

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LİBYA'DA HİBRİT GÜNEŞ VE RÜZGAR BACASI GÜÇ SİSTEMİNİN
TASARIMI VE ELEKTRİK ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Abrayik Abdulslam Abrayik ALFAKHAKHIRI

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANKIRI
2025**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Abrayik Abdulslam Abrayik ALFAKHAKHIRI tarafından hazırlanan “**Libya’da Hibrit Güneş ve Rüzgar Bacası Güç Sisteminin Tasarımı ve Elektrik Üretim Verimliliğinin İncelenmesi**” adlı tez çalışması 10/02/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Abdullah AKBULUT

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Abdullah AKBULUT
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali BİBERCİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ersoy YILMAZ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Libya’da Hibrit Güneş ve Rüzgar Bacası Güç Sisteminin Tasarımı ve Elektrik Üretim Verimliliğinin İncelenmesi**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (10/02/2025).

Abrayik Abdulslam Abrayik ALFAKHAKHIRI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİBYA'DA HİBRİT GÜNEŞ VE RÜZGAR BACASI GÜÇ SİSTEMİNİN TASARIMI VE ELEKTRİK ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Abrayik Abdulslam Abrayik ALFAKHAKHIRI

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdullah AKBULUT

Yenilenebilir enerjiye geçişin çevresel sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği açısından hayati önem taşıdığı bir dönemde, doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanabilen gelişmiş teknolojilerin geliştirilmesi gereklidir. Güneş enerjisini elektrik üretimi ve doğal havalandırma için kullanan güneş bacası sistemleri, özellikle güneş ışığı bol olan bölgelerde umut verici bir çözüm sunmaktadır. Bu tez, Libya'da güneş bacası teknolojisinin uygulanmasını ve hibrit güneş-rüzgar bacası enerji sisteminin elektrik üretim verimliliğini artırmaya yönelik çalışmaları ele almaktadır. Çalışma, baca sisteminin tasarım ve analizini içermekte olup, hava akış hızını maksimize etmeyi hedeflemektedir. Matematiksel modelleme, baca yüksekliği ve çapı gibi faktörleri inceleyerek dirençleri minimize etmeyi ve sistemin performansını artırmayı amaçlamaktadır. Baca içine veya güneş kollektörü etrafına rüzgar türbinleri yerleştirilerek, sistemin hem rüzgar hem de güneş enerjisinden faydalanması sağlanmakta, bu da genel kapasite faktörünün artmasına ve elektrik üretiminin yükselmesine yol açmaktadır. Ayrıca, güneş kollektörünün tasarımı, güneş ısısını daha iyi yakalayacak şekilde analiz edilmiştir. Bu, kollektör ile baca arasındaki sıcaklık farkını artırarak, daha güçlü hava hareketleri oluşmasına ve elektrik üretiminin artmasına olanak sağlar. Ekonomik analiz, yıllık 4.835,64 MWh enerji üretimi öngörerek, yıllık 290.138 \$ gelir elde edilmesini göstermektedir. Başlangıç yatırımının 1.500.000 \$ olması durumunda, sistem yıllık 240.138 \$ net kar elde etmekte, bu da 6,25 yıl geri ödeme süresi ve %16,01 ROI (Yatırım Getirisi) sağlamaktadır. Bu ekonomik metrikler, güneş bacası sistemlerinin Libya'daki finansal uygulanabilirliğini vurgulamaktadır. Bu çalışma, Libya'daki güneş bacası sistemlerinin verimliliği ve uygulanabilirliği konusunda bilgi boşluğunu gidermeyi hedeflemekte ve ülkenin enerji çeşitlendirme ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır. Matematiksel tasarım ilkelerini kullanarak yapılan bu çalışma, güneş ışığının bol olduğu bölgelerde güneş bacası sistemlerinin potansiyeli hakkında değerli bilgiler sunmaktadır.

2025, 74 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Yenilenebilir enerji teknolojileri, Güneş bacası, Sürdürülebilir kalkınma, Güneş potansiyeli, Enerji politikası

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DESIGN AND INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL GENERATION EFFICIENCY OF A HYBRID SOLAR AND WIND CHIMNEY POWER SYSTEM IN LIBYA

Abrayik Abdulslam Abrayik ALFAKHAKHIRI

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Advisor: Prof. Dr. Abdullah AKBULUT

In an era where transitioning to renewable energy is crucial for environmental sustainability and energy security, the development of advanced technologies capable of efficiently harnessing natural resources is essential. Solar chimney systems, which utilize solar energy for power generation and natural ventilation, present a promising solution, particularly in regions rich in sunlight. This thesis explores the application of solar chimney technology in Libya, focusing on enhancing the electrical generation efficiency of a hybrid solar-wind chimney power system. The study involves the design and analysis of the chimney system with the goal of maximizing airflow velocity. The mathematical modeling examines factors such as chimney height and diameter to minimize resistance and improve the system's performance. By incorporating wind turbines inside the chimney or around the solar collector, the system is able to harness both wind and solar energy, leading to an increased overall capacity factor and electrical output. Additionally, the design of the solar collector analyzed to improve solar heat capture. This enhances the temperature differential between the collector and the chimney, promoting stronger air movement and increasing electricity generation. The economic analysis reveals a projected annual energy production of 4,835.64 MWh, yielding an annual revenue of \$290,138. With an initial investment of \$1,500,000, the system generates a net profit of \$240,138 annually, resulting in a payback period of 6.25 years and an ROI of 16.01%. These economic metrics highlight the financial viability of solar chimney systems in Libya. This study addresses the knowledge gap in the efficiency and practicality of solar chimney systems in Libya, contributing to the country's energy diversification and sustainability goals. By employing mathematical design principles, the study provides valuable insights into the potential of solar chimney systems in sun-rich regions.

2025, 74 pages

Keywords: Renewable energy technologies, Solar chimney, Sustainable development, Solar potential, Energy policy

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Prof. Dr. Abdullah AKBULUT'e sabrı, rehberliği ve anlayışı için içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca, bu süreçte bana destek olan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım; onların sürekli teşvikleri ve rehberlikleri, akademik başarıma önemli katkılar sağlamıştır. Özellikle, bu yolculuk boyunca büyük desteğini esirgemeyen Sayın Mühendis Ethar Sulaiman Yaseen YASEEN'e özel teşekkürlerimi iletmek isterim.

Abrayik Abdulslam Abrayik ALFAKHAKHIRI

Çankırı, Şubat 2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tez Amacı.....	4
1.2 Amaçlar ve Kapsamlar	4
1.3 Çalışmanın Katkısı	5
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
3. GENEL BİLGİLER	13
3.1 Güneş Bacası Şeması	13
3.1.1 Kolektör alanı	13
3.1.2 Baca yapısı.....	15
3.1.3 Yalıtım	17
3.2 Güneş Kolektörü Verimliliği	19
3.2.1 Malzeme.....	19
3.2.2 Kolektör yüzeyi.....	19
3.2.3 Kolektör tasarımı.....	20
3.3 Isı Depolama Sistemi	20
3.3.1 Su tankları.....	20
3.3.2 Faz değişim malzemeleri (PCM'ler)	21
4. MATERYAL VE YÖNTEM	23
4.1 Güneş Bacası Tasarımı ve Parametreleri.....	24
4.2 Türbülans Modeli	27
4.2.1 K-ε standart türbülans modeli	28
4.3.3 Yatırım getirisi.....	32

5. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
5.1 Güneş Işınımı Toplama	35
5.2 Hava Parametreleri	39
5.3 Günlük Ortam Sıcaklığı ve Güneş Radyasyonu Değişimi Analizi.....	46
5.4 Önerilen Tasarım.....	51
5.5 Ekonomik Analiz	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



SİMGELER DİZİNİ

g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
ρ_{chi}	Baca içindeki hava yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_{out}	Baca dışındaki hava yoğunluğu (kg/m^3)
$V_{chi\ out}$	Bacanın çıkışındaki hava hızı (m/s)
D	Baca çapı (m)
H	Baca yüksekliği (m)
ϵ_{in}	Girişteki basınç kaybı katsayısı (boyutsuz)
A_{chi}	Bacanın kesit alanı (m^2)
ϵ	Türbülans kinetik enerjisinin (k) dağılma oranı (m^2/s^3)
η_{tg}	Türbin verimi (boyutsuz veya yüzde olarak)
Δp_{in}	Giriş kaybı (Pa)
ϵ_{out}	Çıkış basınç kaybı katsayısı (boyutsuz)
f	Sürtünme faktörü (boyutsuz)
$V_{chi,max}$	Bacanın içindeki maksimum hız (m/s)
ν_t	Kinematik türbülans viskozitesi (m^2/s)
γ	Hava sıcaklığının azalım oranı (K/m)
ℓ	Uzunluk ölçeği (m)
\dot{m}	Baca içindeki sıcak havanın kütleli akış hızı (kg/s)
R_{coll}	Toplayıcının yarıçapı (m)
G	Toplayıcıya gelen güneş ışınımı (W/m^2)
C_p	Havanın özgül ısı kapasitesi ($J/kg \cdot K$)
ΔT	Toplayıcıdaki sıcak hava ile çevredeki ortam havası arasındaki sıcaklık farkı (K veya $^{\circ}C$)
$V_{turbine}$	Türbin girişindeki hız (m/s)
v	Hız ölçeği (m/s)
H_{total}	Toplam hesaplanan güneş ışınımı (MJ/m^2)
H_0	Dünya dışı günlük güneş ışınımı (MJ/m^2)
H/H_0	Toplam ölçülen güneş ışınımının dünya dışı günlük güneş ışınımına oranı
T_{avg}	Gün boyunca ortalama sıcaklık ($^{\circ}C$)

KISALTMALAR DİZİNİ

PV _{OUT} Specific	Belirli fotovoltaik güç çıkışı (Specific photovoltaic power output)
DNI	Doğrudan normal ışınım (Direct normal irradiation)
EGI	Enerji üretim yoğunluğu (Energy generation intensity)
PCMs	Faz değişim malzemeleri (Phase change materials)
PV	Fotovoltaik (Photovoltaic)
OPTA	Fotovoltaik modüllerin maksimum eğimi (Maximum slope of photovoltaic modules)
SUTPP	Güneş yükseltme kulesi güç santrali (Solar updraft tower power ower modules)
CFD	Hesaplama akışkanlar dinamiği (Computational fluid dynamics)
GHI	Küresel yatay ışınım (Global horizontal irradiation)
GTI Opta	Optimum açıda eğimli küresel ışınım (Spherical radiation inclined at optimum angle)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Güneş bacası örneği (Saleh <i>et al.</i> 2023).....	1
Şekil 3.1 Güneş bacası şeması (Sharon 2023)	13
Şekil 3.2 Baca yapısının farklı yüksekliği (Von Backström <i>et al.</i> 2008).....	15
Şekil 3.3 Poliizosiyanürat (PIR) köpük panelleri.....	17
Şekil 4.1 Libya – Al-Fataih şehrinin konumu.....	23
Şekil 5.1 Bu çalışmaya önerilen konum (Libya - El-Fetaih bölgesi).....	35
Şekil 5.2 Yükseklik [°] ve azimut [°] güneş diyagramı	36
Şekil 5.3 Aylık ortalama direkt normal ışınım.....	37
Şekil 5.4 12 Ay için direkt normal ışınım (Wh/m ²)	37
Şekil 5.5 Saatlik ortalama profil	38
Şekil 5.6 Ocak ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı.....	47
Şekil 5.7 Şubat ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı	48
Şekil 5.8 Mart ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı	49
Şekil 5.9 Nisan ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı.....	49
Şekil 5.10 Mayıs ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı	50
Şekil 5.11 Haziran ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı	51
Şekil 5.12 LCOE ve enerji üretimi arasındaki ilişki	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 İlgili çalışmaların özeti	11
Çizelge 1.2 Çeşitli ülkelerde güneş bacası güç sistemleri üzerine deneysel çalışmalar .	12
Çizelge 3.1 Termal kütle malzemeleri (Baggs ve Mortensen 2006).....	21
Çizelge 5.1 Önerilen çalışma alanı için yıllık harita verileri – Libya, Derne El-Fetaih (Atlas 2024)	39
Çizelge 5.2 Ocak 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınlımı, sıcaklık ve rüzgar hızı	40
Çizelge 5.3 Şubat 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınlımı, sıcaklık ve rüzgar hızı	41
Çizelge 5.4 Mart 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınlımı, sıcaklık ve rüzgar hızı	42
Çizelge 5.5 Nisan 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınlımı, sıcaklık ve rüzgar hızı	43
Çizelge 5.6 Mayıs 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınlımı, sıcaklık ve rüzgar hızı	44
Çizelge 5.7 Haziran 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınlımı, sıcaklık ve rüzgar hızı	46
Çizelge 5.8 Güneş toplayıcı önerilen parametreleri.....	52
Çizelge 5.9 Baca tasarım parametreleri	54
Çizelge 5.10 Türbin parametreleri	55
Çizelge 5.11 60\$/MWh elektrik fiyatı için ekonomik analiz.....	56
Çizelge 5.12 LCOE'nin duyarlılık analizi	57

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji çözümleri arayışında, güneş bacası sistemleri, enerji üretimi ve havalandırma amacıyla güneş enerjisini kullanma potansiyeline sahip umut verici bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (Mandal *et al.* 2024). Özellikle Libya gibi bol güneş ışığı alan bölgelerde, bu sistemlerin tasarımı, teknik detayları ve ekonomik uygulanabilirliği kapsamlı bir analiz gerektirmektedir. Bu tez, Libya bağlamında güneş bacası teknolojisini incelemeyi, bu teknolojinin potansiyelini, zorluklarını ve ekonomik fizibilitesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Libya'nın geniş güneş enerjisi kaynaklarını kullanarak, bu çalışma ülkenin enerji çeşitliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmayı hedeflemekte ve güneş bacası sistemlerinin uygulanmasında hayati önem taşıyan teknik detaylar ve ekonomik hususlara odaklanmaktadır. Güneş bacası teknolojisi, diğer adıyla güneş çekiş bacası, güneş enerjisi toplama ve aerodinamik havalandırma prensiplerini birleştirerek enerji üretimi ve pasif soğutma sağlamaktadır. Güneş bacasının temel yapısı üç ana bileşenden oluşmaktadır: bir güneş kolektör alanı (sera), merkezi bir çekiş bacası ve bacanın tabanında yer alan bir dizi türbin. Güneş, bacanın tabanını çevreleyen geniş bir seranın altındaki havayı ısıtarak bu sıcak havanın baca boyunca yükselmesine neden olur. Bu yukarı yönlü hava akışı türbinleri döndürerek elektrik üretir (Abdulkerim *et al.* 2023). Bu tasarımın sadeliği ve zarafeti, barındırdığı mimari, termodinamik ve malzeme bilimi ilkelerinin karmaşık etkileşimini gizlemektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Güneş bacası örneği (Saleh *et al.* 2023)

Libya, geniş çölleri ve yüksek güneş ışınımıyla güneş bacası teknolojisinin uygulanması için ideal bir konum sunmaktadır. Ülkenin enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı, bu kaynakların sınırlı olması ve dalgalanan fiyatları nedeniyle çevresel bozulmaya ve ekonomik kırılganlığa yol açmıştır (Makken *et al.* 2022). Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, Libya'nın enerji güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliği açısından sadece faydalı değil, aynı zamanda kritik bir öneme sahiptir (Moria and Elmnifi 2020).

