 0.10 m/s, 0.20 m/s, 0.30 m/s, 40 m/s ve 0.50 m/s hızları olarak hesaplanmıştır .

Şekil 4.22’de Kollektör içinde sıcaklık davranışları ve kollektör giriş sıcaklığı ve kollektör çıkış maksimum sıcaklığı gözlenmiştir .



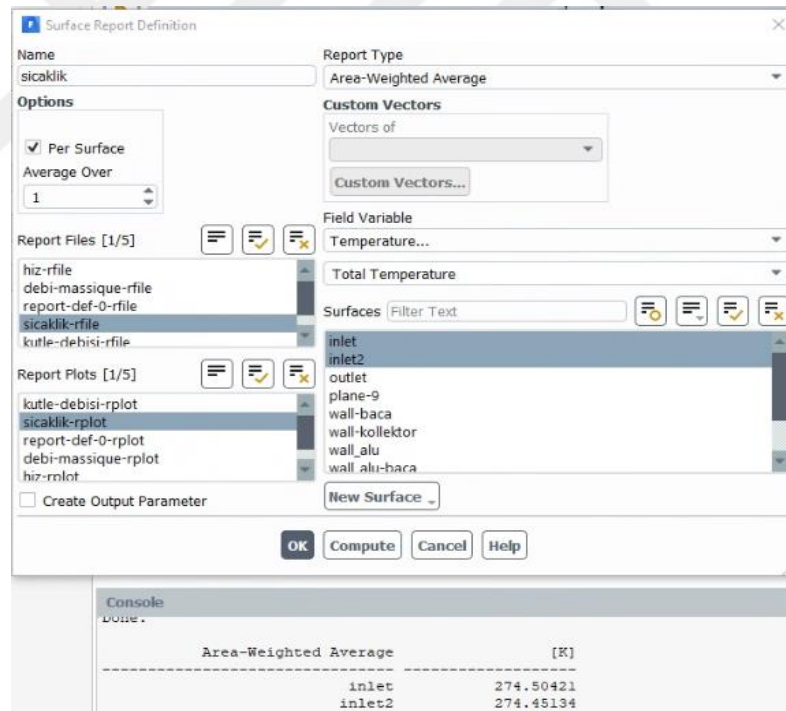
Şekil 4.22. Kollektöre giriş 0.11 m/s iken kollektör giriş-çıkış sıcaklık iterasyonu eğrisi

Şekil 4.23’te Kollektör içinde sıcaklık davranışları ve kollektör giriş sıcaklığı ve kollektör çıkış maksimum sıcaklığı konturu gözlenmiştir .



Şekil 4.23. Kollektöre giriş 0.11 m/s güneş bacası içerisinde oluşan sıcaklık konturu

Şekil 4.24'da kollektöre giriş ve çıkış hava sıcaklığı (inlet2) hesaplandığı görülmüştür .



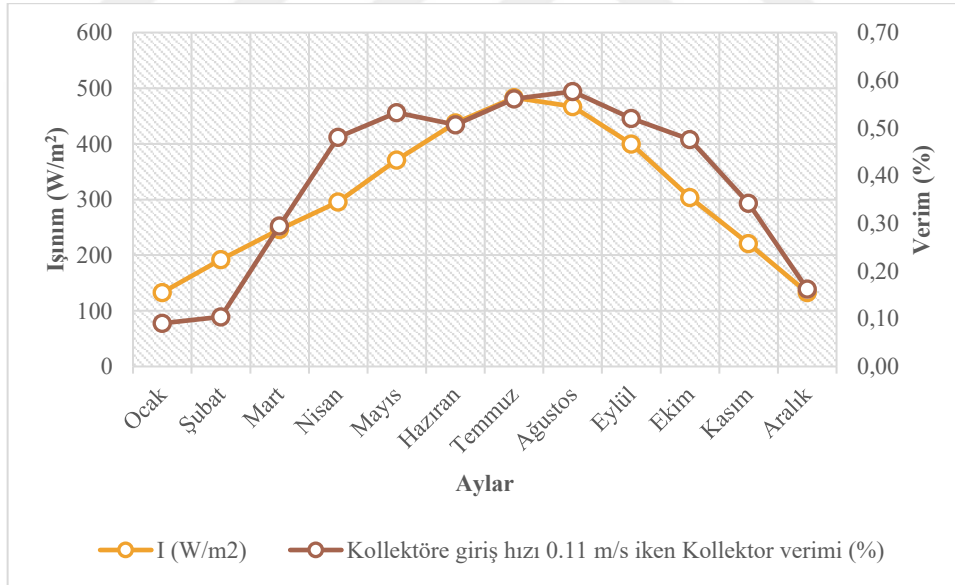
Şekil 4.24. Baca giriş hızı 0.11 m/s kollektör giriş-çıkış sıcaklık hesabı

Aşağıda teorik olarak hesaplanmış olan sonuçları hem çizelge olarak ve hem grafik olarak verilmiştir. Çizelge 4.8. ve Şekil 4.22'de güneş ışınımının vasıtasıyla kollektöre giriş hızı 0.11 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ile kolektöre giriş 0.11 m/s için Ansys Fluent analizinde bulunan ΔT_{koll} ile kolektör ve sistem verimleri

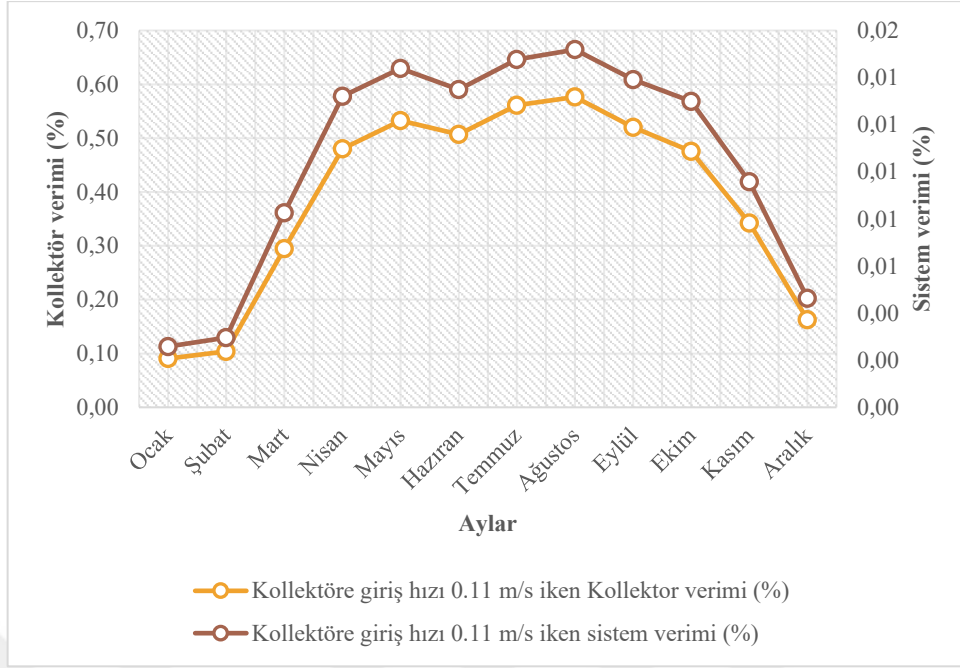
Aylar	I (W/m^2)	ΔT_{koll} (K)	Kollektor verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.01	0.09	0.00
Şubat	192	0.01	0.10	0.00
Mart	246	0.03	0.30	0.01
Nisan	296	0.06	0.48	0.01
Mayıs	371	0.09	0.53	0.01
Haziran	438	0.11	0.51	0.01
Temmuz	483	0.14	0.56	0.01
Ağustos	467	0.14	0.58	0.02
Eylül	400	0.11	0.52	0.01
Ekim	304	0.07	0.48	0.01
Kasım	221	0.04	0.34	0.01
Aralık	133	0.01	0.16	0.00

Şekil 4.25.'de ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre hava akış hızı 0.11 m/s girildiğinde güneş ışınımı kolektöre yansıttığında kolektör verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.