Libya'daki güneş bacası sistemleri için potansiyel oldukça geniştir. Bu teknoloji, elektrik üretimi ve pasif havalandırma sağlama gibi iki önemli avantaj sunmaktadır; özellikle sıcak Libyan ikliminde bu özellik oldukça cazip hale gelmektedir. Ancak, bu potansiyelin hayata geçirilmesi bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Güneş bacalarının tasarımı ve inşasıyla ilgili teknik detaylar, örneğin maksimum verimlilik için baca yüksekliğinin ve kolektör alanının çapının, önemli mühendislik zorlukları teşkil etmektedir. Ayrıca, bu sistemlerin ekonomik uygulanabilirliği, başlangıç yatırım maliyetleri ve uzun vadeli finansal getiriler gibi unsurların kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini gerektirmektedir. Böylelikle, güneş bacalarının Libya için uygulanabilir bir seçenek olup olmadığı değerlendirilebilir.

Bir güneş bacası sisteminin tasarımı, verimliliği ve etkinliğini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Bacanın yüksekliği ve güneş kolektör alanı, sistemin enerji çıktısını belirlemede önemli bir rol oynar. Daha yüksek bacalar ve daha geniş kolektör alanları, bacanın güneş enerjisini yakalama ve kullanma kapasitesini artırabilir, ancak bu durum aynı zamanda daha yüksek inşaat maliyetlerini de beraberinde getirir. Baca ve kolektör alanının yapımında kullanılan malzemeler, yalnızca Libya'nın zorlu iklimine dayanıklı olmakla kalmamalı, aynı zamanda maliyet açısından uygun ve çevre dostu olmalıdır. Güneş bacalarının performansını optimize ederken çevresel etkilerini en aza indirmek için ileri malzemelerin entegrasyonu ve yenilikçi tasarım çözümleri hayati öneme sahiptir (Monghasemi and Vadiie 2018).

Libya'daki güneş bacası sistemlerinin ekonomik analizi, inşaat, işletme ve bakım maliyetlerinin, temiz elektrik üretimi ve pasif soğutma gibi faydalarla karşılaştırılmasını

içerir. Güneş bacası projelerine yapılan başlangıç yatırımları yüksek olsa da, uzun vadeli getiriler, özellikle elektrik maliyetlerinin düşmesi ve sera gazı emisyonlarının azalması açısından oldukça anlamlıdır. Ayrıca, güneş bacası teknolojisinin geliştirilmesi, iş yaratma ve yerel ekonomileri canlandırma potansiyeline sahiptir ve bu da Libya'nın sosyo-ekonomik kalkınmasına katkıda bulunabilir. Güneş bacası projelerine yatırım çekmek ve ekonomik uygulanabilirliğini sağlamak için mali teşvikler ve destekleyici politika çerçeveleri hayati öneme sahiptir.

Libya'da güneş bacası sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için yenilenebilir enerji projelerine yönelik sübvansiyonlar, vergi teşvikleri ve sürdürülebilir bina teknolojilerinin kullanımını teşvik eden düzenlemeleri içeren destekleyici bir politika ortamı gereklidir. Hükümet, özel sektör ve akademik kurumlar arasındaki iş birliği, güneş bacası teknolojisinde araştırma ve geliştirmeyi ilerletmek ve bu teknolojinin uygulanması için gerekli iş gücünü eğitmek açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, kamuoyu farkındalığını artırmaya yönelik kampanyalar, güneş bacalarının Libyalılar arasında kabul görmesini ve benimsenmesini teşvik etmede önemli bir rol oynayabilir.

Bol güneş kaynaklarına sahip olmasına rağmen, Libya, bu potansiyeli kullanmada teknik, ekonomik ve altyapısal sınırlamalar nedeniyle zorluklarla karşılaşmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin, özellikle güneş bacalarının, yeterince kullanılmaması, ülkenin enerji çeşitliliğini artırma ve enerji güvenliğini sağlama kabiliyetini engellemektedir. Ayrıca, Libya bağlamında güneş bacası sistemlerinin tasarımı, verimliliği ve ekonomik uygulanabilirliği üzerine detaylı çalışmaların eksikliği, bu teknolojilerin benimsenmesini ve uygulanmasını zorlaştıran bir bilgi boşluğu yaratmaktadır. Güneş bacası teknolojisinin benimsenmesi yoluyla güneş kaynaklarını etkin bir şekilde kullanarak, Libya hükümeti enerji çeşitliliği ve sürdürülebilirlik konusunda önemli ilerlemeler kaydedebilir. Güneş bacaları, ülkenin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltabilecek, karbon ayak izini düşürebilecek ve iklim değişikliğiyle mücadeleye küresel düzeyde katkı sağlayabilecek yenilenebilir, temiz bir enerji kaynağı sunmaktadır. Ayrıca, güneş bacalarının sağladığı pasif soğutma, hem kentsel hem de kırsal alanlarda yaşam koşullarını iyileştirerek Libyalı halkın yaşam kalitesini artırabilir. Bu tez, Libya'nın kendine özgü çevresel ve sosyo-

ekonomik koşullarına özel olarak tasarlanmış güneş bacası sistemlerinin kapsamlı bir teknik, ekonomik ve çevresel analizini sunarak bu sorunları ele almayı amaçlamaktadır.

1.1 Tez Amacı

Bu çalışmanın önemi, özellikle Libya gibi önemli güneş enerjisi potansiyeline sahip bir bölgede, yenilenebilir enerji araştırmalarına katkı sağlamasında yatmaktadır. Güneş bacası teknolojisi, güneş enerjisiyle hava ısıtma ve doğal havalandırmayı birleştirerek temiz enerji üretimi ve binalarda hava kalitesinin iyileştirilmesi için eşsiz bir fırsat sunmaktadır. Bu araştırma, Libya'nın güneş kaynaklarını enerji talebini karşılamak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve çevresel etkileri hafifletmek amacıyla nasıl kullanabileceğini anlamak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, güneş bacalarının tasarım ve ekonomik boyutlarına dair değerli bilgiler sunarak, yenilenebilir enerji sektöründe karar alıcılar, mühendisler ve yatırımcılar için yol gösterici bir rehber niteliği taşımaktadır. Bu yönüyle çalışma, Libya'nın yenilenebilir enerji kullanımını teşvik ederek hem yerel hem de küresel ölçekte enerji dönüşümüne katkıda bulunma potansiyeline sahiptir.

1.2 Amaçlar ve Kapsamlar

Bu tezin temel amacı, Libya'daki güneş bacası sistemlerinin detaylı bir tasarım, teknik ve ekonomik analizini gerçekleştirmektir. Çalışmanın kapsamı, güneş bacası teknolojisinin tasarım parametreleri, teknik performansı ve ekonomik değerlendirmesinin Libya bağlamında incelenmesini içermektedir. Çalışma, farklı tasarım konfigürasyonlarının, malzeme seçimlerinin ve iklim koşullarının sistem verimliliği üzerindeki etkisinin analizini kapsamaktadır. Bunun yanı sıra, güneş bacası sistemlerinin potansiyel ekonomik faydaları, maliyet yapıları ve bu teknolojinin Libya'da benimsenmesini desteklemek için gerekli politika çerçeveleri de ele alınmaktadır. Bu kapsamlı değerlendirme, güneş bacalarının Libya'nın enerji çeşitliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayabilmesi için gereken bilgi altyapısını sunmayı amaçlamaktadır.

1.3 Çalışmanın Katkısı

Bu çalışma, Libya bağlamına özel olarak tasarlanmış bir güneş bacası sistemi analizini tasarım, teknik ve ekonomik perspektiflerden kapsamlı bir şekilde sunmaktadır. Libya'nın benzersiz iklim koşullarına uygun yenilikçi tasarım konfigürasyonlarını araştırarak bilgi literatürüne katkıda bulunmakta ve gelecekteki araştırma ve geliştirme çalışmaları için bir yol haritası sağlamaktadır. Ekonomik analiz, güneş bacası sistemlerinin maliyet-etkinliğini değerlendirmekte; başlangıç yatırımı, işletme ve bakım maliyetlerini sağladığı faydalarla karşılaştırarak değerli veriler sunmaktadır. Araştırma bulgularına dayanarak, güneş bacası teknolojisinin ulusal enerji karışımına entegrasyonunu destekleyebilecek politika çerçeveleri önerilmektedir. Çalışma, güneş bacası sistemlerinin Libya'nın enerji portföyüne entegre edilmesinin çevresel faydalarını, hava kalitesindeki potansiyel iyileşmeler ve karbon ayak izindeki azalmalar dahil olmak üzere, vurgulamaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji teknolojilerinin sosyo-ekonomik kalkınmadaki rolüne dikkat çekmekte; güneş bacası sistemlerinin enerji güvenliğine katkı sağlayabileceğini, istihdam yaratabileceğini ve Libya'da sürdürülebilir kentsel gelişimi destekleyebileceğini incelemektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Nie *et al.* (2024), güneş bacalarının tarım seraları içinde entegre edilmesine yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunmakta ve tasarımı hem temiz enerji üretimi hem de tarımsal verimlilik için optimize etmektedir. Çalışma, kolektör verimliliği ve teorik güç gibi temel parametrelerin optimizasyonunu deneysel ve sayısal simülasyon yöntemleriyle incelemektedir. Enjeksiyon açısının ayarlanması ve bir geçiş faktörünün tanıtılmasıyla, kolektör verimliliğini artıran ve yerel direnç kayıplarını en aza indiren optimal koşullar bulunmuştur. Bu araştırma, sürdürülebilir enerji üretimi ve tarımsal uygulamaların geliştirilmesine yönelik ikili hedeflere katkıda bulunmakta ve sera tasarımında güneş bacası sistemleri için değerli bilgiler sunmaktadır.

Abdelsalam *et al.* (2024), Katar'da bir güneş bacası enerji santralinin (SCPP) bir su arıtma tesisi (WDPP) ile entegrasyonuna yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu entegrasyon, WDPP'den elde edilen atık ısının SCPP içindeki sıcaklık profilini iyileştirmek için kullanılmasıyla enerji ve temiz su üretimini önemli ölçüde artırmaktadır. Araştırma, bağımsız SCPP sistemleriyle karşılaştırıldığında su üretimi, enerji üretimi ve CO2 emisyonlarının azaltılmasında kayda değer iyileşmeler göstermektedir. Bu yaklaşım, enerji ve temiz su kıtlığı sorunlarını eş zamanlı olarak ele almak için umut verici bir yöntem sunmaktadır.

Marzouk (2024), Solar Updraft Tower Power Plants (SUTPP) ile Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) ve Fotovoltaik (PV) enerji santrallerinin Enerji Üretim Yoğunluğu'nu (EGI) karşılaştırmaktadır. Aladdin enerji simülatörünü kullanarak, benzer enlemlerdeki çeşitli küresel konumlarda SUTPP'nin performansını değerlendirmektedir. Bulgular, ticari ölçekli elektrik üretiminde SUTPP'nin CSP ve PV teknolojilerine kıyasla daha az rekabetçi olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, SUTPP'ler, enerji üretimiyle tarımsal uygulamaları birleştiren hibrit kullanımlar için uygun olabileceğini, özellikle büyük ölçekli sera olarak işlev görebilme yetenekleri sayesinde ortaya koymaktadır.

Al-Abadi *et al.* (2024), güneş bacası performansını iyileştirmek için petrol gazının kullanımını incelemekte ve elektrik üretimini maksimize etmek için güneş kolektörü

içinde çeşitli gaz kanal konfigürasyonlarını araştırmaktadır. ANSYS Fluent yazılımını kullanarak yedi farklı konfigürasyon test edilmiş ve güneş ışığı saatleri dışında da sürekli elektrik enerjisi üretimi için en etkili tasarım belirlenmiştir. Dairesel iki halkalı brülör konfigürasyonu, en yüksek elektrik üretimi ve termal verimliliği sağlamış ve en uygun tasarım olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım, petrol çıkarımından elde edilen atık enerjinin değerlendirilmesi için yenilikçi bir yöntem sunmakta ve güneş bacası verimliliği ile elektrik üretimini artırmak için sürdürülebilir bir çözüm potansiyeli taşımaktadır.

Ghorai *et al.* (2023), SCPP'lerde (Güneş Bacası Güç Santralleri) farklı baca tasarımlarını karşılaştırmalı olarak analiz ederek performans değerlendirmesi ve malzeme maliyeti karşılaştırmasına odaklanmıştır. ANSYS kullanılarak yapılan matematiksel analizde, taban tipi, daralan, genişleyen, ani daralma ve ani genişleme baca konfigürasyonları incelenmiştir. Bulgular, ani genişleme ve genişleyen bacaların diğer tasarımlara kıyasla daha yüksek güç çıktısı sağladığını ve daha maliyet etkin olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, bu sonuçların sağlamlaştırılması için ayrıntılı simülasyon ve testlerin gerekliliğini vurgulamakta ve SCPP tasarımının performans ve maliyet etkinliği açısından optimize edilmesine katkıda bulunmaktadır.

Cuce *et al.* (2022), SCPP'ler üzerine kapsamlı bir inceleme sunarak tasarımlarını, performanslarını ve çeşitli parametrelerin etkilerini analiz etmektedir. Çalışma, tarihçe, çalışma prensipleri, temel bileşenler (baca, kolektör ve türbin) ve verimlilik ile güç çıktısını optimize etmeye yönelik tasarım hususlarını ele almaktadır. Ayrıca, enerji depolama sistemlerinin ve hibrit tasarımların sınırlamaların üstesinden gelme potansiyelini tartışarak güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditleri vurgulayan bir SWOT analizi sunmaktadır. Bu inceleme, SCPP teknolojisinin gelecekteki gelişmeleri için içgörüler sunmayı ve sürdürülebilir enerji üretimindeki rolünü vurgulamayı amaçlamaktadır.

Kebabsa *et al.* (2020), kolektör giriş geometrisinin SCPP'lerin performansı üzerindeki etkisini incelemektedir. Kolektör girişindeki eğim ve eğim mesafesinin sistemin termo-hidrodynamic davranışını nasıl etkilediğini araştırmak için 2D eksen simetrik CFD modelleri kullanılmıştır. Çalışma, hava akışını ve dolayısıyla SCPP'nin verimliliğini

artıran optimal konfigürasyonları belirlemiştir. Sonuçlar, belirli kolektör giriş tasarımlarının güç çıktısını ve genel sistem performansını önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermekte ve bu yenilenebilir enerji sistemlerinin optimizasyonu için önemli bilgiler sunmaktadır.