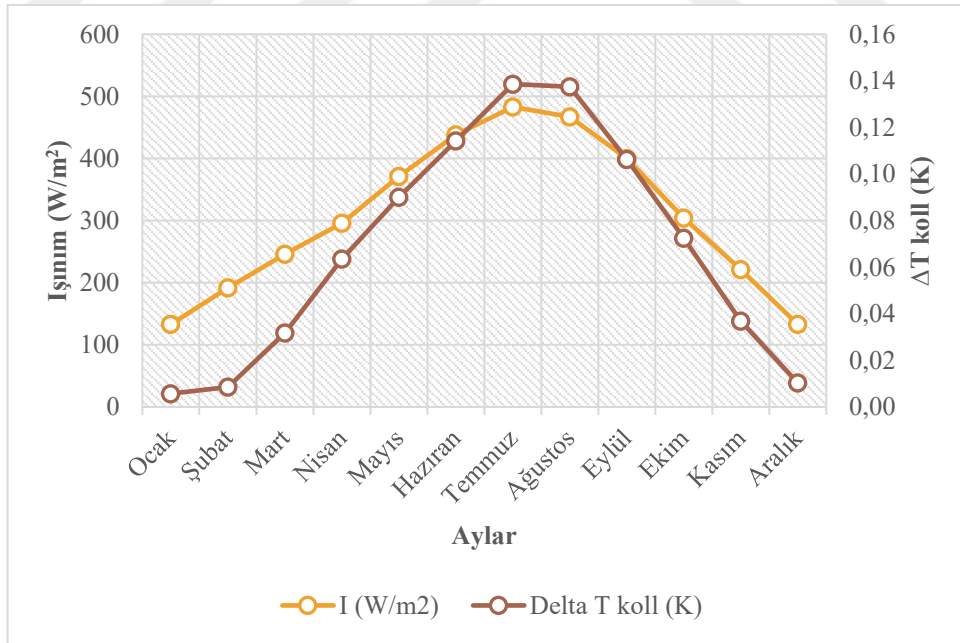
Şekil 4.25. Konya 2024 aylık güneş ışınım değerleri ile ANSYS fluent analizinde 0.11 m/s kolektöre giriş ortalaması hızının kolektör verim etkisi

Şekil 4.26'da ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre baca giriş hızı 0.11 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Konya 2024 aylık güneş ışınım değerleri ile ANSYS fluent analizinde 0.11 m/s kollektöre giriş ortalaması hızının kollektör ve sistem verimine etkisi

Şekil 4.27’te ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.11 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıdığında kollektör içinde sıcaklık farkı nasıl etkilendiği gösterilmiştir.

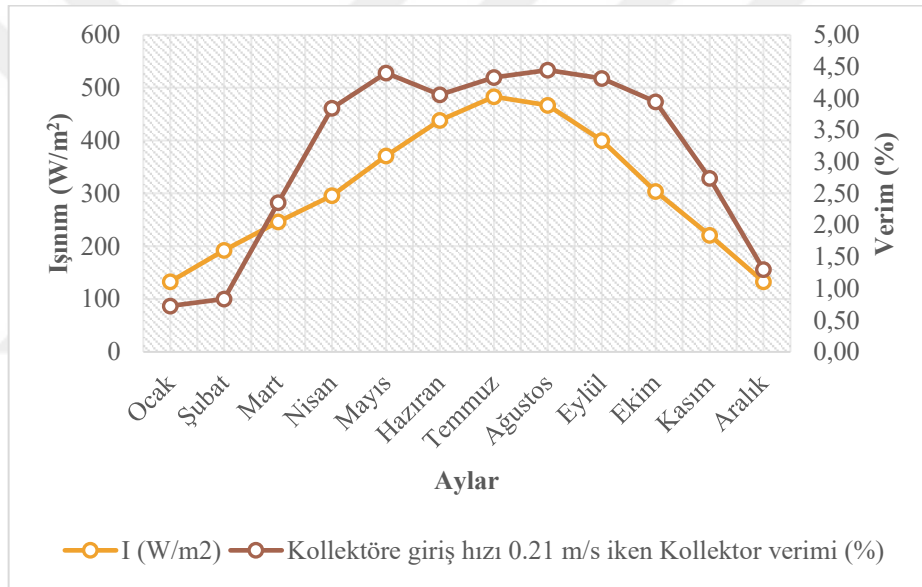


Şekil 4.27. Konya 2024 aylık güneş ışınım değerleri ile ANSYS fluent analizinde 0.11 m/s kollektöre giriş ortalaması hızının kollektör sıcaklık farkına etkisi

Çizelge 4.9. ve şekil 4.28’de güneş ışınımının vasıtasıyla kollektöre giriş hızı 0.21 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilendiği gösterilmiştir

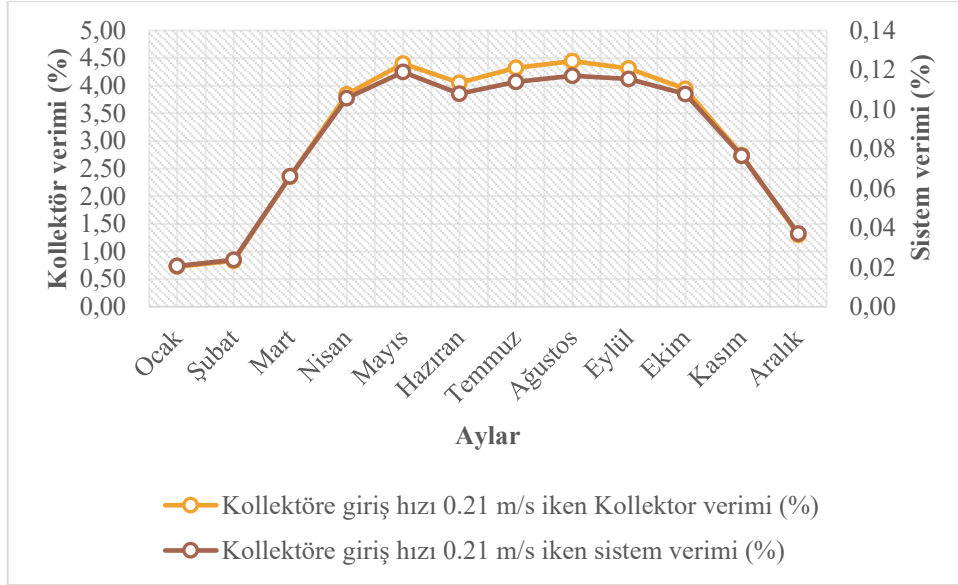
Çizelge 4.9. Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınlamı ile kolektöre giriş 0.21 m/s için Ansys Fluent analizinde bulunan ΔT_{koll} ile kolektör ve sistem verimleri

Aylar	I (W/m^2)	ΔT_{koll} (K)	kolektör verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.02	0.72	0.02
Şubat	192	0.03	0.82	0.02
Mart	246	0.13	2.39	0.07
Nisan	296	0.25	3.84	0.11
Mayıs	371	0.37	4.40	0.12
Haziran	438	0.46	4.05	0.11
Temmuz	483	0.54	4.33	0.11
Ağustos	467	0.54	4.44	0.12
Eylül	400	0.44	4.32	0.12
Ekim	304	0.30	3.94	0.11
Kasım	221	0.15	2.74	0.08
Aralık	133	0.04	1.30	0.04