Al-Rawe (2020), farklı baca genişleme açıları ve güneş ışınımı koşulları altında SCPP performansını sayısal olarak incelemiştir. Çalışmanın amacı, en etkili baca genişleme açısını belirlemek ve güneş ışınımı ile ortam sıcaklığı değişimlerinin SCPP performansını nasıl etkilediğini anlamaktır. Araştırma, CFD simülasyonları ve MATLAB kullanarak güneş ışınımı hesaplamalarını içermekte ve mevsimsel performans farklarını değerlendirmek için Ankara, Türkiye'yi temel almaktadır. Çalışma, baca geometrisinin SCPP verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve güç çıktısının güneş ışınımı seviyeleri ile ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır.

Hasan (2022), SCPP performansını artırmaya yönelik detaylı bir sayısal inceleme gerçekleştirmektedir. 3D bir model kullanarak, farklı kanatçık konfigürasyonlarının SCPP verimliliği ve güç çıktısı üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Araştırma, Manzanares pilot tesisi verilerine dayalı olarak türbülanslı akış için standart k-ε modelini ve güneş ışınımı hesaplamaları için Ayrık Koordinatlar modelini kullanmaktadır. Kanatçık sayıları, kalınlıkları ve yükseklikleri değiştirilerek, tesis verimliliği ve enerji üretimini önemli ölçüde artıran optimal konfigürasyonlar belirlenmiştir. Çalışma, SCPP tasarımı ve optimizasyonuna değerli bilgiler sunmakta ve kanatçıklı kolektörlerin yenilenebilir enerji üretimindeki potansiyelini vurgulamaktadır.

Çetinbaş (2022), Sason çileklerinin bir güneş bacası sera örtüsü altında kuruma kinetiğinin deneysel olarak incelenmesini ele almaktadır. Çalışma, kullanılmayan sera örtüsü alanlarını tarımsal kurutma süreçlerinde kullanarak güneş bacalarının verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Araştırmada, sera örtüsü alanı siyaha boyanarak güneş bacası verimliliği artırılmış ve çeşitli boyutlardaki çilek dilimleri ile bütün çilekler üzerinde ideal kurutma koşulları belirlenmiştir. Bulgular, sera örtüsü altındaki kurutma performansını doğal koşullarla karşılaştırmakta ve yenilenebilir enerji uygulamalarında tarım alanında katkılar sağlamaktadır.

Cuce *et al.* (2022), doğal termal enerji depolama malzemeleri olarak kum ve çakıl kullanan SCPP performansını 3D CFD analizleri ve deneysel doğrulama ile değerlendirmektedir. Çalışma, bu düşük maliyetli malzemelerin sistem verimliliği üzerindeki etkisine odaklanarak, farklı koşullarda sıcaklık dağılımları ve güç çıktısını karşılaştırmaktadır. Bulgular, kum ve çakılın sistem performansını önemli ölçüde etkilemediğini ve birbirinin yerine kullanılabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, SCPP'lerde enerji depolama için maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır. Çalışma, detaylı analizi ve pratik uygulamaları ile yenilenebilir enerji teknolojilerini geliştirme hedefine katkı sağlamaktadır.

Biswas *et al.* (2023), Güneş Bacası Güç Santralleri (SCPP'ler) ile ilgili deneysel çalışmalara odaklanarak, düşük maliyet, düşük bakım gereksinimi ve çevre dostu özellikleri nedeniyle yenilenebilir enerjinin önemini vurgulamaktadır. Daha yüksek verimlilik ve güç üretimi için SCPP tasarımlarını optimize etme çabalarına rağmen, yeterli deneysel çalışmanın olmaması, ticarileştirme sürecini zorlaştırmaktadır. Bu inceleme, SCPP'lerin prensiplerini, çalışma mekanizmalarını, tarihsel gelişimini ve çeşitli tasarım ve değişikliklerin performans üzerindeki etkilerini ele alarak, çevresel etkiler ve gelecekteki araştırma yönelimlerini tartışmayı ve SCPP'lere ilişkin anlayışı derinleştirmeyi amaçlamaktadır.

Cao *et al.* (2013), farklı iklim bölgelerinde SCPP tasarımı ve performansını incelemek için TRNSYS simülasyon programını kullanmaktadır. Çalışma, SCPP performansını etkileyen en önemli meteorolojik parametrenin çevre sıcaklığından ziyade güneş ışınımı olduğunu ortaya koymaktadır. Teknik-ekonomik analiz ve konfigürasyon boyutlarının tasarımı yoluyla, daha yüksek üretim kapasitesine sahip SCPP'lerin daha iyi maliyet-fayda özellikleri sergilediği gösterilmiştir. Bu araştırma, SCPP'lerin farklı coğrafi bölgelerdeki uygulanabilirliği ve verimliliğine dair değerli bir inceleme ve optimizasyon aracı sunmaktadır.

Okoye (2016), Güneş Bacası Güç Santralleri (SCPP) tasarımı için iki aşamalı bir fizibilite yaklaşımına odaklanmaktadır. Yeni bir doğrusal olmayan programlama modeline dayanan bu yenilikçi yaklaşım, enerji talebinin güvenilir bir şekilde karşılanmasını

sağlarken sermaye ve işletme maliyetlerini en aza indirmek için SCPP boyutlarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Tez, SCPP'nin ekonomik ve teknik fizibilitesini vurgulamakta, güneş ışıınımı, çevre sıcaklığı ve arazi mevcudiyeti gibi saha özelindeki faktörleri içermektedir. Nijerya'nın Potiskum kentinde yapılan bir vaka çalışması, modelin etkinliğini göstermekte ve bölge için önemli sosyal, ekonomik ve çevresel faydalar sağlayan kârlı bir yatırım olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, SCPP'lerin sürdürülebilir elektrik üretim çözümü olarak benimsenmesini destekleyen yenilikçi bir optimizasyon aracı sunmaktadır.

Cao *et al.* (2017), bir ısı depolama tabakasıyla donatılmış Güneş Bacası Güç Santrallerinin (SCPP) geçici performansını TRNSYS simülasyonu ile değerlendirmektedir. Çalışma, SCPP performansını altı farklı zemin malzemesi (granit, kireçtaşı, kumtaşı, kum, nemli toprak ve su) ile karşılaştırmakta ve ısı depolama tabakasının sıcaklık zirvelerini 2-3 saat geciktirerek SCPP verimliliğini artırdığını göstermektedir. Kum, bolluğu, düşük maliyeti ve yüksek performansı nedeniyle en uygun ısı depolama malzemesi olarak önerilmektedir. Bu araştırma, ısı depolama katmanları için stratejik malzeme seçimi yoluyla SCPP tasarımı ve verimliliğini iyileştirmeye yönelik değerli bilgiler sağlamaktadır.

Nsaif (2019), SCPP performansı üzerindeki geometrik parametrelerin etkilerine odaklanmaktadır. Çalışma, ANSYS 18.2 kullanarak 2D CFD analizi ile baca ve kolektör boyutlarını ve konfigürasyonlarını değiştirerek SCPP tasarımını optimize etmektedir. CFD sonuçları deneysel verilerle doğrulanmış ve baca yüksekliği, çapı ve kolektör boyutlarının SCPP performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu vurgulanmıştır. Çalışma, optimal geometrik konfigürasyonların güç çıktısını ve verimliliği önemli ölçüde artırabileceğini ortaya koymakta ve daha etkili güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi için değerli bilgiler sunmaktadır. Çizelge 1.1 ilgili çalışmaların özetini göstermektedir.

Çizelge 1.1 İlgili çalışmaların özeti

REFERANS	ALAN	METODOLOJİ	BULGULAR	EKSİKLİKLER
Ne <i>et al.</i> (2024)	SCPP'lerin tarımla entegrasyonu	DeneySEL ve sayısal simülasyon	Temiz enerji ve üretkenlik için optimize edilmiş tasarım	Diğer yenilenebilir teknolojilerle entegrasyon yönleri
Abdelsalam <i>et al.</i> (2024)	SCPP'nin su arıtma ile entegrasyonu	Sayısal simülasyon	Elektrik ve su üretiminde artırılmış verimlilik	Ekonomik fizibilite ve ölçeklenebilirlik
OKOYE (2016)	SCPP'lerin ekonomik ve teknik fizibilitesi	Doğrusal olmayan programlama modeli	Kârlı yatırım fırsatları belirlendi	Uzun vadeli işletim verileri ve sürdürülebilirlik
NSAIF (2019)	SCPP geometrik optimizasyonu	CFD analizi	Baca ve kolektör boyutlarının performans üzerindeki etkisi	Gerçek dünya uygulaması ve ölçeklenebilirlik
Al-Rawe (2020)	Impact of chimney divergence angles on SCPP	CFD simulations and MATLAB calculations	Identified optimal chimney divergence angle	Adaptability to different climatic conditions
Hasan (2022)	SCPP baca genişleme açıları üzerindeki etkiler	CFD simülasyonları ve MATLAB hesaplamaları	Optimal baca genişleme açısı belirlendi	Farklı iklim koşullarına uyum
Çetinbaş (2022)	Tarımda güneş bacası uygulamaları	DeneySEL çalışma	Kurutma süreçlerinde güneş bacası verimliliği artırıldı	Diğer yenilenebilir kurutma teknolojileriyle karşılaştırma
Cuce <i>et al.</i> (2022)	SCPP'lerde termal enerji depolama	3D CFD analizi ve deneySEL doğrulama	Kum ve çakıl etkili depolama malzemeleri olarak belirlendi	Uzun vadeli performans ve çevresel etkiler
Biswas <i>et al.</i> (2023)	SCPP'ler üzerine genel inceleme	Literatür incelemesi	Daha fazla deneySEL çalışma ihtiyacı vurgulandı	Kapsamlı çevresel etki değerlendirmesi
Marzouk (2024)	UTPP'lerin diğer güneş teknolojileriyle karşılaştırılması	Enerji simülasyonu	Elektrik üretiminde daha az rekabetçi	Hibrit kullanım ve uygulamalar
Al-Abadi <i>et al.</i> (2024)	SCPP'de ilişkili petrol gazı kullanımıyla iyileştirme	ANSYS Fluent yazılımı	Optimal gaz kanal konfigürasyonu belirlendi	Çevresel etkiler ve düzenleyici uyumluluk
Cao <i>et al.</i> (2013)	İklim bölgelerinde tasarım ve performans	TRNSYS simülasyonu	Güneş ışınlı, performansın anahtar faktörü olarak belirlendi	Farklı bölgelerde teknik-ekonomik analiz

Çizelge 1.1 İlgili çalışmaların özeti (Devam)

REFERANS	ALAN	METODOLOJİ	BULGULAR	EKSİKLİKLER
Ghorai <i>et al.</i> (2023)	aca tasarımlarının karşılaştırmalı analizi	ANSYS matematiksel analizi	Ani genişleme ve genişleyen bacalar daha iyi performans gösteriyor	Sonuçların doğrulanması için detaylı test
Cao <i>et al.</i> (2017)	Isı depolama tabakasıyla geçici performans	TRNSYS simülasyonu	Kum, ısı depolama malzemesi olarak önerildi	Diğer enerji depolama çözümleriyle karşılaştırma

Ayrıca Çizelge 1.2'de bu konuyla ilgili birçok deneysel çalışma gösterilmektedir.

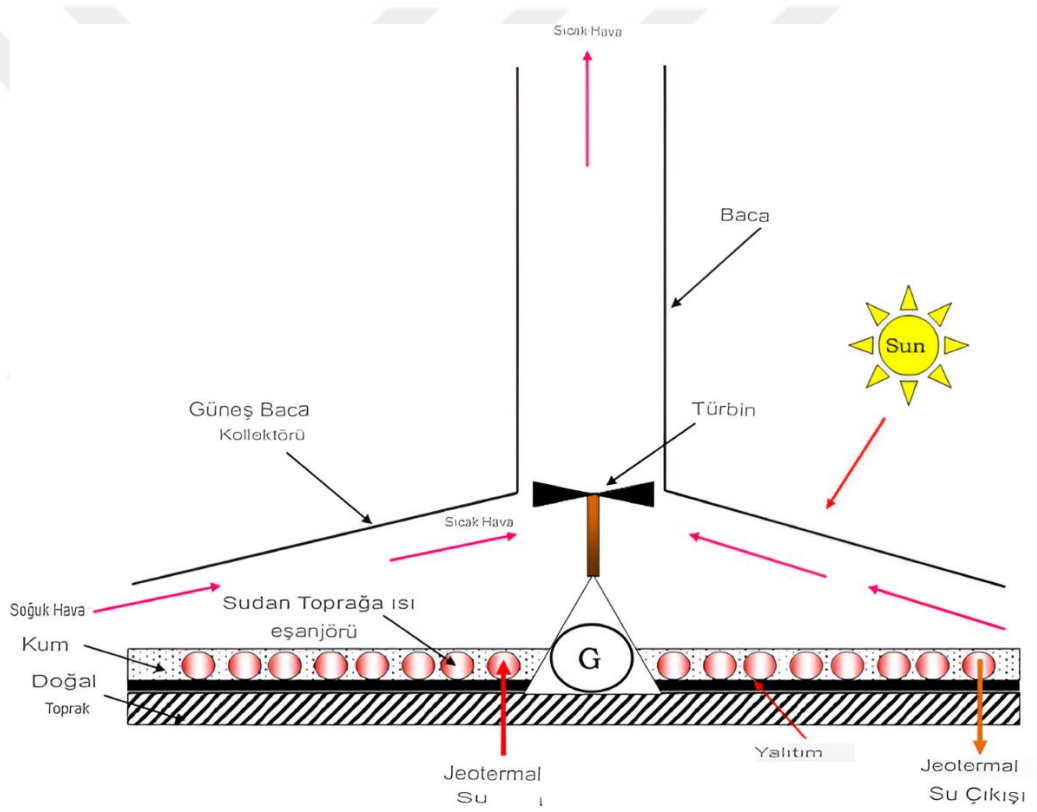
Çizelge 1.2 Çeşitli ülkelerde güneş bacası güç sistemleri üzerine deneysel çalışmalar

Referans	Baca Yüksekliği (m)	Baca Çapı (m)	Kolektör Çapı (m ²)	Kolektör Malzemesi	Hız (V, m/s)	Sıcaklık Farkı (ΔT)	Ülke
Ahmed & Chaichan (2011)	4.0	0.21	6.0 m ²	-	2.31 m/s	22.0	Irak
(Kasaian <i>et al.</i> (2011)	12.0	0.25	10.0 m ²	Plastic	2.90 m/s	26.0	İran
Al-Dabbas (2011)	4.0	0.58	36 m ²	Plastic	-	-	Ürdün
Kulunk (1985)	2.0	0.07	9 m ²	-	-	-	Türkiye
Najmi <i>et al.</i> (2011)	60.0	3.0	40*40 m ²	Glass	-	-	İran
Zhou <i>et al.</i> (2007)	15.0	1.20	10.0 m ²	Glass	2.8 m/s	24.1	Çin
Buğutekin (2012)	17.150	0.80	27.0 m ²	Glass	5.5 m/s	26.0	Türkiye
Hamdan and Rabbata (2012)	8.250	0.25	10 ² m ²	Plastic	-	-	BAE
Kalash <i>et al.</i> (2013)	9.0	0.31	12.5 m ²	Glass	2.9 m/s	19.0	Suriye
Dhahri <i>et al.</i> (2014)	16.0	0.40	15 m ²	Glass Plastic	-	-	Tunus

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Güneş Bacası Şeması

Bu bölümde, hem maliyet hem de performansı verimli ve dayanıklı bir güneş bacası tasarımına odaklanılmaktadır. Kolektör alanı, baca yapısı ve yalıtım için malzeme seçimi ve ilgili parametreler dikkatlice değerlendirilerek bu unsurların dengeli bir şekilde bir araya getirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, bu bölümde güneş bacasına ilişkin genel bilgiler sunulmaktadır. Şekil 3.1, güneş bacasının genel şemasını göstermektedir.