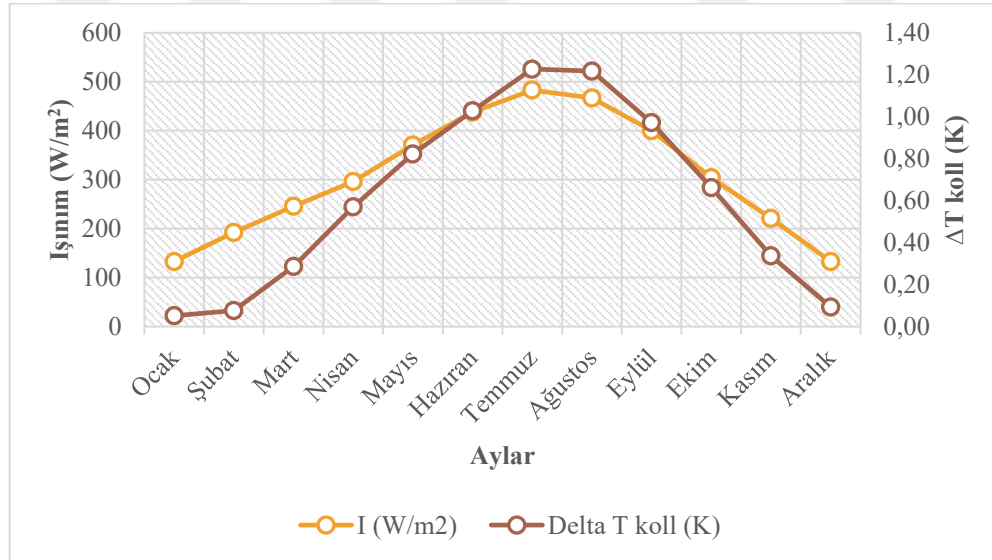
Şekil 4.28. ANSYS fluent 0.21 m/s kolektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık güneş ışınlamı ortalaması kolektör verim etkisi

Şekil 4.29'da ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.21 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.29. ANSYS fluent 0.21 m/s kollektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör verim ve sistem verimi

Şekil 4.30'da ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.21 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıdığında kollektör içinde sıcaklık farkı nasıl etkilediği gösterilmiştir.



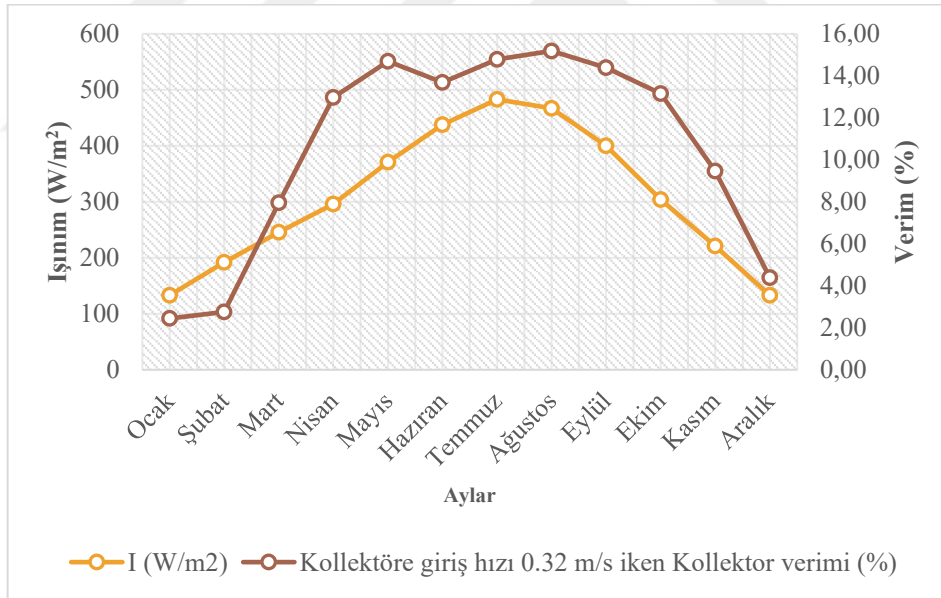
Şekil 4.30. ANSYS fluent 0.21 m/s kollektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı

Çizelge 4.10. ve Şekil 4.31'de güneş ışınımının vasıtasıyla kollektöre giriş hızı 0.32 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ile kolektöre giriş 0.32 m/s için Ansys Fluent analizinde bulunan ΔT_{koll} ile kolektör ve sistem verimleri

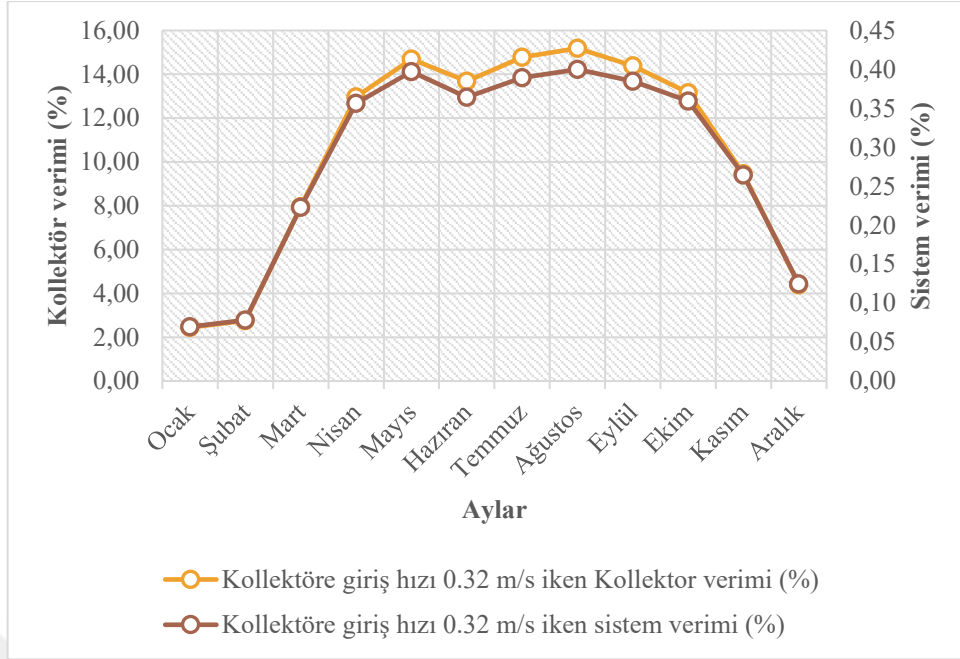
Aylar	I (W/m ²)	ΔT_{koll} (K)	Kolektör verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.05	2.39	0.07
Şubat	192	0.08	2.83	0.08
Mart	246	0.29	8.07	0.23
Nisan	296	0.57	12.97	0.36
Mayıs	371	0.82	14.69	0.40
Haziran	438	1.03	13.68	0.36
Temmuz	483	1.23	14.78	0.39
Ağustos	467	1.22	15.19	0.40
Eylül	400	0.97	14.39	0.39
Ekim	304	0.66	13.15	0.36
Kasım	221	0.34	9.47	0.26
Aralık	133	0.09	4.39	0.12

Şekil 4.31’de ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.32 m/s iken güneş ışınımı kolektöre yansıttığında kolektör verimi nasıl etkilediği gösterilmiştir.



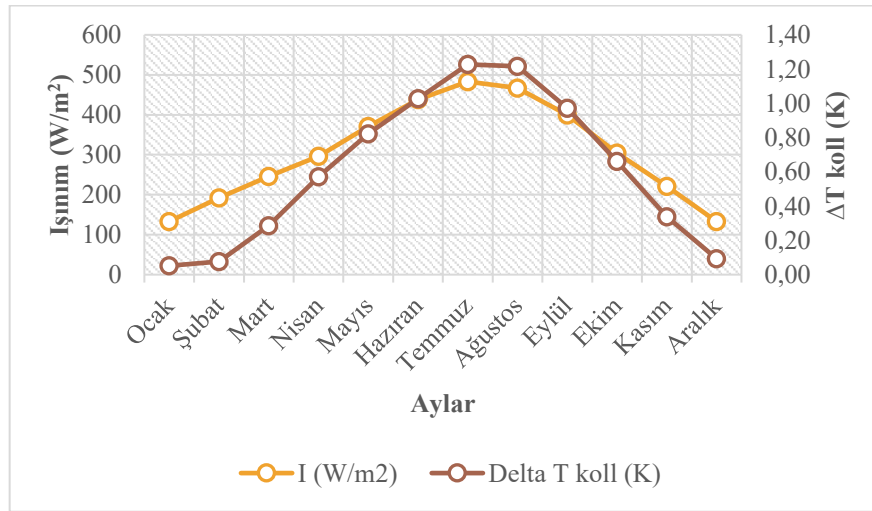
Şekil 4.31. ANSYS fluent 0.32 m/s kolektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık güneş ışınım ortalaması kolektör verim etkisi

Şekil 4.32’de ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.32 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.32. ANSYS fluent 0.32 m/s kollektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör verim ve sistem verimi

Şekil 4.33'te ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.32 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör içinde sıcaklık farkı nasıl etkilendiği gösterilmiştir.



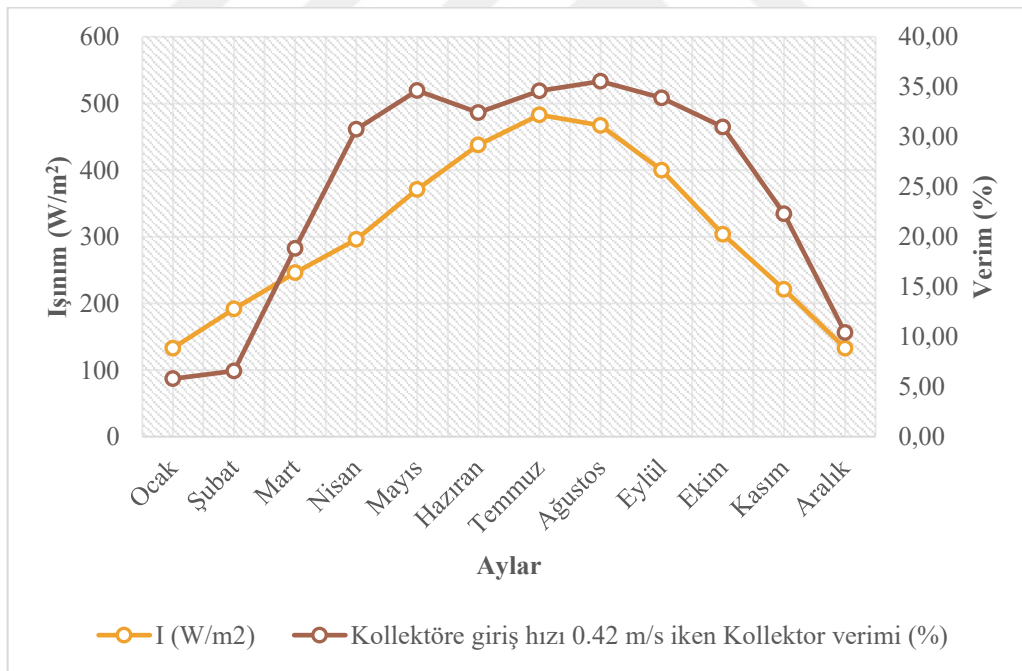
Şekil 4.33. ANSYS fluent 0.32 m/s kollektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı

Çizelge 4.11. ve şekil 4.34'te güneş ışınımının vasıtasıyla kollektöre giriş hızı 0.42 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilendiği gösterilmiştir

Çizelge 4.11. Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ile kolektöre giriş 0.42 m/s için Ansys Fluent analizinde bulunan ΔT_{koll} ile kolektör ve sistem verimleri

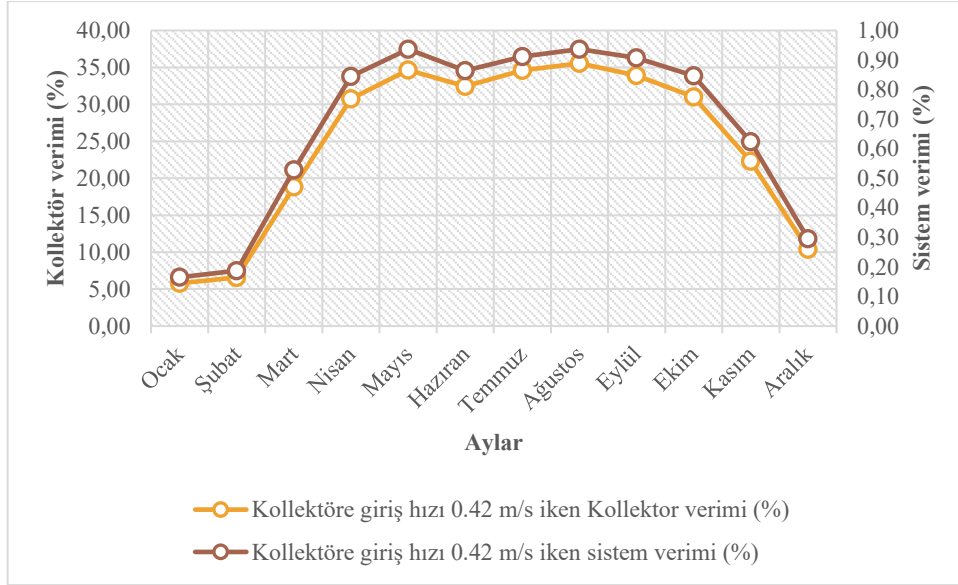
Aylar	I (W/m ²)	ΔT_{koll} (K)	Kolektör verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.09	5.70	0.16
Şubat	192	0.14	6.68	0.19
Mart	246	0.51	19.12	0.54
Nisan	296	1.02	30.75	0.85
Mayıs	371	1.46	34.64	0.94
Haziran	438	1.83	32.44	0.86
Temmuz	483	2.16	34.61	0.91
Ağustos	467	2.15	35.56	0.94
Eylül	400	1.72	33.90	0.91
Ekim	304	1.17	31.00	0.85
Kasım	221	0.60	22.31	0.62
Aralık	133	0.17	10.41	0.30

Şekil 4.34'te ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.42 m/s iken güneş ışınımı kolektöre yansıttığında kolektör verimi nasıl etkilendiği gösterilmiştir.