Şekil 3.1 Güneş bacası şeması (Sharon 2023)

3.1.1 Kolektör alanı

Güneş bacasının kolektör alanı, sistemin verimliliği açısından kritik bir rol oynar. Bu alan, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek havayı ısıtır ve bacadaki hava akışını sağlar. Bu amaçla, yüksek şeffaflığa sahip temperli cam, şeffaflık, dayanıklılık ve bakım

özellikleri açısından ideal bir malzeme seçeneğidir. %90 veya daha yüksek şeffaflık seviyesine sahip temperli cam, güneş ışınımının maksimum düzeyde iç yüzeylere ulaşmasını sağlayarak enerji kaybını en aza indirir ve güneş enerjisinin ısıya dönüştürülmesini maksimize eder. Bu özellik, kolektör içindeki sıcaklık artışını ve dolayısıyla güneş bacasının performansını doğrudan etkilediği için sistemin genel verimliliği açısından hayati öneme sahiptir (El-Ghonemy 2016).

Temperli cam, dayanıklılığı ile bilinir ve hava koşullarına, darbelere ve termal gerilmelere karşı yüksek direnç gösterir. Bu dayanıklılık, özellikle zorlu hava koşullarına, değişken sıcaklıklara ve potansiyel fiziksel darbelere maruz kalan ortamlarda güneş bacasının uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlar. Temperli camın kullanımı, kolektör alanının yıllarca işlevsel ve etkili kalmasını sağlayarak sistemin sürdürülebilirliğine katkıda bulunur ve sık sık onarım veya değiştirme ihtiyacını azaltır.

Büyük ölçekli güneş enerjisi kurulumlarında malzeme seçimi yapılırken bakım gereksinimleri önemli bir faktördür. Yüksek şeffaflığa sahip temperli cam, düşük bakım gereksinimleriyle öne çıkar ve genellikle şeffaflığını korumak için periyodik temizlik yeterlidir. Bu kolay bakım, işletme maliyetlerini azaltmanın yanı sıra, kir, toz veya güneş ışığını engelleyebilecek diğer kalıntıların etkisini önleyerek güneş bacasının optimal verimlilikte çalışmasını sağlar (Humood *et al.* 2016).

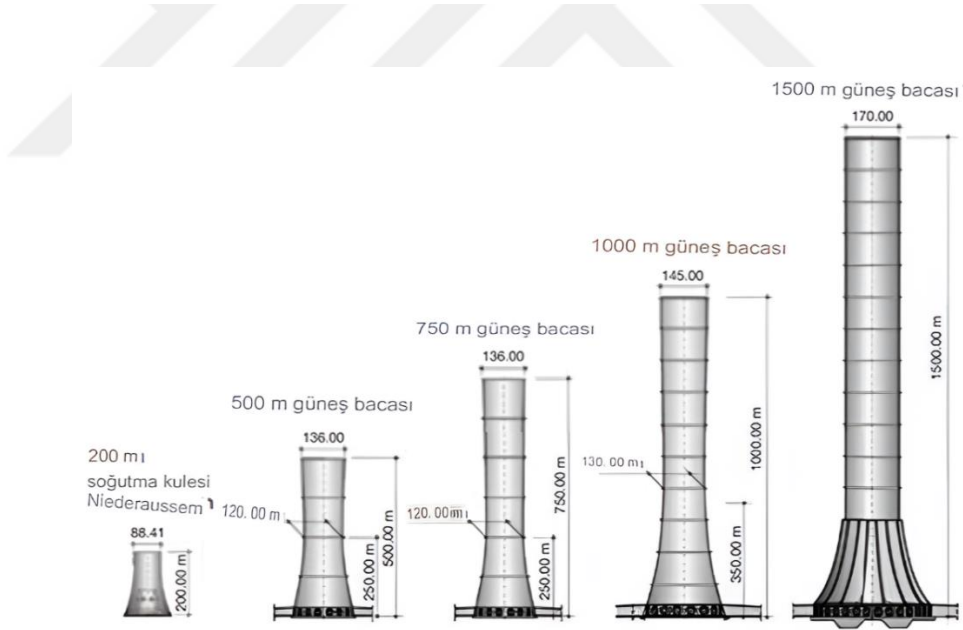
Yüksek şeffaflığa sahip temperli camın kolektör alanında kullanımı, başlangıçta orta ila yüksek maliyetli bir yatırım olarak görülebilir. Ancak, bu başlangıç yatırımı, uzun vadeli bakım tasarrufları ve verimlilik artışları ile telafi edilir. Temperli camın dayanıklılığı ve düşük bakım gereksinimi, güneş bacasının ömrü boyunca operasyonel maliyetlerin azalmasına katkıda bulunur. Ayrıca, malzemenin güneş enerjisini yüksek verimlilikle dönüştürme yeteneği, daha iyi performans ve potansiyel olarak daha yüksek enerji tasarrufu veya üretimi sağlar, bu da başlangıç maliyetini iyileştirilmiş yatırım getirileri ile haklı çıkarır (Khare *et al.* 2023).

Sonuç olarak, güneş bacasının kolektör alanı için yüksek şeffaflığa sahip temperli camın seçimi, başlangıç maliyetini uzun vadeli faydalarla dengeleyen stratejik bir tercihtir.

Şeffaflığı, maksimum güneş enerjisi emilimini sağlarken dayanıklılığı çevresel zorluklara karşı direnç gösterir ve düşük bakım gereksinimi, sistemin ömrü boyunca maliyet etkin bir çözüm sunar. Bu özellikler kombinasyonu, temperli camı güneş bacası kurulumlarının verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için ideal bir malzeme haline getirir.

3.1.2 Baca yapısı

Güneş bacası sisteminin baca yapısı, hava akışını ve sistemin çalışması için gerekli sıcaklık gradyanlarını sağlayan baca etkisi için gerekli olan yükseklik ve hacmi sağlar (Von Backström et al. 2008). Bacanın malzeme ve tasarım seçimi, performansını, dayanıklılığını ve maliyet etkinliğini önemli ölçüde etkiler. Çelik donatılı betonarme, baca yapısının inşası için ideal bir seçenek olarak öne çıkar. Bu malzeme, mukavemet, dayanıklılık ve termal davranışın yanı sıra ekonomik uygunluğu ile optimal bir denge sunar. Şekil 3.2, farklı baca yüksekliklerini göstermektedir.



Şekil 3.2 Baca yapısının farklı yüksekliği (Von Backström et al. 2008)

Çelik donatılarla güçlendirilmiş betonarme, olağanüstü mukavemeti sayesinde yerel rüzgar yükleri ve sismik aktivitelerin neden olduğu gerilmelere dayanabilmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Bu dayanıklılık, yüksek rüzgarlar veya depremler gibi çevresel zorluklara maruz kalan bölgelerde yapının stabilitesini ve güvenliğini sağlamak açısından

kritik öneme sahiptir. Beton matrisine çelik donatıların eklenmesi, yapının çekme dayanımını artırarak betonun doğal basınç dayanımını tamamlar. Bu kombinasyon, dış kuvvetlere karşı önemli bir hasar almadan dayanabilecek kadar sağlam bir tasarım sunar ve bacanın zaman içinde operasyonel bütünlüğünü korumasını sağlar (Xue *et al.* 2022).

Güneş bacası tasarımında termal genişleme, karşılaşılabilecek önemli sıcaklık değişiklikleri göz önüne alındığında, kritik bir husustur. Bacanın malzemeleri ve yapısal tasarımında, termal genişlemeyi karşılamak için genişleme derzleri ve özel malzeme seçimleri yer alır. Bu düzenlemeler, sıcaklık dalgalanmalarından kaynaklanan gerilmeler veya hasarlar nedeniyle yapısal bütünlüğün tehlikeye girmesini önler. Yapının genişlemesine ve büzülmesine olanak tanıyan bu önlemler, özellikle geniş sıcaklık aralıklarına sahip ortamlarda, bacanın işlevselliğini ve uzun ömürlülüğünü korumak için hayati öneme sahiptir (Pradhan *et al.* 2021).

Betonarme yapıların ayırt edici özelliklerinden biri olan dayanıklılık, güneş bacası için de geçerlidir. Onlarca yıl sürmesi beklenen bir ömre sahip olan baca, hava koşulları, kimyasal etkilere maruz kalma ve fiziksel aşınma gibi çevresel faktörlere karşı direnç gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Bu uzun ömürlülüğü sağlamak için düzenli bakım önemlidir; rutin denetimler ve küçük onarımlar, yapının en iyi durumda kalmasını sağlar. Çelik donatılı betonarmenin uzun ömürlü yapısı, geniş çaplı yenileme veya değiştirme ihtiyacını en aza indirir ve güneş bacasının genel sürdürülebilirliğine ve maliyet etkinliğine katkıda bulunur (Sharon 2023).

Çelik donatılı betonarme bir bacanın başlangıç yatırımı orta düzeyde bir maliyettir. Ancak, bu başlangıç maliyeti, yapının uzun vadeli dayanıklılığı ve minimum bakım gereksinimleri ile haklı çıkar. Yapının operasyonel ömrü boyunca sık onarım veya erken değiştirme ihtiyacının azalması, bu malzeme seçimini ekonomik olarak cazip hale getirir.

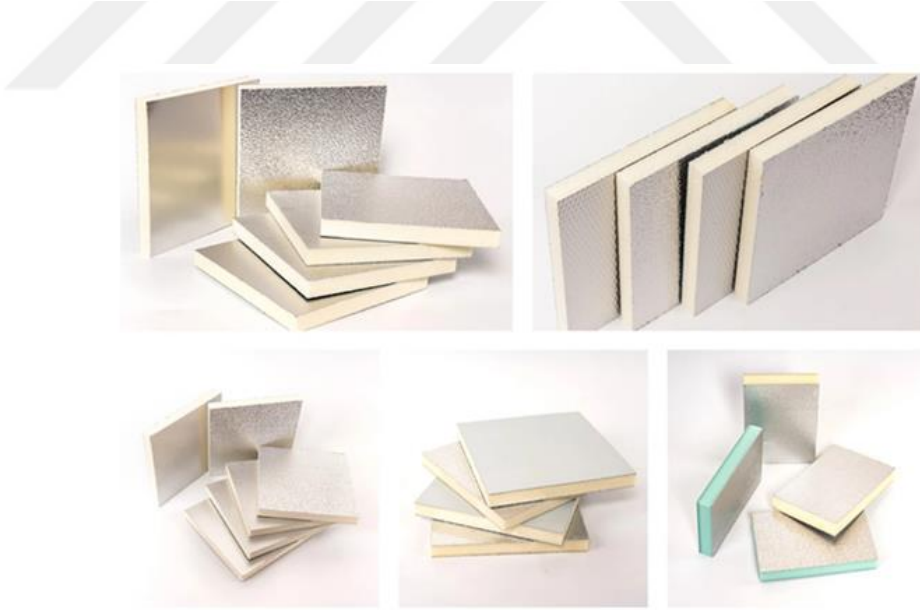
Güneş bacası sistemi için baca yapısında çelik donatılı beton seçimi, mukavemet, termal adaptasyon ve dayanıklılık gereksinimlerini ekonomik değerlendirmelerle dengeleyen stratejik bir karardır. Bu malzeme seçimi, bacanın çevresel kuvvetlere ve sıcaklık değişimlerine dayanmasını, yapısal bütünlüğünü ve işlevselliğini onlarca yıl boyunca

korumasını sağlar. Sonuç olarak, güneş bacasının güvenilir, verimli ve sürdürülebilir bir bileşeni olarak genel performansına ve başarısına katkıda bulunur.

3.1.3 Yalıtım

Yalıtım, güneş bacası tasarımının kritik bir unsurudur; özellikle kolektör alanında ve taban kısmında, yüksek bir sıcaklık farkının korunması sistemin verimliliği açısından temel gerekliliktir (Harris and Helwig 2007). Yalıtım malzemesi seçimi, sistemin ısıyı tutma kapasitesini, çevresel bozulmaya direnç göstermesini ve operasyonel ömrü boyunca maliyet etkinliğini doğrudan etkiler.

Poliizosiyanürat (PIR) köpük paneller, bu uygulamalar için örnek bir yalıtım malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Bu paneller, mükemmel termal performansı, dayanıklılığı ve yangın direnci ile dikkat çekmektedir (Prałat *et al.* 2023). Şekil 3.3, bu yalıtım malzemesinin bir görselini sunmaktadır.



Şekil 3.3 Poliizosiyanürat (PIR) köpük panelleri

PIR (Poliizosiyanürat) köpük paneller, düşük termal iletkenlik değerleri ile öne çıkar ve R-değerleri genellikle inç başına R-6 ila R-7 arasında değişir. Bu termal direnç ölçüsü, malzemenin ısı transferini en aza indirme yeteneğini gösterir ve güneş bacası içinde

istenen sıcaklık gradyanının korunması için temel bir özelliktir. PIR yalıtım, ısı kaybını azaltarak sistemin termal verimliliğini en üst düzeye çıkarır; kolektör alanındaki havanın güneş ışınımı ile optimum düzeyde ısınmasını ve bu ısının çevreye erken dağılmasını engeller. Bu verimlilik, baca boyunca hava akışını yönlendiren baca etkisini güçlendirmek ve dolayısıyla sistemin havalandırma yapma veya enerji üretme kapasitesini artırmak için kritik öneme sahiptir (Makaveckas *et al.* 2021).