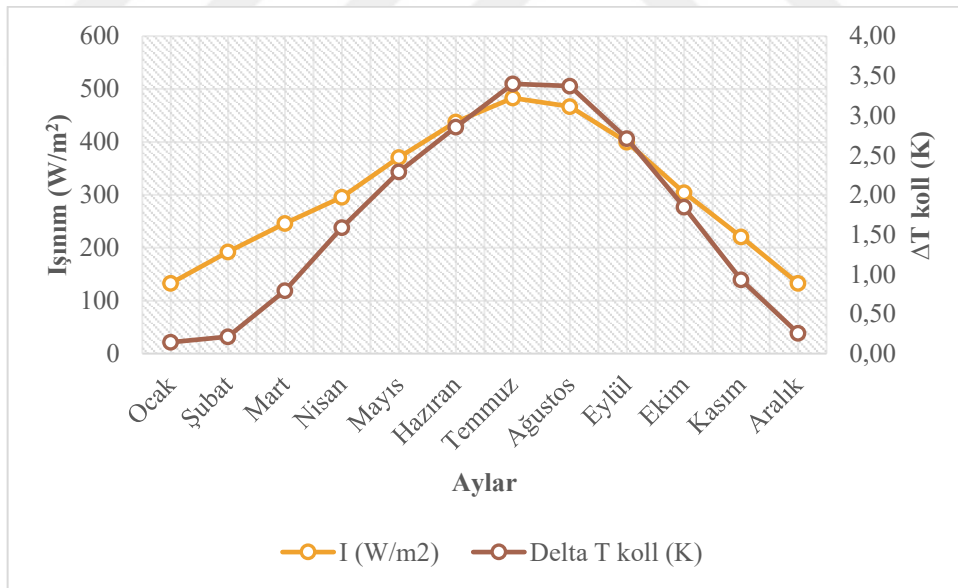
Şekil 4.34. ANSYS fluent 0.42 m/s kolektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık güneş ışınım ortalaması kolektör verim etkisi

Şekil 4.35'te ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.42 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.35. ANSYS fluent 0.42 m/s kollektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör verim ve sistem verimi eğrisi

Şekil 4.36'de ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.42 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör içinde sıcaklık farkı nasıl etkilendiği gösterilmiştir



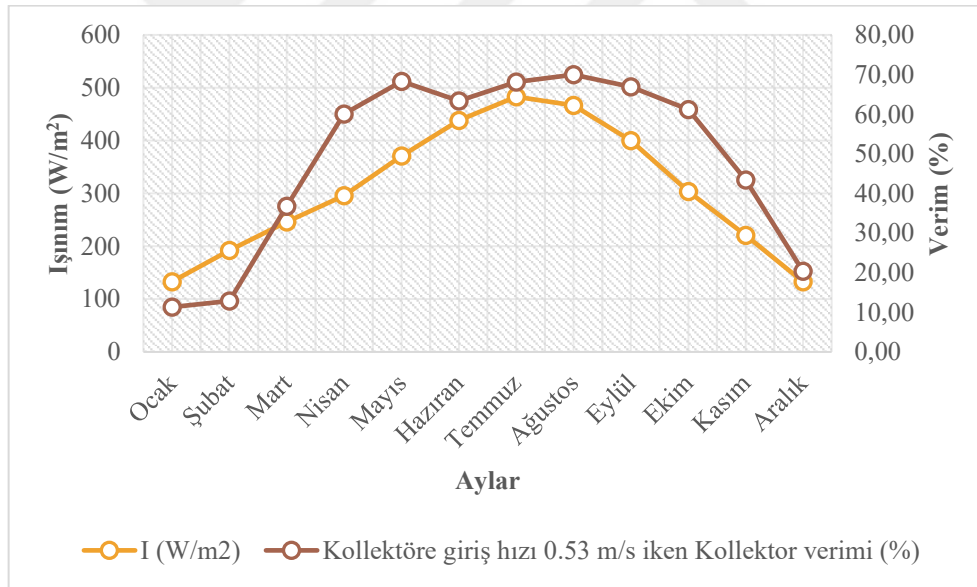
Şekil 4.36. ANSYS fluent 0.42 m/s kollektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı etkisi

Çizelge 4.12. ve şekil 4.37'de güneş ışınımının vasıtasıyla kollektöre giriş hızı 0.53 m/s iken kollektör içindeki sıcaklık farkı ve hava akış hızı karışımıyla güneş bacasının verimi nasıl etkilendiği gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması güneş ışınımı ile kolektöre giriş 0.53 m/s için Ansys Fluent analizinde bulunan ΔT_{koll} ile kolektör ve sistem verimleri

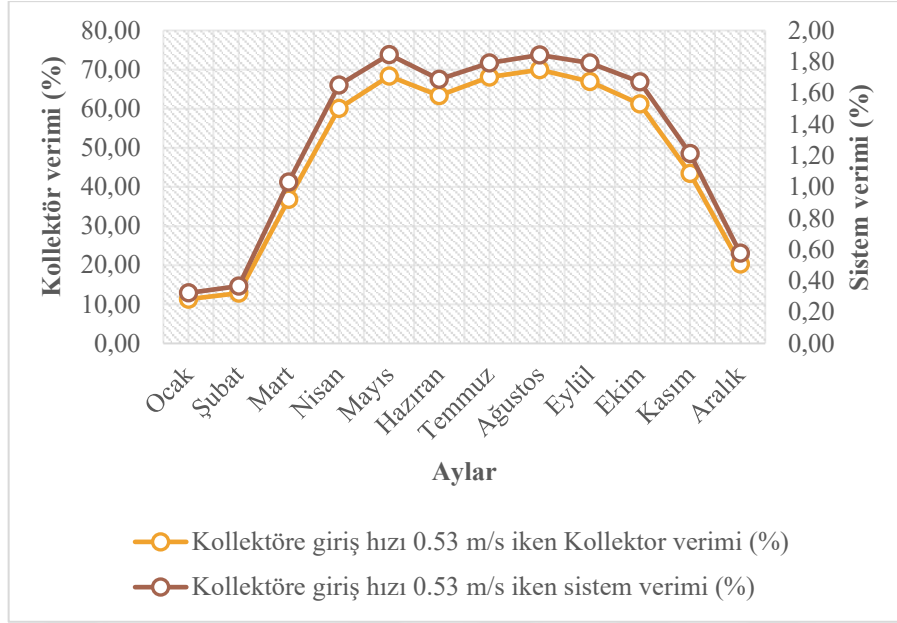
Aylar	I (W/m^2)	ΔT_{koll} (K)	Kolektör verimi (%)	Sistem verimi (%)
Ocak	133	0.14	11.17	0.32
Şubat	192	0.21	13.00	0.37
Mart	246	0.80	37.34	1.05
Nisan	296	1.59	60.05	1.65
Mayıs	371	2.29	68.31	1.85
Haziran	438	2.86	63.35	1.69
Temmuz	483	3.40	68.10	1.79
Ağustos	467	3.37	69.96	1.84
Eylül	400	2.71	66.94	1.79
Ekim	304	1.85	61.19	1.67
Kasım	221	0.93	43.42	1.21
Aralık	133	0.26	20.34	0.58

Şekil 4.37’de ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.53 m/s iken güneş ışınımı kolektöre yansıttığında kolektör verimi nasıl etkelediği gösterilmiştir.