Termal verimliliğin yanı sıra, yangın direnci de güneş bacası yapımında kullanılan malzemeler için en önemli hususlardan biridir. PIR köpük paneller, yangın geciktirici özelliklere sahip olup, yangın riskinin minimumda tutulması gereken uygulamalar için uygundur. Bu özellik, kolektör alanında ulaşılan yüksek sıcaklıkların yangın riski oluşturabileceği güneş bacalarında özellikle önemlidir. PIR gibi yangına dayanıklı yalıtım malzemelerinin kullanımı, sistemin güvenlik standartlarına ve düzenlemelere uygun olmasını sağlar, yatırım güvenliği sunar ve güneş bacası altyapısını korur.

Güneş bacasının uzun vadeli performansı ve güvenilirliği, yalıtımın zamanla özelliklerini korumasına bağlıdır. PIR köpük paneller, dış mekan ve değişken çevresel koşullarda sıkça karşılaşılan nem ve küfe karşı dayanıklıdır. Bu dayanıklılık, güneş bacasının ömrü boyunca PIR panellerin yalıtım özelliklerini korumasına yardımcı olur, değiştirme veya bakım ihtiyacını azaltır ve tutarlı termal verimliliği garanti eder.

PIR köpük panellerin maliyeti, performans ve uzun vadeli faydalar arasındaki denge göz önüne alındığında orta düzeyde bir yatırımdır. İlk maliyet alternatif yalıtım malzemelerine göre daha yüksek olsa da, PIR panellerin üstün termal performansı, yangına dayanıklılığı ve dayanıklılığı önemli bir değer sunar. Geliştirilmiş enerji verimliliği, azalan bakım gereksinimleri ve yalıtımın uzun ömrü sayesinde sağlanan tasarruflar, malzemenin genel maliyet etkinliğine katkıda bulunur. Bu özellikler, PIR köpük panelleri güneş bacası projeleri için hem performans hem de bütçe yönetimi hedeflerine uygun mali açıdan uygulanabilir bir seçenek haline getirir (Uk 2024).

3.2 Güneş Kolektörü Verimliliği

Güneş kolektörünün verimliliği, bir güneş bacasının genel performansında kritik bir faktördür çünkü sistemin hava akışı üretme kapasitesini ve dolayısıyla havalandırma veya enerji üretim yeteneklerini doğrudan etkiler. Güneş kolektörünün ısıyı emme ve havaya aktarma verimliliği, kullanılan malzemeler, emici yüzeylerin rengi ve kolektör tasarımı gibi çeşitli temel unsurlara bağlıdır. Bu bileşenlerin her biri, güneş enerjisinin dönüşüm sürecini maksimize ederek sistemin etkinliğini artırmada hayati bir rol oynar (Rezaei *et al.* 2023).

3.2.1 Malzeme

Güneş kolektörü için malzeme seçimi, verimliliğin temelini oluşturur. Yüksek termal iletkenliğe ve düşük emisyon değerine sahip malzemeler tercih edilir, çünkü bu malzemeler güneş ışınımını hızlıca emebilir ve ısıyı havaya etkin bir şekilde aktarabilir. Bakır ve alüminyum gibi metaller, mükemmel termal özellikleri nedeniyle genellikle emici plakalar için kullanılır. Ancak, bu metallerin yüzeyleri genellikle güneş ışınımını daha iyi emebilmesi ve korozyona karşı direnç gösterebilmesi için işlenir veya kaplanır. Güneş ışınımına yüksek absorpsiyon ve düşük termal emisyon sağlayan seçici kaplama malzemeleri, radyasyon ısı kayıplarını en aza indirerek kolektörün performansını önemli ölçüde artırır (Al-Mamun *et al.* 2023).

3.2.2 Kolektör yüzeyi

Kolektörün emici yüzeyinin rengi, güneş ısısının kazanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Koyu renkler, özellikle siyah, güneş ışınımını emmede oldukça etkilidir ve genellikle bu etkiyi maksimize etmek için mat siyah yüzeyler tercih edilir. Basit renk seçimlerinin ötesinde, yüzey, güneş ışınımını artırmak için özel olarak tasarlanmış kaplama veya malzemelerle işlenebilir (Li *et al.* 2020). Bu işlemler, güneş ışınımının daha geniş bir spektrumunu emmek ve yansımalarını en aza indirmek için mühendislik harikası boyalar veya kaplamaları içerebilir, böylece güneşten elde edilen ısı miktarını artırır.

3.2.3 Kolektör tasarımı

Güneş kolektörünün tasarımı, şekli, yönelimi ve baca yapısıyla entegrasyonunu kapsar. Kolektör, gün boyunca güneş ışığını maksimum düzeyde yakalamak için tasarlanmalıdır; bu, zemine eğim açısı ve güneşe olan yönelim gibi hususları içerir. İyi tasarlanmış bir kolektör, mümkün olduğunca fazla güneş enerjisini yakalamak için geniş bir yüzey alanına sahip olmalı ve konveksiyon ve radyasyon nedeniyle oluşan kayıpları en aza indirmelidir. Cam veya şeffaf polikarbonat gibi camlama malzemelerinin kullanımı, kolektör içinde sera etkisi yaratarak hava sıcaklığını daha da artırır. Ayrıca, kolektör tasarımı, emici yüzey boyunca hava akışını artıracak özellikler içerebilir ve böylece ısının bacadan yükselen havaya etkili bir şekilde aktarılmasını sağlar.

3.3 Isı Depolama Sistemi

Güneş bacası sistemine bir ısı depolama sisteminin entegrasyonu, sistemin işlevselliğini önemli ölçüde artırır. Bu, gece veya düşük güneş ışınımı dönemlerinde bile kesintisiz çalışmayı mümkün kılar (Ikhlef *et al.* 2022). Bu tür bir sistem, güneşin en yoğun olduğu saatlerde üretilen fazla ısı enerjisi depolar ve bu enerjiyi doğrudan güneş ısısının mevcut olmadığı durumlarda performansı sürdürmek veya artırmak için serbest bırakır. Bu amaçla, genellikle iki temel ısı depolama sistemi değerlendirilir: su tankları ve faz değişim malzemeleri (PCM'ler). Her ikisi de farklı avantajlar ve işletim dinamikleri sunar.

3.3.1 Su tankları

Su tankları, ısı depolama için büyük hacimli su kullanımını anlamına gelir. Suyun yüksek özgül ısı, onu mükemmel bir ısı depolama ortamı yapar. Gündüz, güneş kolektörü bacadaki havayı ısıtırken, bu sıcak hava, su tanklarına daldırılmış ısı değiştiriciler aracılığıyla ısıyı suya aktarabilir. Sıcaklık düştüğünde, yani gece veya bulutlu günlerde, suyun içinde depolanan ısı, aynı veya ayrı bir ısı değiştirici sistemi aracılığıyla havaya geri salınarak güneş bacasının çalışması için gerekli sıcaklık gradyanını sürdürür.

Bu yöntem, nispeten ucuz ve kolayca temin edilebilen bir malzeme olan sudan faydalanma avantajı sunar. Ancak, sistemin verimliliği ve kapasitesi doğrudan kullanılan su miktarına bağlıdır, bu da önemli bir alan gerektirebilir (Abdelsalam *et al.* 2024). Ayrıca, tasarım, soğuk iklimlerde suyun donması veya zamanla suyun buharlaşması gibi potansiyel sorunları dikkate almalı, bu da düzenli bakım veya yeniden doldurma gerektirebilir.

3.3.2 Faz değişim malzemeleri (PCM'ler)

PCM'ler, belirli sıcaklıklarda erime ve katılaşma süreçleri sırasında ısı enerjisi emen ve salan maddelerdir. Güneş bacasının ısı depolama sistemine entegre edildiğinde, PCM'ler, sıcaklıkta önemli bir artış olmaksızın büyük miktarda ısı depolayabilir. Yoğun güneş ışınımı sırasında fazla ısı, PCM'nin erimesini sağlamak için kullanılır ve böylece enerji etkin bir şekilde depolanır. Ortam sıcaklığı düştüğünde PCM, katılaşarak depolanan ısıyı serbest bırakır ve kolektör alanındaki hava sıcaklığını korur (Long *et al.* 2022).

PCM seçimi, faz değişim sıcaklığına bağlıdır ve ideal olarak güneş bacasının çalışma sıcaklık aralığında olmalıdır. Bu, PCM'nin sistemin verimliliği için faydalı sıcaklıklarda erimesini ve katılaşmasını sağlar. Çizelge 3.1, su, beton veya taş gibi yüksek özgül ısı kapasitesine sahip termal kütle malzemelerinin ısıyı nasıl emip tuttuğunu göstermektedir.

Çizelge 3.1 Termal kütle malzemeleri (Baggs and Mortensen 2006)

MALZEME	YOĞUNLUK (KG/M ³)	ÖZGÜL ISI KAPASİTESİ (K/KG·K)	HACİMSSEL ISI KAPASİTESİ (KJ/M ³ ·K)
Su	1000	4.186	4186
Beton	2240	0.920	2060
Taş (kumtaşı)	2000	0.900	1800
Sıkıştırılmış Toprak Bloklar	2080	0.837	1740
Rammed Toprak	2000	0.837	1673
Fiber Çimento Levha (sıkıştırılmış)	1700	0.900	1530
Tuğla	1700	0.920	1360
Toprak Duvar (kerpiç)	1550	0.837	1300
Otoklavlanmış Gazbeton (AAC)	500	1.100	550

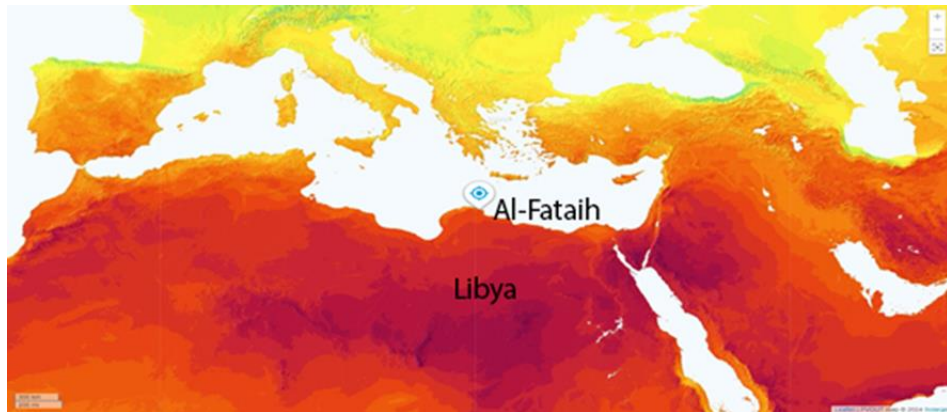
Faz değişim malzemeleri (PCM'ler), güneş bacası tasarımına çeşitli şekillerde entegre edilebilir, örneğin paneller içinde kapsüllenerek veya kolektör alanı çevresindeki yapı malzemelerine entegre edilerek. PCM'ler, su tanklarına kıyasla daha küçük bir hacimde daha verimli ısı depolama avantajı sunar ve zamanla daha kararlı bir ısı salınımı sağlar. Ancak, PCM'ler suya göre daha pahalı olma eğilimindedir ve performanslarını ve maliyet etkinliklerini optimize etmek için dikkatli bir seçim ve tasarım entegrasyonu gerektirebilir (Baggs and Mortensen 2006).

Bir ısı depolama sisteminin güneş bacası tasarımına dahil edilmesi, yalnızca sistemin çalışma saatlerini uzatmakla kalmaz, aynı zamanda sistemin genel termal performansını da artırarak, hem havalandırma hem de enerji üretim uygulamaları için daha esnek ve etkili bir çözüm sunar. Bu ekleme, güneş bacalarının yenilenebilir enerjiden yararlanma konusundaki yenilikçi potansiyelini ve sürdürülebilir yapı uygulamalarına katkısını vurgular.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Libya'nın tarihi kenti Darna'nın bir bölgesi olan Darna Al-Fataih, elverişli iklimiyle tanınmaktadır. Darna'nın nüfusu yaklaşık 100.000 kişi civarındadır (Motamedi 2023). Şekil 4.1'de gösterildiği üzere, bölgenin Akdeniz iklimi, sıcak ve kuru yazlar ile ılık ve yağışlı kışlar sunarak bol miktarda güneş ışığı sağlamaktadır. Bu durum, yenilikçi Güneş Bacası teknolojisi dahil olmak üzere güneş enerjisi projeleri için Darna Al-Fataih'i ideal bir konum haline getirmektedir. Darna Al-Fataih'teki elektrik sektörü, özellikle uzak bölgelerde güvenilirlik ve kapasite sorunlarıyla mücadele etmektedir. Bu durum, topluma istikrarlı ve sürdürülebilir enerji sağlayabilecek alternatif enerji çözümlerine olan acil ihtiyacı vurgulamaktadır. Darna Al-Fataih'in yenilenebilir enerji potansiyeli, hem iklimsel avantajları hem de güvenilir enerjiye olan acil ihtiyaç nedeniyle oldukça dikkat çekicidir. Güneş Bacası Teknolojisi, yüksek bir baca yapısında doğal bir yükselme etkisi kullanarak güneş enerjisinden elektrik üretmektedir ve bu teknoloji, bölgenin koşullarına oldukça uygundur. Yılda 3.200 saati aşan güneşlenme süresiyle, güneş bacaları verimliliği maksimize edebilir, yerel enerji şebekesini stabilize edebilir ve kesintileri azaltabilir. Darna Al-Fataih'te bir Güneş Bacası projesinin uygulanması, çevresel sürdürülebilirlik, enerji bağımsızlığı ve toplumsal güçlendirme gibi sayısız olumlu etkiye sahip olabilir. Bölgenin bol miktarda bulunan güneş enerjisi kaynaklarından yararlanarak, bu girişim benzer bağlamlardaki yenilenebilir enerji projeleri için bir model oluşturabilir ve daha sürdürülebilir ve enerji açısından güvenli bir geleceğin yolunu açabilir.



Şekil 4.1 Libya – Al-Fataih şehrinin konumu

4.1 Güneş Bacası Tasarımı ve Parametreleri

Güneş bacası tasarlanırken, ister havalandırma ister enerji üretimi amacıyla olsun, sistemin performansını ve verimliliğini garanti etmek için birkaç önemli sonuç ve kriterin analiz edilmesi ve hesaplanması gereklidir. Denklem (4.1), bir güneş bacası güç santralinin (SCPP) verimliliğini η_{scpp} hesaplamak için kullanılmaktadır (Al-Dabbas 2011):

$$\eta_{scpp} = \frac{\dot{m}C_p\Delta T}{A_{coll}G} \quad (4.1)$$

Where \dot{m} Bacanın içindeki sıcak havanın kütle akış hızı,; C_p Havaya özgül ısı kapasitesi; ΔT Kolektör içindeki sıcak hava ile çevre sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı; A_{coll} Kolektör alanı; and G Kolektöre gelen güneş ışınımı. Kütle akış hızı, Denklem (4.2) ile hesaplanabilir.

$$\dot{m} = V_{chi}A_{chi}\rho_{chi} \quad (4.2)$$

Where ρ_{chi} hava yoğunluğu, V_{chi} bacadaki hava hızı, and A_{chi} baca kesit alanı.

Denklem (4.2), Denklem (4.1) içine yerleştirildiğinde:

$$\eta_{scpp} = \frac{V_{chi}A_{chi}\rho_{ch}\dot{m}mp\Delta T}{A_{coll}G} \quad (4.3)$$

Ayrıca, baca tabanı ile çevre hava arasındaki basınç farkı, Denklem (4.4) kullanılarak hesaplanabilir (Ghulamchi et al. 2016):

$$\Delta p = 0.00353 gH \left(\frac{\pi G \eta_{scpp}}{C_{pm}} R_{coll}^2 - \frac{g}{2C_p} H + \frac{1}{2} \gamma H \right) \quad (4.4)$$

The variables in the Equation (3.4) are defined as g denotes the acceleration due to gravity, H indicates the chimney height, R_{coll} stands for the radius of the collector, and γ represents the lapse rate of air temperature.

Türbin üzerindeki basınç düşüşü, Denklem (4.5) ile belirlenebilir (Zhou *et al.* 2009):

$$\Delta p_t = \Delta p - \Delta p_f - \Delta p_{in} - \Delta p_{out} \quad (4.5)$$

Bacada basınç kaybı, Denklem (4.6) ile hesaplanır:

$$\Delta p_f = f \frac{H}{D} \frac{1}{2} \rho V_{chi}^2 \quad (4.6)$$

Burada: f sürtünme faktörü, D baca çapı, ρ hava yoğunluğu, and V_{chi} Bacanın girişindeki hava hızı.

Bacanın hava hızı (V_{chi}), Denklem (4.7) ile hesaplanabilir:

$$V_{chi} = \sqrt{\frac{2gH\Delta T}{T_o}} \quad (4.7)$$

Burada T_o ortam sıcaklığını temsil eder.

Giriş basınç kaybı Δp_{in} , Denklem (4.8) ile hesaplanır (Zhou *et al.* 2009):

$$\Delta p_{in} = \varepsilon_{in} \frac{1}{2} \rho V_{turbine-in}^2 \quad (4.8)$$

Burada ε_{in} Basınç kaybı katsayısı. $V_{turbine}$ Türbin girişindeki hız, Türbin giriş hızı $V_{turbine-in}$, Denklem (4.9) ile hesaplanır:

$$V_{turbine-in} = \sqrt{\frac{2gH\Delta T}{3T_o}} \quad (4.9)$$

Çıkış basınç kaybı Δp_{out} , Denklem (4.10) ile hesaplanır (Buğutekin 2012):

$$\Delta p_{out} = \varepsilon_{out} \frac{1}{2} p_{out} V_{chi,out}^2 \quad (4.10)$$

Burada $V_{chi,out}$, Denklem (4.11) ile hesaplanır (Zhou et al. 2009):

$$V_{chi,out} = V_{chi} \left(\frac{A_{ch}}{A_{chi,o}} \right) \quad (4.11)$$

Türbinin ürettiği elektrik gücü P_{out} , Denklem (4.12) ile belirlenir (Zhou et al. 2009):

$$P_{out} = \eta_{tg} \Delta P_t V_{chi,max} A_{chi} \quad (4.12)$$

Burada $V_{chi,max}$, bacadaki en yüksek hızı ifade eder ve Denklem (4.13) ile hesaplanır:

$$V_{chi,max} = \sqrt{\frac{2gH_{ch}\Delta T}{T_o}} \quad (4.13)$$

Bir SCPP'nin toplam verimliliği, Denklem (4.14) ile tanımlanır (Zhou et al. 2009):

$$\eta_{scpp} = \frac{P_{out}}{\pi R_{coll}^2 G} \quad (4.14)$$

Ayrıca, bir enerji santralının baca yüksekliğinin maksimum değeri, Denklem (4.15) ile hesaplanır:

$$H_{Max} = \frac{c_{pm}}{U\pi D} \ln \left(\frac{\pi^2 U D \eta_{coll} R_{coll}^2}{c_p \dot{m}^2 (g - \gamma_{\infty} c_p)} \right) \quad (4.15)$$

Burada η_{coll} , güneş kolektörü verimliliğini; U ise toplam ısı kaybı oranını ifade eder.

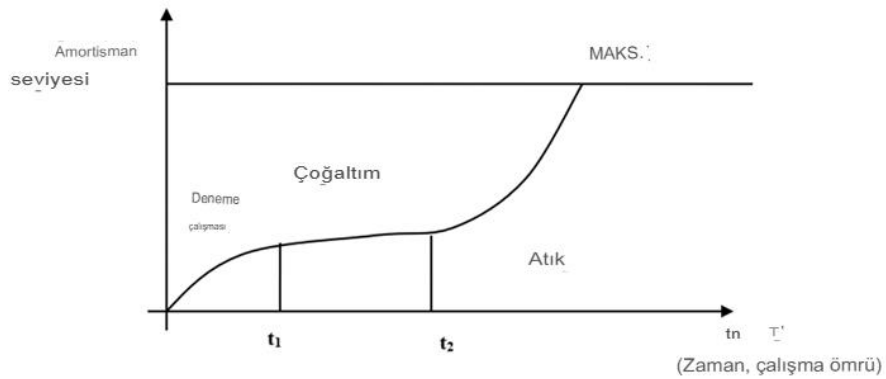
4.2 Türbülans Modeli

Türbülans modelleme, bir güneş ve rüzgar bacası sistemi içindeki akışkan akış davranışını doğru bir şekilde tahmin etmeyi mümkün kıldığı için kritik bir öneme sahiptir. Hem güneş kaynaklı hava hareketi hem de rüzgar akımları doğası gereği türbülanslı olduğundan, bu akış desenlerinin anlaşılması tasarımın optimize edilmesi ve sistem verimliliğinin artırılması açısından gereklidir. Doğru türbülans modellemesi, hava akışı dinamiklerini hassas bir şekilde tahmin etmemizi sağlar ve bu durum hibrit sistemin elektrik üretim verimliliğini doğrudan etkiler.

Prandtl sayısının (momentum yayınımları ile termal yayınımları arasındaki ilişkiyi ölçer) Grashof sayısı (kaldırma kuvveti ile viskozite arasındaki ilişkiyi ölçer) ile çarpılması, Denklem (4.16) ile türetilen Rayleigh Sayısını verir:

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (4.16)$$

Rayleigh sayısı, doğal taşınım veya kaldırma kuvveti ile ilişkilidir. Rayleigh sayısının büyüklüğü, kanalın içindeki akışın karakterini belirler. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, bir akış Rayleigh sayısı 10^7 küçükse laminer, 10^6 ile 10^7 arasında geçiş akışı ve 10^7 'den büyükse türbülanslı akış olarak kabul edilir (Teplická and Straka 2020).



Şekil 4.2 Akış tipi diyagramı (Teplická and Straka 2020)

Rayleigh sayısı, Denklem (4.17)'de olduğu gibi yazılabilir:

$$Ra = \frac{g\beta\Delta T}{\nu^2} L^3 . Pr \quad (4.17)$$

Bu denklemde yer alan değişkenler: β termal genleşme katsayısı, g yerçekimi ivmesi, ΔT Havaya giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı, ν Akışkanın kinematik viskozitesi ve L karakteristik uzunluk. Rayleigh sayısı $Ra=8 \times 10^8$ olarak belirlendiğinden, güneş bacasındaki akış tamamen türbülanslıdır.

4.2.1 K- ϵ standart türbülans modeli

Standart K- ϵ (K-Epsilon) türbülans modeli, türbülanslı akışı simüle etmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde (CFD) en yaygın kullanılan modellerden biridir. Bu model, türbülanslı akışların geniş bir yelpazesi için sağlamlığı, ekonomisi ve makul doğruluğu nedeniyle popülerdir. Denklem (4.18)'den Denklem (4.21)'e kadar olan denklemler, kinetik enerjinin hesaplanmasını göstermektedir (Rao 2017).

$$K = \frac{1}{2}(U^2 + V^2 + W^2) \quad (4.18)$$

$$K = \frac{1}{2}(\dot{u}^2 + \dot{v}^2 + \dot{w}^2) \quad (4.19)$$

$$k(t) = K + k \quad (4.20)$$

$$v_t \propto \vartheta \ell \propto k^{1/2} \frac{k^{3/2}}{\epsilon} = \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4.21)$$

Burda, ϵ -k'nin dağılım oranını ifade eder, v_t Kinematik türbülans viskozitesini temsil eder, ϑ Hız ölçeğini ifade eder, ℓ Uzunluk ölçeğini gösterir. K- ϵ modeli, Denklem (4.22) ve Denklem (4.23) kullanılarak türetilebilir.

K-ε modeli, Denklem (4.22) ve Denklem (4.23) kullanılarak türetilir.

$$\frac{\partial(uk)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_k)}{\partial r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{1}{\rho r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} r \frac{\partial k}{\partial r} \right) \right] + G_k - \varepsilon \quad (4.21)$$

$$\frac{\partial(u\varepsilon)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv\varepsilon)}{\partial r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{1}{\rho r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} r \right) \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 G_k - C_2 \varepsilon) \quad (4.23)$$

Sabitlerin değerleri aşağıdaki gibidir: $C_1 = 1.44$, $C_2 = 1.92$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $C_\mu = 0.09$, ve $\mu_t = C_\mu \rho k^2$. Değişken ε G_k , türbülans kinetik enerjisinin üretimini temsil eder ve Denklem (4.24)'te gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$G_k = -\mu_t \left(2 \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{v}{r} \right)^2 \right) + \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right) \quad (4.24)$$

4.3 Ekonomik Analiz

Bir güneş bacası projesi için maliyet analizi yapmak, yapım, bakım ve işletme ile ilgili tüm harcamaların titizlikle değerlendirilmesini, ayrıca yatırımın geri dönüş oranı (ROI) ve geri ödeme süresi (PBP) gibi temel metrikler aracılığıyla finansal uygulanabilirliğin incelenmesini içerir. Bu kapsamlı analiz, paydaşların projenin ekonomik etkilerini ve potansiyel kârlılığını anlamalarına yardımcı olur, böylece bilinçli kararlar almayı sağlar. Analiz, enerji üretimi ve elektrik fiyatlarına dayanarak yıllık gelirin hesaplanmasını, işletme maliyetleri dikkate alınarak net kârın belirlenmesini ve ilk yatırımın geri kazanılması için gereken geri ödeme süresinin tahmin edilmesini içerir. Ayrıca, yatırımın geri dönüş oranının (ROI) hesaplanması, projenin genel finansal performansı hakkında önemli bir fikir sunar. Bu faktörler değerlendirilerek, paydaşlar güneş bacası projesinin uzun vadeli uygulanabilirliğini ve faydalarını daha iyi anlayabilirler.

4.3.1 Maliyet analizi

Bir güneş bacası enerji santralının toplam maliyetleri, kredi anapara ve faiz ödemeleri, geri ödeme süresi, işletme ve bakım maliyetleri ile vergi giderleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenir.

4.3.1.1 Başlangıç yatırım maliyeti

Başlangıç yatırım maliyeti, yapı boyunca yapılan toplam harcama olarak ifade edilir C_C . Bu analizde, gerekli tüm yatırım giderlerinin bankalar tarafından sağlandığı ve kredilerin m'inci yılda geri ödeneceği varsayılmıştır. Kredilerin geri ödenmesi için iki temel yöntem bulunmaktadır:

- Eşit Faiz Geri Ödeme Kuralı
- Eşit Anapara Geri Ödeme Stratejisi

Eşit faiz geri ödeme kuralına göre, borçluların her ay kredinin sabit bir miktarını geri ödemesi gereklidir. Öte yandan, eşit anapara geri ödeme yöntemi, borçluların her ay eşit miktarda anapara ödemesine olanak tanır, ancak her ay değişen faiz oranlarıyla birlikte. Bu yaklaşım, düzenli aralıklarla sabit bir anapara miktarının geri ödenmesini içerir ve zamanla faiz giderlerinde kademeli bir azalma sağlar. Bu nedenle, eşit faiz geri ödeme politikasına göre toplam faiz gideri, eşit anapara geri ödeme yöntemine kıyasla daha fazladır. Zhou et al. (2009), güneş enerjisi tesisleriyle ilgili giderleri değerlendirmek için eşit faiz geri ödeme kuralını kullanmıştır. Ancak, faiz giderlerini en aza indirmek amacıyla, bu araştırma eşit anapara geri ödeme yöntemini tercih etmiştir. i'nci yılda geri ödenen ana miktar, C_P^i olarak gösterilmiştir. C_P^i 'nin hesaplanması Denklem (4.28) ile belirlenir.

$$C_P^i = \frac{C_C}{m} \quad (4.28)$$

Ayrıca, i 'nci yıl yapılan anapara ve faiz ödemelerinden sonra kalan borç miktarı C_D^i Denklem (4.29) ile ifade edilir:

$$C_D^i = C_C - (i - 1)C_P^i \quad (4.29)$$

i 'nci yıl biriken faiz miktarı C_I^i ise Denklem (4.30) ile belirlenir (Maia *et al.* 2013):

$$C_I^i = C_D^i r \quad (4.30)$$

Burada, i değişkeni payı temsil eder ve i değeri 1'den m 'ye kadar değişir, r ise kredi faiz oranını ifade eder.

4.3.1.2 Bakım ve işletme maliyeti

Bir güneş enerji santralının tüm hizmet ömrü boyunca tutarlı bir performans sağlamak için kolektör, baca ve güç kontrol ünitesinin (PCU) bakım ve onarımı için fon sağlanması gereklidir. Bu masraflar, işletme ve bakım maliyetleri olarak sınıflandırılır.

İlk yıl işletme ve bakım maliyeti, C_O^1 olarak ifade edilir ve bu maliyetin sabit bir enflasyon oranı θ ile arttığı varsayılır. k 'inci yıldaki işletme ve bakım maliyetinin hesaplanması, Denklem (4.31) ile belirlenir (Maia *et al.* 2013):

$$C_O^k = C_O^1(1 + \theta)^{k-1} \quad (4.31)$$

Burda, k eşit 1, ..., n

4.3.2 Fayda-maliyet analizi

Ekonomik analiz yapılırken, güneş enerjisi üreten tesislerin tüm hizmet ömrü boyunca her yıl için net nakit akışının bugünkü değerini hesaplamak önemlidir. İskonto oranının

seçimi, tesisin kârlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Zhou *et al.* (2009), enflasyon oranını dikkate alan geleneksel iskonto yöntemini kullanmıştır. Ancak, bu yaklaşım, projeye ilişkili riski dikkate almadığı için revize edilmelidir.