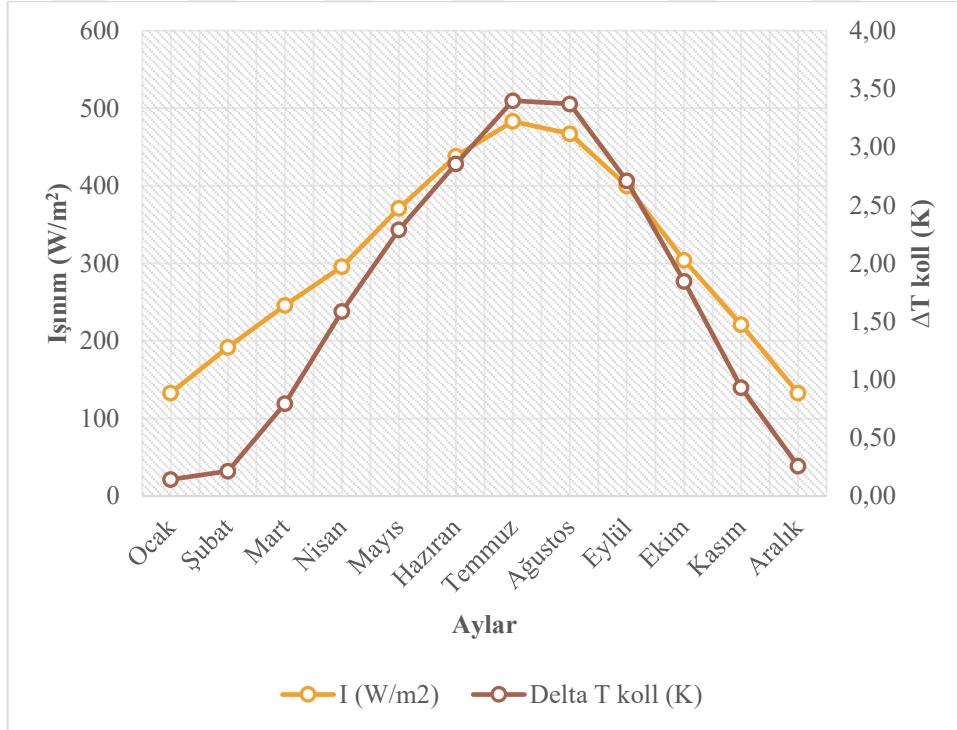
Şekil 4.37. ANSYS fluent 0.53 m/s kolektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık güneş ışınım ortalaması kolektör verim etkisi

Şekil 4.38’de ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kolektöre giriş hızı 0.53 m/s iken kolektör verimi ve sistem verimi ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Konya meteoroloji 2024 aylık ortalama değerleri ile ANSYS fluent analizi ile 0.53 m/s kollektöre hava giriş hızı için kollektör ve sistem verimi ilişkisi

Şekil 4.39'da ANSYS fluent analizinde aylık ortalama hava durumuna göre kollektöre giriş hızı 0.53 m/s iken güneş ışınımı kollektöre yansıttığında kollektör içinde sıcaklık farkı nasıl etkilendiği gösterilmiştir.



Şekil 4.39. ANSYS fluent 0.53 m/s kollektöre giriş Konya meteoroloji 2024 aylık ortalaması kollektör sıcaklık farkı etkisi

Bu çalışmada Konya iline ait 2024 yıl dönem aylık ortalama meteorolojik veriler kullanılarak güneş bacası teorik hesaplamalarda elde edilen kollektöre giriş hızları Ansys

fluent analizinde kullanarak aşağıdaki çizelge 4.13; çizelge 4.14; çizelge 4.15; çizelge 4.16; ve çizelge 4.17 'de bulunan veriler verilmiştir.

Çizelge 4.13 Kollektöre giriş hız 0.11 m/s iken hesaplanmış veri

Aylar	I (W/m ²)	$V_{baca,gir}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)
Ocak	133	0.95	0.42
Şubat	192	0.95	0.46
Mart	246	0.94	0.45
Nisan	296	0.95	0.45
Mayıs	371	0.94	0.44
Haziran	438	0.94	0.39
Temmuz	483	0.96	0.39
Ağustos	467	0.96	0.39
Eylül	400	0.94	0.39
Ekim	304	0.94	0.40
Kasım	221	0.94	0.41
Aralık	133	0.95	0.42

Çizelge 4.14 Kollektöre giriş hız 0.21 m/s iken hesaplanmış veriler

Aylar	I (W/m ²)	$V_{baca,gir}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)
Ocak	133	1.90	0.84
Şubat	192	1.90	0.93
Mart	246	1.89	0.91
Nisan	296	1.89	0.89
Mayıs	371	1.91	0.88
Haziran	438	1.88	0.77
Temmuz	483	1.90	0.77
Ağustos	467	1.90	0.77
Eylül	400	1.91	0.79
Ekim	304	1.90	0.80
Kasım	221	1.89	0.82
Aralık	133	1.90	0.83

Çizelge 4.15 Kollektöre giriş hız 0.32 m/s iken hesaplanmış veriler

Aylar	I (W/m ²)	$V_{baca,gir}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)
Ocak	133	2.85	1.25
Şubat	192	2.83	1.38
Mart	246	2.83	1.36
Nisan	296	2.84	1.34
Mayıs	371	2.85	1.32
Haziran	438	2.83	1.16
Temmuz	483	2.86	1.16
Ağustos	467	2.86	1.16
Eylül	400	2.85	1.18
Ekim	304	2.84	1.20
Kasım	221	2.85	1.23
Aralık	133	2.85	1.25

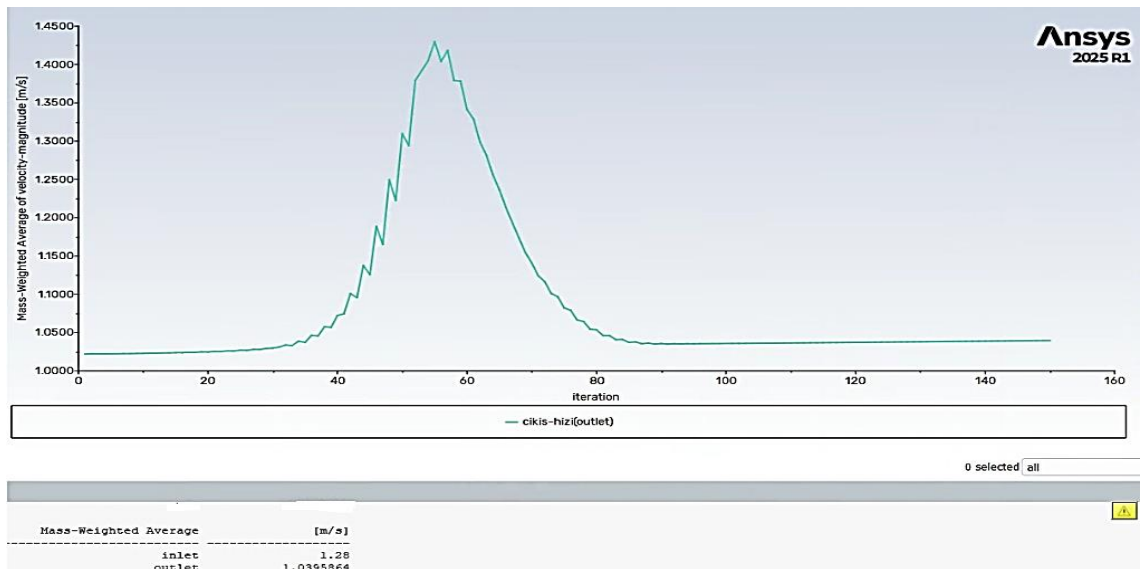
Çizelge 4.16 Kollektöre giriş hız 0.42 m/s iken hesaplanmış veriler

Aylar	I (W/m ²)	$V_{baca,gir}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)
Ocak	133	3.80	1.67
Şubat	192	3.78	1.84
Mart	246	3.78	1.81
Nisan	296	3.79	1.78
Mayıs	371	3.79	1.76
Haziran	438	3.77	1.55
Temmuz	483	3.79	1.54
Ağustos	467	3.79	1.54
Eylül	400	3.79	1.57
Ekim	304	3.78	1.60
Kasım	221	3.80	1.64
Aralık	133	3.80	1.67