Bu inceleme, güneş bacası enerji santrallerinin 100 yılı aşkın hizmet sürelerine sahip olması gerçeğini göz önüne alarak, risk ayarlı iskonto oranı tekniğini kullanmaktadır. Risk ayarlı iskonto oranı tekniği, riski içermek ve ortalama iskonto oranını değiştirmek için net bugünkü değer yöntemini sermaye varlık fiyatlandırma yöntemiyle birleştirir. Denklem (4.32), risk ayarlı iskonto oranını ρ hesaplamak için kullanılır.

$$\rho = \mu + bQ \quad (4.32)$$

Burada μ , herhangi bir risk içermeyen iskonto oranını ifade ederken, b risk ve getiri arasındaki ilişki oranını temsil eder. Q ise risk seviyesini belirtmektedir. Bu bilgiler ışığında, k 'inci yıldaki net bugünkü değer (NPV) Denklem (4.33) ile hesaplanmaktadır.

$$NPV^k = \frac{B^k - C^k}{(1+\rho)^k} \quad (4.33)$$

Sonuç olarak, toplam net bugünkü değer (TNPV), Denklem (4.34) ile hesaplanır.

$$TNPV = \sum_{k=1}^n NPV^k \quad (4.34)$$

4.3.3 Yatırım getirisi

Libya'da bir güneş bacasının uygulanması, yenilenebilir enerji altyapısına yönelik önemli bir yatırım anlamına gelmektedir. Bu projenin Yatırım Getirisi'ni (ROI) belirlemek için, başlangıç sermaye maliyeti, işletme giderleri, enerji üretiminden elde edilen gelir ve çevresel faydalar gibi çeşitli faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

ROI'yi hesaplamadan önce, Denklem (4.35)'te olduğu gibi birkaç unsurun hesaplanması gereklidir.

$$C_0 = C_{\text{con}} + C_{\text{tech}} + C_{\text{land}} \quad (4.35)$$

Burada C_0 , güneş bacasının inşası ve devreye alınmasıyla ilgili tüm masrafları içermektedir. C_{con} , inşaat maliyetlerini, C_{tech} teknoloji ve ekipman maliyetlerini, C_{land} ise arazi edinim maliyetlerini ifade etmektedir.

Yıllık gelir R_a için, güneş bacası tarafından üretilen elektriğin satışından elde edilen toplam geliri hesaplamak amacıyla Denklem (4.36) kullanılmaktadır.

$$R_a = P_e \times S_p + I_a \quad (4.36)$$

Burada P_e , yıllık enerji üretimini (kWh), S_p , birim enerji başına satış fiyatını (kWh başına) ve I_a , yıllık mali teşvikleri veya sübvansiyonları temsil etmekte olup, dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir.

Güneş bacasının bakım ve işletme için tekrarlayan giderleri, Denklem (4.37) ile hesaplanmaktadır.

$$C_o = C_m + C_s + C_r \quad (4.37)$$

Burada C_o , yıllık işletme maliyetlerini, C_m , yıllık bakım maliyetlerini, C_s , personel maliyetlerini ve C_r , onarım maliyetlerini ifade etmektedir.

Yıllık gelirden işletme maliyetleri çıkarıldıktan sonra elde edilen yıllık kar, Denklem (4.38) ile hesaplanabilir (Miseviciute 2024).

$$P_n = R_a - C_o \quad (4.38)$$

Burada P_n , net yıllık karı ifade etmektedir.

Bir güneş bacası için Yatırım Getirisi (ROI), standart ROI formülü olan Denklem (4.39) kullanılarak hesaplanabilir (Hoymiles 2022).

$$ROI = \frac{P_n}{C_o} \times 100 \quad (4.39)$$

4.3.4 Geri ödeme süresi

Geri Ödeme Süresi, bir yatırımın maliyetine eşdeğer bir gelir veya nakit akışı oluşturmasının ne kadar zaman alacağını belirlemek için kullanılan önemli bir finansal göstergedir (Huang 2023). Bu metrik, bir yatırımın risk ve likiditesini değerlendirmek açısından özellikle faydalıdır, çünkü başlangıç sermaye harcamasının ne zaman geri kazanılacağına dair net bir zaman çizelgesi sunar. Geri ödeme süresi (P), Denklem (4.40) ile hesaplanmaktadır.

$$PP = \frac{C_o}{P_n} \quad (4.40)$$

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölüm, hibrit güneş bacası güç sisteminin tasarımı ve elektrik üretim verimliliği üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçları sunmaktadır. Bu alanlar, özellikle Libya'daki iklim koşulları ve yenilenebilir enerji potansiyeli göz önüne alındığında, sistemin genel performansı ve fizibilitesini belirlemede hayati bir rol oynamaktadır.

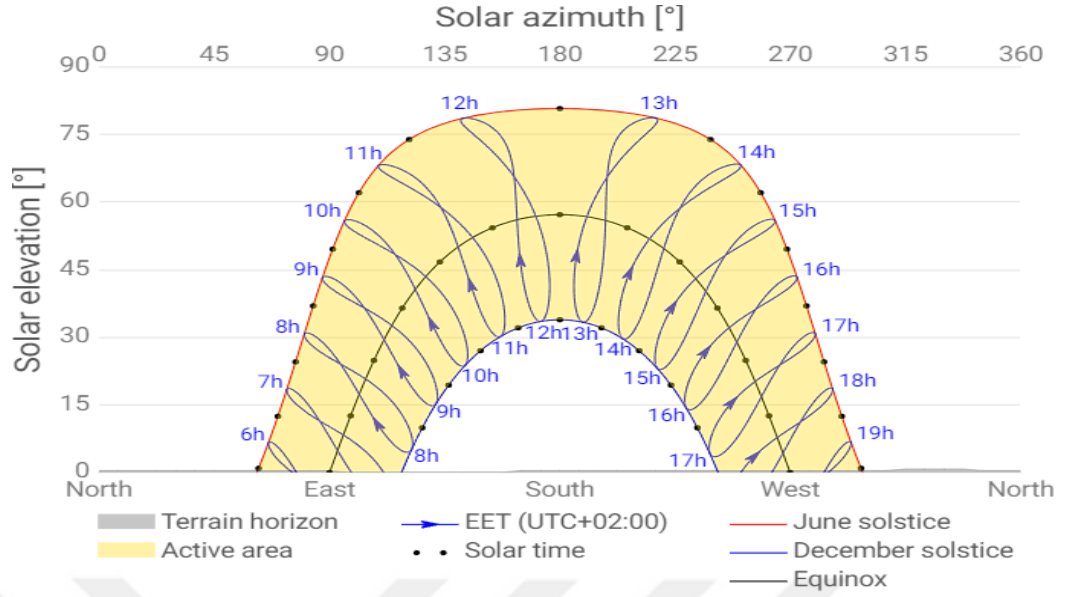
5.1 Güneş Işınımı Toplama

Libya'nın Derne El-Fetaih bölgesi için hazırlanan güneş diyagramı, yıl boyunca güneşin hareketini kapsamlı bir şekilde göstermektedir. Bu model, Derne El-Fetaih'teki günlük güneşlenme süresini anlamaya yönelik bir temel sağlayarak güneş enerjisi sistemlerinin planlanması için kritik öneme sahiptir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Bu çalışmaya önerilen konum (Libya - El-Fetaih bölgesi)

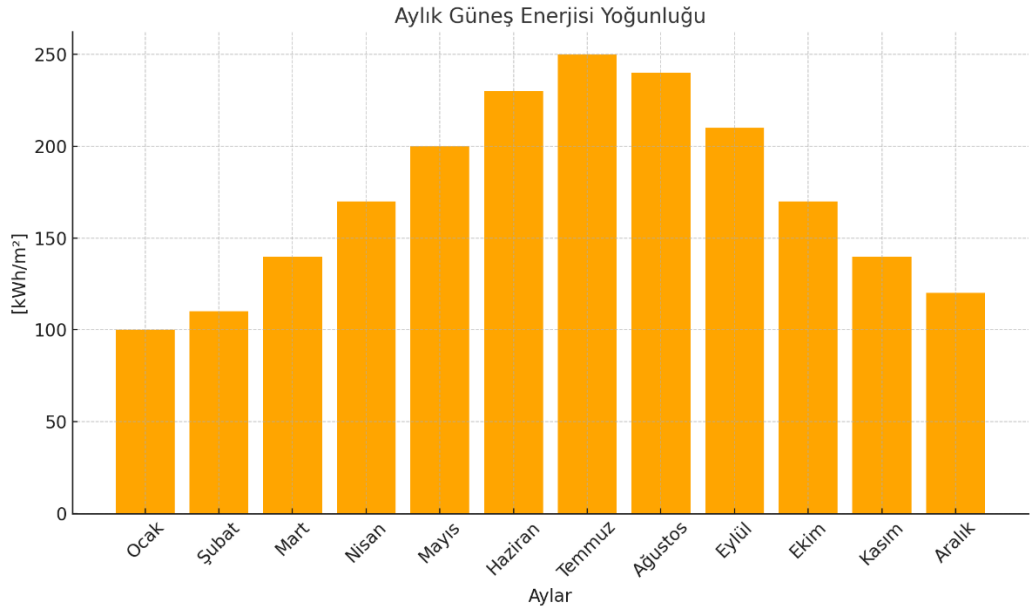
Şekil 5.2'de gösterildiği gibi, güneş yolundaki mevsimsel değişimler, ekinokslar, Haziran gündönümü ve Aralık gündönümü için belirgin çizgilerle işaretlenmiştir. Yaz gündönümünde güneş, gökyüzünde en yüksek yolu izleyerek en uzun günleri ve en yoğun güneş radyasyonunu sağlar. Buna karşılık, kış gündönümünde güneşin daha alçak bir yol izlemesi, daha kısa günlere ve azalan güneş radyasyonuna neden olur.



Şekil 5.2 Yükseklik [°] ve azimut [°] güneş diyagramı

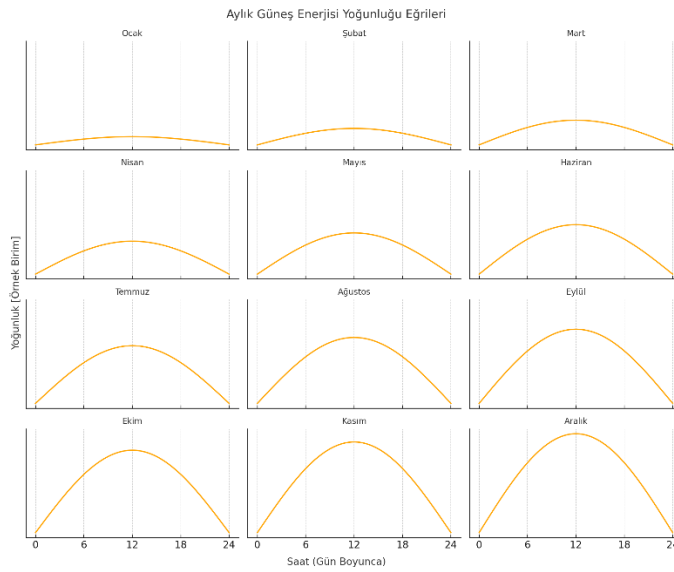
Libya'daki direkt normal ışınım (DNI) aylık ortalamaları, hibrit güneş ve rüzgar bacası güç sistemlerinin verimliliğini tasarlamak ve araştırmak için değerli veriler sunmaktadır. DNI, metrekare başına kilovat-saat (kWh/m²) cinsinden ölçülmekte olup, mevsimsel eğilimler yaz aylarında en yüksek, kış aylarında ise en düşük değerleri göstermektedir. Bu değişimler, hibrit sistemlerin tasarımını ve verimliliğini önemli ölçüde etkileyerek dikkatli planlama ve optimizasyon gerektirmektedir.

Şekil 5.3'te gösterildiği gibi, kış aylarında (Aralık-Şubat) gün ışığı saatlerinin daha kısa olması ve güneşin daha düşük bir açıyla hareket etmesi nedeniyle DNI değerleri düşüktür ve ortalama yaklaşık 100 kWh/m²'dir. Hibrit sistemler, kış aylarında azalan güneş girdisini telafi etmek için rüzgar enerjisini entegre edecek şekilde tasarlanmalıdır; çünkü rüzgar modelleri genellikle azalan güneş enerjisi üretimini tamamlayıcı niteliktedir. Enerji depolama çözümleri, örneğin piller, yüksek DNI dönemlerinde üretilen fazla enerjiyi depolayarak bu aylarda kullanım için hazır hale getirebilir..



Şekil 5.3 Aylık ortalama direkt normal ışınım

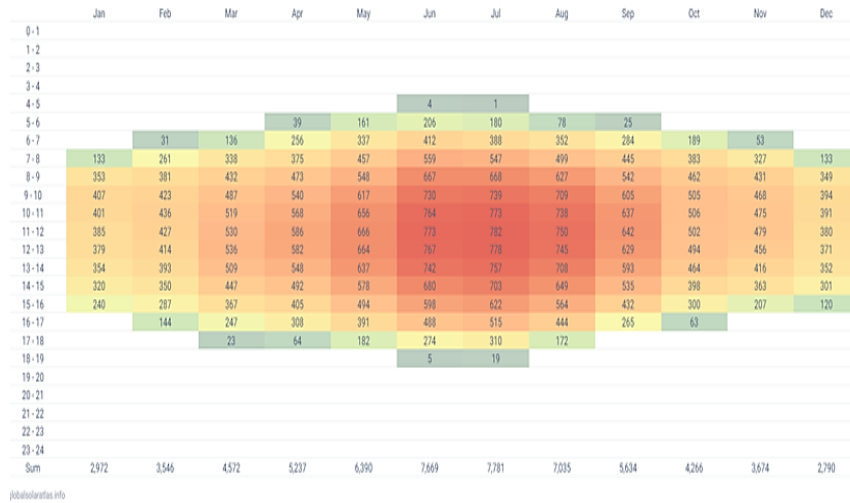
İlkbahar ve sonbahar aylarında (Mart, Nisan, Eylül, Ekim), DNI değerleri orta seviyelerde olup, ilkbaharda kademeli olarak artış, sonbaharda ise azalış göstermektedir ve 150 ila 200 kWh/m² arasında değişmektedir. Sistem optimizasyonu, güneş bacalarının yeterli termal çekişi sağlayarak türbinleri çalıştırmasını ve istikrarlı bir enerji kaynağı sağlamak için rüzgar enerjisinin entegre edilmesini optimize ederek başarılabilir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 12 Ay için direkt normal ışınım (Wh/m²)

DNI'nin en yüksek olduğu aylarda, hibrit sistemler, baca etkisini artıran ve türbinlerin daha verimli çalışmasını sağlayan malzemeler ve yapılandırmalarla tasarlanan güneş bacaları sayesinde maksimum verimliliğe ulaşabilir. Ayrıca, güneş panellerinin maksimum güneş ışığını yakalamasını sağlamak için güneş takip sistemleri de entegre edilebilir.