Çizelge 4.17 Kollektöre giriş hız 0.53 m/s iken hesaplanmış veriler

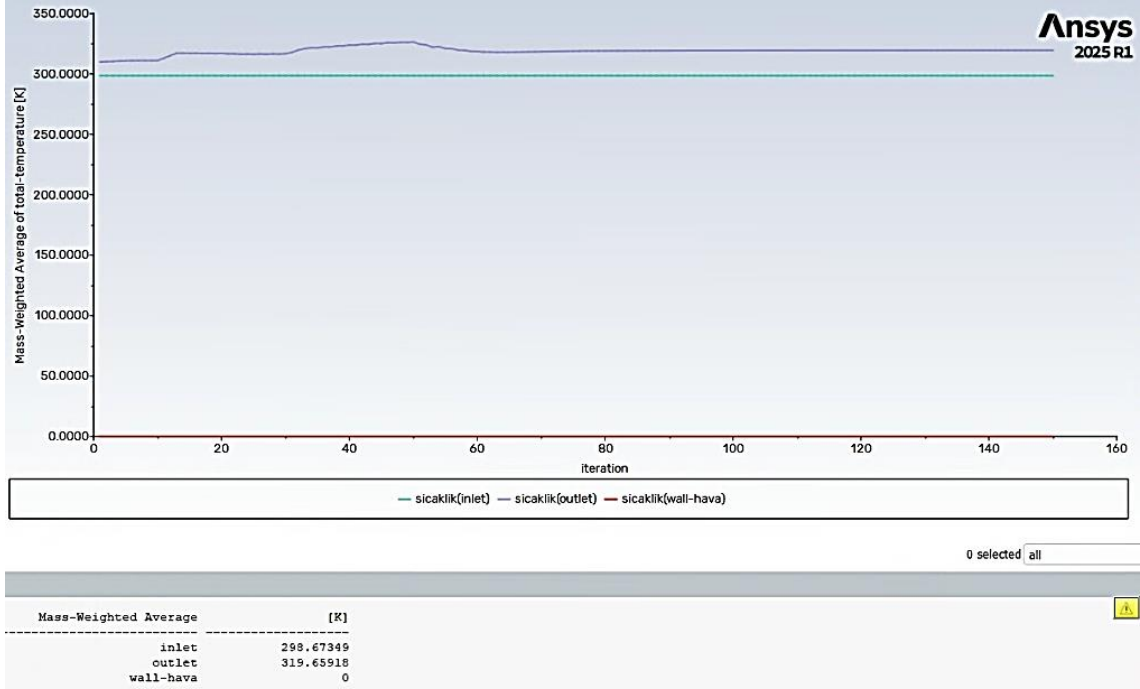
Aylar	I (W/m ²)	$V_{baca,gir}$ (m/s)	\dot{m} (kg/s)
Ocak	133	4.75	2.09
Şubat	192	4.72	2.30
Mart	246	4.72	2.27
Nisan	296	4.74	2.23
Mayıs	371	4.75	2.20
Haziran	438	4.71	1.93
Temmuz	483	4.75	1.93
Ağustos	467	4.75	1.93
Eylül	400	4.76	1.97
Ekim	304	4.74	2.01
Kasım	221	4.74	2.05
Aralık	133	4.75	2.08

Baca girişinde 1.28 m/s akış hızı girildiğinde baca içinde türbülans oluşturduğu gözlenmiş ve baca çıkışında akış hızı 1.04 m/s değerine kadar düşmüştür (Şekil 4.40).



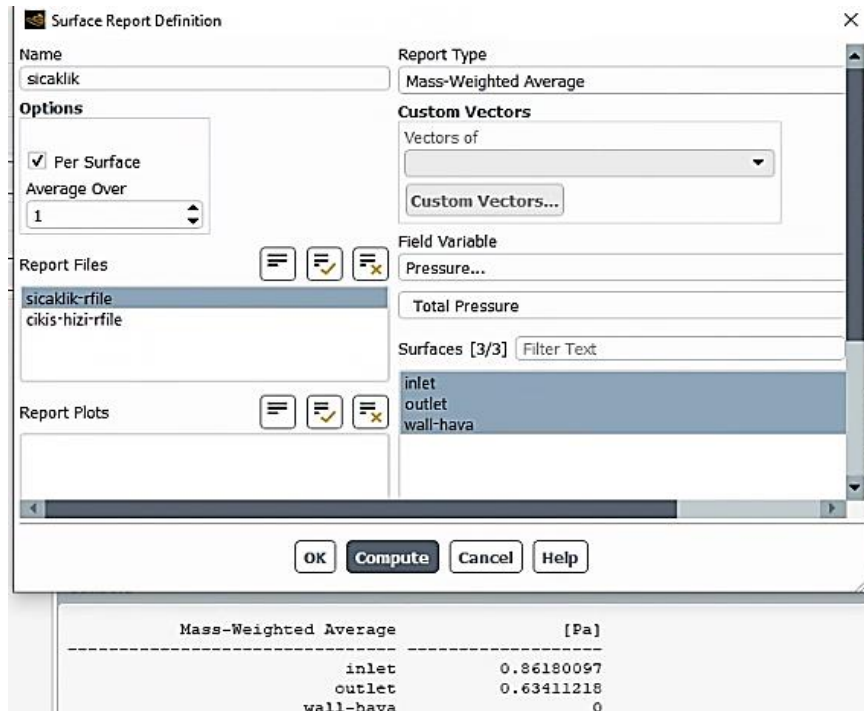
Şekil 4.40 Baca içinde akış hız analizi

Şekil 4.41’de baca girişi 298.63 K verildiğinde ANSYS fluent analizinden sonra baca giriş sıcaklığı 298.67 K görünürken baca maksimum çıkış sıcaklığı ise 319.66 K olarak görülmektedir.



Şekil 4.41. Baca giriş ve çıkış sıcaklığı grafiği

Şekil 4.42’de Türbülans’tan dolayı baca içinde oluşan toplam basınç farkı 0.23 Pa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.42. Baca içinde oluşan basınç farkı hesabı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Güneş bacaları hakkında henüz dünyada teorik analiz ve HAD simülasyonu ile ilgili çok sayıda çalışmalar olmamıştır. Bu çalışmada, Konya Teknik Üniversitesi'nde kurulu bulunan eğimli bir güneş bacası üzerinde teorik hesaplamalar ve HAD Fluent programı ile araştırma çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmada, Konya'nın 2024 yılı aylık ortalama meteorolojik verileri kullanarak güneş bacası sisteminin teorik ve sayısal olarak (HAD-Fluent) analizi yapılmıştır.

- HAD simülasyonları ve teorik analizler genellikle birbirleriyle uyum gösterilmiştir.
- Hava akış hızı (1–5 m/s) baca girişinde kütleli debiyi ve enerji dönüşüm verimini artırmıştır. Ancak hız arttıkça artış oranı azalmıştır.
- HAD simülasyonları, bacadaki sıcaklık ve hız dağılımlarını ayrıntılı olarak gösterirken, bu analizlerde teorik hesaplamalara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Tez çalışmasının genel sonucu olarak, güneş bacası ile elektrik üretim sistemlerinin Konya meteorolojik değerleri ve iklimi için uygun olduğunu kanaatine varılmış olup, elde edilen sonuçlar da literatürdeki diğer benzer araştırmalarla uyumludur.

Bu tez çalışmasında, Mayıs ayı 2024 meteoroloji aylık ortalama verileri ile kollektör giriş hızı 0,53 m/s iken kollektör verimi %68,3 ve sistem verimi de %1,85 olarak en yüksek değerler olarak elde edilmiştir. Tez çalışmasında literatüre uyumlu sonuçlar elde etmiştir. Sonuç olarak, bu tez çalışmasında elde edilen bulgular, literatürdeki çalışmalarla uyumludur.

5.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda, mikro güneş bacası sistemlerinin performansının artırılmasına yönelik olarak aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Daha büyük baca boyutları ve daha geniş kolektör alanı kullanılarak sistemin türbin gücü artırılarak, elde edilen veriler daha ölçülebilir hale getirilebilir ve sistemin verimi (performansı) artırılabilir.
- HAD analizlerinde, türbülans modelleri ve çeşitli sınır şartları kullanılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir.
- Gelecek araştırmalarda, sistemin enerji üretme potansiyeline ilişkin maliyet-fayda değerlendirmeleri ve ekonomik analizler yapılması yararlı olacaktır.
- Fotovoltaik sistemler gibi güneş bacasında ısıya dönüşmeyen ve yansıyan ışınımından elektrik enerjisi üretimi hibrit olarak güneş bacası sistemlerine dahil edilmesinin denenmesi tavsiye edilir.
- Hesaplamalar ve HAD analizinin aylık ortalamalar yerine en az bir yıllık bütün günlerin saatlik ortalama değerleri ile yapılması veya 10-50 yıl gibi uzun dönem ortalama verileri ile yapılması daha güvenilir sonuçlar verecektir.
- Malzeme Seçiminin İncelenmesi:

Toplayıcı ve baca yüzeylerinde kullanılan malzemelerin ısı iletkenliği, renk, absorptivite ve emissivite gibi özellikleri değiştirerek sistemin termal verimi artırılabilir.

- Farklı İklim Şartlarının Simülasyonu:

Sistemin farklı coğrafi bölgelerde ve mevsimsel şartlarda performansını değerlendirmek için iklimsel veriler kullanılarak HAD simülasyonları genişletilebilir.

- HAD Modelinin Geliştirilmesi:

Gelecekteki çalışmalarda, türbin kanatları da üç boyutlu olarak HAD modeline entegre edilerek akış-kanat etkileşimi detaylı şekilde analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2025b, <http://airfoiltools.com/airfoil/naca4digit?MNaca4DigitForm%5Bcamber%5D=0&MNaca4DigitForm%5Bposition%5D=33&MNaca4DigitForm%5Bthick%5D=15&MNaca4DigitForm%5BnumPoints%5D=100&MNaca4DigitForm%5BcosSpace%5D=0&MNaca4DigitForm%5BcosSpace%5D=1&MNaca4DigitForm%5BcloseTe%5D=0&MNaca4DigitForm%5BcloseTe%5D=1&yt0=Plot>.
- Anonim, 2025e, <https://en.tutiempo.net/ultraviolet-index/selcuklu.html>.
- Anonim, 2025f, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KONYA>.
- Arslan, T., 2011, Güneş bacası yardımıyla laboratuvar şartlarında elektrik üretimi: Model çalışma, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Atit, K., 2009, Analysis of flow in solar chimney for an optimal design purpose.
- Ayadi, A., Driss, Z., Bouabidi, A. ve Abid, M. S., 2018, Effect of the turbine diameter on the generated power of a solar chimney power plant, *Energy & Environment*, 29 (5), 822-836.
- Balijepalli, R., Chandramohan, V. ve Kirankumar, K., 2017, Performance parameter evaluation, materials selection, solar radiation with energy losses, energy storage and turbine design procedure for a pilot scale solar updraft tower, *Energy Conversion and Management*, 150, 451-462.
- Buyukluoğlu, Ö. F., 2014, Investigation of optimum turbine blade profile by using CFD method to increase the efficiency of a solar chimney prototype.
- Çalışkan, M., 2014, Eksenel akışlı fan tasarımı, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Cao, F., Li, H., Zhao, L., Bao, T. ve Guo, L., 2013, Design and simulation of the solar chimney power plants with TRNSYS, *Solar Energy*, 98, 23-33.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M. ve Engin, T., 2008, Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları, Güven Kitabevi, p.
- Cuce, E., Cuce, P. M., Carlucci, S., Sen, H., Sudhakar, K., Hasanuzzaman, M. ve Daneshzarian, R., 2022, Solar chimney power plants: a review of the concepts, designs and performances, *Sustainability*, 14 (3), 1450.
- Fadaei, N., Kasaeian, A., Akbarzadeh, A. ve Hashemabadi, S. H., 2018, Experimental investigation of solar chimney with phase change material (PCM), *Renewable energy*, 123, 26-35.
- Fluent, 2003, FLUENT 6.1 User's Guide, Vol. 1-2-3. .
- Fluri, T. P. ve von Backström, T. W., 2008, Comparison of modelling approaches and layouts for solar chimney turbines, *Solar Energy*, 82 (3), 239-246.
- Gannon, A. J. ve von Backström, T. W., 2003, Solar chimney turbine performance, *J. Sol. Energy Eng.*, 125 (1), 101-106.
- Gün, A. R., 2013, Yatay güneş bacası sistemlerinin analizi ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Güzel, M. H., 2019, Eğimli kollektörlü bir mikro güneş bacası güç sisteminin tasarımı, kurulumu ve deneylerinin yapılması, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya*.
- Haaf, W., Friedrich, K., Mayr, G. ve Schlaich, J., 1983, Solar chimneys part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares, *International Journal of solar energy*, 2 (1), 3-20.
- İçel, Y., 2012, Farklı çaplarda kanat modelleri ile güneş bacası enerji sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Janicka, J., 2004, Ein Program zur Beschreibung technischer und reaktiver Strömungen, Technische Universität Darmstadt, 25 s.
- Kalash, S., Naimeh, W. ve Ajib, S., 2013, Experimental investigation of the solar collector temperature field of a sloped solar updraft power plant prototype, *Solar Energy*, 98, 70-77.
- Kasaeian, A., Mahmoudi, A. R., Astaraei, F. R. ve Hejab, A., 2017, 3D simulation of solar chimney power plant considering turbine blades, *Energy Conversion and Management*, 147, 55-65.
- Köse, F., 2018, Güneş Bacası Güç Sistemlerinin PV ve Rüzgar Güç Sistemleri ile Karşılaştırılması, *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 6 (3), 121-129.
- Koyun, A., 2006, Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi. SDÜ, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 142s, Isparta*.
- Maia, C. B., Silva, F. V., Oliveira, V. L. ve Kazmerski, L. L., 2019, An overview of the use of solar chimneys for desalination, *Solar Energy*, 183, 83-95.
- Mokrani, O. B. E. K., Ouahrani, M. R., Sellami, M. H. ve Segni, L., 2024, Experimental investigations of hybrid: geothermal water/solar chimney power plant, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46 (1), 15474-15491.
- Padki, M. ve Sherif, S., 1999, On a simple analytical model for solar chimneys, *International journal of energy research*, 23 (4), 345-349.
- Pastohr, H., 2004, Thermodynamische Modellierung eines Aufwindkraftwerkes, *Dissertation, Weimar, Bauhaus-Universität Weimar, 2004*.
- Rangel, L. P., Contessi, B. A., Copes, T. A., Alberto, P. ve Ropelato, K., 2016, Advances in solar chimney turbine modelling, *Mecánica Computacional*, 34 (14), 897-915.
- Santos Bernardes, M. A. d., 2004, Technische, ökonomische und ökologische Analyse von Aufwindkraftwerken, *Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2004*.
- Schlaich, J. r., Bergermann, R., Schiel, W. ve Weinrebe, G., 2005, Design of commercial solar updraft tower systems—utilization of solar induced convective flows for power generation, *J. Sol. Energy Eng.*, 127 (1), 117-124.
- Tan, F. ve Dede, A. E., 2024, The impact of turbulence models and design parameters on solar chimney power plant efficiency: A CFD study, *International Journal of Energy Studies*, 9 (3), 399-422.
- Üçgül, İ. ve Koyun, A., 2010, Güneş bacası tasarım parametreleri ve performansının deneysel olarak incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (3), 255-264.
- Ünal, R. E., 2019, Bir mikro güneş bacası için türbin tasarımı, imalatı ve deneylerinin yapılması, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya*.
- Zhou, X., Yang, J., Xiao, B. ve Hou, G., 2007, Experimental study of temperature field in a solar chimney power setup, *Applied Thermal Engineering*, 27 (11-12), 2044-2050.