Güneş radyasyonunun saatlik ortalama profili (Şekil 5.5), hibrit güneş ve rüzgar bacası güç sistemlerinin optimizasyonu için hayati önem taşır. Kış aylarında, güneş radyasyonu genellikle öğle saatlerinde yoğunlaşır ve sabah erken saatlerde ve akşam geç saatlerde daha düşük seviyelerde gözlemlenir. Güneş bacaları, öğle saatlerindeki güneş ışığını pasif ısıtma için maksimum düzeyde yakalayacak şekilde tasarlanabilirken, rüzgar enerjisi daha düşük radyasyon saatlerinde destek sağlayabilir. İlkbahar ve sonbahar aylarında, güneş radyasyonu sabah erken saatlerden akşam geç saatlere kadar daha eşit bir şekilde dağılır. Hibrit sistemler, bu uzun zaman diliminde güneş radyasyonunu yakalamak ve kullanmak için optimize edilmeli ve güneş bacaları ile rüzgar türbinleri birlikte çalışarak enerji üretimini dengeleyebilmelidir. Yaz aylarında ise sabah erken saatlerden akşam geç saatlere kadar yüksek güneş radyasyonu gözlemlenir ve en yüksek değerler öğle saatlerinde meydana gelir. Güneş bacaları, yüksek termal çekişleri işleyebilecek şekilde tasarlanmalı ve maksimum enerji yakalaması için güneş takip sistemleri ile donatılmalıdır.



Şekil 5.5 Saatlik ortalama profil

Çizleğe 5.1, Libya'nın Derne El-Fetaih bölgesindeki güneş enerjisi potansiyelini ve güneş enerjisi sistemlerinin performansını etkileyen faktörleri kapsayan kapsamlı bir özet sunmaktadır. Tablo, aşağıdaki çeşitli parametreleri içermektedir: Özgül Fotovoltaik Güç Çıkışı (PVOUT Specific), Direkt Normal Işınım (DNI), Global Yatay Işınım (GHI), Dağılık Yatay Işınım (DIF), Optimum Açıdaki Eğik Global Işınım (GTI Opta) ve Fotovoltaik Modüllerin Maksimum Eğimi (OPTA).

Çizleğe 5.1 Önerilen çalışma alanı için yıllık harita verileri – Libya, Derne El-Fetaih (Atlas 2024)

Özgül Fotovoltaik Güç Çıkışı	PV _{OUT} özel - kWh/kWp	1690.7
Direkt Normal Işınım	DNI - kWh/m ²	1886.7
Global Yatay Işınım	GHI - kWh/m ²	1935.0
Dağılık Yatay Işınım	DIF - kWh/m ²	711.8
Optimum Açıdaki Eğik Global Işınım	GTI opta - kWh/m ²	2118.0
Fotovoltaik Modüllerin Optimum Eğimi	OPTA	27/180
Hava Sıcaklığı	TEMP - °C	18.2
Arazi Yüksekliği	ELE - M*	359

Sunulan veriler, Libya'nın El-Fetaih bölgesinde düz bir yüzeyde mevcut olan toplam güneş enerjisi miktarını temel alarak, bu bölgedeki güneş enerjisi üretim potansiyelini ortaya koymaktadır. Yüksek DNI değeri, özellikle güneşi takip edebilen ve ışınlarını yoğunlaştırabilen sistemler için önemli bir güneş enerjisi üretim potansiyeline işaret etmektedir. GHI değeri, düz bir yüzeyde mevcut olan toplam güneş enerjisi miktarının temelini sağlarken, dağılık bileşen, güneş ışığının bulutlar, toz veya diğer atmosferik koşullar nedeniyle engellendiği durumlarda PV sistemlerinin potansiyelini anlamak açısından kritik bir öneme sahiptir.

5.2 Hava Parametreleri

Hibrit güneş bacası güç sisteminin verimliliği ve performansı, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi çeşitli hava parametrelerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu faktörler, güneş ve rüzgar kaynaklarından elde edilebilecek enerji miktarını doğrudan belirler. Önerilen sistemin performans analizinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için Ocak ayından Haziran ayına kadar günün farklı saatlerinde temel metrikleri içeren hava verileri toplanmıştır.

Aşağıdaki Çizlege 5.2 ile Çizlege 5.7, bu aylardaki güneş ışınımı (W/m^2 cinsinden), sıcaklık ($^{\circ}C$ cinsinden) ve rüzgar hızı (m/s cinsinden) ile ilgili ayrıntılı saatlik kayıtları sunmaktadır. Her tablo, bu parametrelerin gün boyunca değişimlerini, ölçülen toplam güneş radyasyonu, hesaplanan güneş radyasyonu, dış uzay günlük güneş radyasyonu ve diğer ilgili oranlar ve ortalamalar ile birlikte göstermektedir (EK1).

Çizlege 5.2, Ocak ayındaki hava koşullarına dair ayrıntılı bir analiz sunmaktadır ve güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı üzerine odaklanmaktadır. Güneş ışınımı sabah 08:00'de $120 W/m^2$ olarak başlamakta ve saat 13:00'te $560 W/m^2$ 'ye kadar yükselmektedir. Günlük toplam güneş radyasyonu $17,30 MJ/m^2$ iken, dış uzay günlük güneş radyasyonu (H_0) $34,60 MJ/m^2$ gibi önemli ölçüde daha yüksek bir değere sahiptir. Güneş radyasyonunun 11:00 ile 14:00 arasındaki zirve noktası, güneş enerjisi üretimi için en uygun dönemdir. Gün boyunca ortalama sıcaklık $16,70^{\circ}C$ olup, bu değer Libya'daki kış mevsimi için tipik bir özelliktir.

Çizlege 5.2 Ocak 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı

Gündüz	Güneş Radyasyonu (W/m^2)	Sıcaklık ($^{\circ}C$)	Rüzgar Hızı (m/s)
Güneşin doğuşu 07:30			
08:00	120.0	12.0	3.5
09:00	240.0	13.0	4.0
10:00	360.0	15.0	4.5
11:00	480.0	18.0	5.0
12:00	540.0	20.0	5.0
13:00	560.0	21.0	5.0
14:00	540.0	20.0	4.5
15:00	420.0	18.0	4.0
16:00	240.0	16.0	3.5
17:00	120.0	14.0	3.0
Gün batımı 17:50			

Bu sıcaklık aralığı, fotovoltaik hücrelerin aşırı ısınmasından kaynaklanan kayıplar olmadan güneş enerjisi üretiminde kararlılığı korumaya yardımcı olur. Gün boyunca rüzgar hızı $4.20 m/s$ olup, rüzgar enerjisi üretimine sürekli bir katkı sağlar. Ocak ayı için toplam enerji potansiyeli $17.30 MJ/m^2$ 'dir ve atmosferik sönümlenme, enerji kullanılabilirliğini etkileyen bir faktördür.

Çizleğe 5.3'e göre, sistemin maksimum enerji çıktısı 11:00 ile 14:00 saatleri arasında, en yüksek güneş radyasyonu seviyeleri ile aynı dönemde gerçekleşmektedir. Enerji depolama stratejileri, bu süre zarfında üretilen fazla enerjinin yakalanması ve daha düşük radyasyon dönemlerinde kullanılmak üzere depolanmasına odaklanmalıdır. Şubat ayındaki ortalama günlük sıcaklık 16.70°C olup, sabah sıcaklıkları 10°C'den başlayarak saat 13:00'te 19.5°C'ye kadar yükselmektedir. Rüzgar hızı, sabah 08:00'de 4.0 m/s olarak başlamış ve 11:00'de 5.5 m/s ile zirveye ulaşmıştır, bu da sabah saatlerinde rüzgar bacası sisteminin enerji üretimine önemli bir katkı sağlamasına olanak tanımıştır. Hibrit sistem, hem güneş hem de rüzgar kaynaklarından dengeli bir katkı ile elverişli koşullar altında çalışmaya devam etmektedir.

Çizleğe 5.3 Şubat 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışıınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı

Gündüz	Güneş Radyasyonu (W/m ²)	Sıcaklık(°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
Güneşin doğuşu 07:30			
08:00	100	10	4
09:00	200	11	4
10:00	300	13	4.5
11:00	400	15	5.5
12:00	450	18	5.2
13:00	460	19.5	5.3
14:00	450	19	5
15:00	350	18	4
16:00	200	16	3.8
17:00	100	14	4
Gün batımı 17:50			

Şubat ayında, hibrit güneş ve rüzgar bacası güç sisteminin enerji üretim performansı, güneş ışıınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı değişimlerinden etkilenmiştir. Güneş ışıınımı saat 08:00'de 100 W/m² olarak başlamış ve saat 13:00'te 460 W/m²'ye yükselmiştir. Ölçülen toplam güneş radyasyonu 17.30 MJ/m² iken, hesaplanan değer daha düşük, 10.84 MJ/m² olarak kaydedilmiştir. Dış uzay günlük güneş radyasyonu (H₀) ise sabit bir değer olan 34.60 MJ/m² olarak kalmış ve bu durum H/H₀ oranının 0.50 olarak belirlenmesine yol açmıştır.

Çizleğe 5.4'ten, Mart ayına ait veriler, Ocak ve Şubat aylarına kıyasla daha yüksek sıcaklıklar, artan rüzgar hızları ve daha elverişli bir güneş ışıınımı profiline doğru bir geçişi göstermektedir. Mart ayı, önceki aylara kıyasla daha tutarlı ve yüksek güneş ışıınımı

sunmakta olup, 11:00 ile 14:00 saatleri arasındaki güneş ışınımının zirve yaptığı saatler, enerji hasadı için en iyi fırsatı sağlamaktadır. Gün boyunca güneş ışınımı değerlerindeki hafif artış, Mart ayında hibrit sistem için güneş enerjisi üretimi potansiyelinin iyileştiğine işaret etmektedir.

Mart ayında rüzgar hızı, Ocak ve Şubat aylarına göre daha yüksektir ve gün boyunca ortalama 5.2 m/s olarak kaydedilmiştir. Bu daha yüksek rüzgar hızları, zirve güneş ışınımı saatleriyle örtüşerek hem güneş hem de rüzgar bileşenlerinden artan enerji üretimi sağlamaktadır. Mart ayının elverişli hava koşulları, hem güneş hem de rüzgar katkıları açısından hibrit sistem için enerji üretim potansiyelinin iyileştiği kilit bir ay haline getirmektedir.

Çizlege 5.4 Mart 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı

Gündüz	Güneş Radyasyonu (W/m ²)	Sıcaklık(°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
Güneşin doğuşu 06:30			
07:00	80	15	4
08:00	150	16	4.5
09:00	250	18	5
10:00	350	20	5.5
11:00	450	22	6
12:00	500	24	6
13:00	510	25	5.8
14:00	500	24	5.9
15:00	400	21	6
16:00	300	19	5
17:00			
Gün batımı 18:30			

Mart ayında, gün boyunca ölçülen toplam güneş radyasyonu 17.30 MJ/m², hesaplanan güneş radyasyonu ise 12.56 MJ/m² olarak kaydedilmiştir. Dış uzay günlük güneş radyasyonu (H₀) sabit bir değer olan 34.60 MJ/m² olarak kalmış ve H/H₀ oranı 0.50 olarak hesaplanmıştır.

Çizlege 5.5, Nisan ayında güneş radyasyonu, sıcaklık ve rüzgar hızında önceki aylara kıyasla devam eden bir artış olduğunu göstermektedir. Bu durum, hibrit güneş ve rüzgar bacası güç sistemi için daha verimli enerji üretimi ile sonuçlanmaktadır. Nisan ayında güneş radyasyonu seviyeleri, Mart ayına kıyasla biraz daha yüksek olup, 11:00 ile 13:00

saatleri arasında radyasyon seviyelerinin 500 W/m^2 'yi aştığı daha uzun bir zirve dönemi gözlemlenmiştir.

Nisan ayında sıcaklık 23.64°C 'ye yükselmiştir; sabah erken saatlerde 18°C ile başlayan sıcaklıklar, saat 13:00 civarında 28°C ile zirveye ulaşmıştır. Daha yüksek sıcaklıklar, güneş panelleri için verimli çalışma aralığında kalmakla birlikte, öğle saatlerinde aşırı ısınmaya bağlı verimlilik kayıplarını önlemek için dikkatli olunması gerekmektedir. Sıcaklık ile güneş radyasyonu arasındaki korelasyon güçlü bir şekilde devam etmekte olup, her ikisi de öğle saatlerinde maksimum değerlerine ulaşmakta ve sistemin zirve güneş radyasyonu saatlerinde yüksek verimliliğini korumasını sağlamaktadır.

Nisan ayında rüzgar hızı, Mart ayına kıyasla hafif bir düşüş göstererek gün boyunca ortalama 5.09 m/s olarak kaydedilmiştir. İstikrarlı rüzgar hızları ile öğle saatlerindeki yüksek güneş radyasyonunun kombinasyonu, hibrit sistem için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu, sistemin her iki kaynaktan da eş zamanlı enerji üretmesini mümkün kılarak toplam enerji üretimini artırmaktadır. Güneş panellerindeki daha yüksek sıcaklıkların neden olduğu potansiyel verimlilik kayıpları, zirve güneş saatlerinde yüksek rüzgar hızları ile telafi edilmektedir..

Çizge 5.5 Nisan 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı

Gündüz	Güneş Radyasyonu (W/m^2)	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	Rüzgar Hızı (m/s)
Güneşin doğuşu 06:00			
07:00	100	18	4.0
08:00	200	19	4.5
09:00	300	21	5.0
10:00	400	23	5.5
11:00	500	25	6.0
12:00	550	27	6.0
13:00	560	28	6.0
14:00	550	27	5.5
15:00	450	26	5.0
16:00	350	24	4.5
17:00	200	22	4.0
Gün batımı 19:00			

Nisan ayında ölçülen toplam güneş radyasyonu 17.30 MJ/m^2 iken, hesaplanan toplam değer biraz daha düşük olup 14.98 MJ/m^2 olarak kaydedilmiştir. H/H_0 oranı 0.50 olarak

kalmış, bu da atmosferik sönümlenmenin hala mevcut olduğunu, ancak sistemin mevcut güneş enerjisinin önemli bir kısmını kullanabildiğini göstermektedir. Ortalama sıcaklık 23.64°C ve rüzgar hızı 5.09 m/s, özellikle her iki enerji kaynağının da en yüksek seviyede olduğu öğle saatlerinde enerji üretimi için elverişli koşullar sağlamaktadır.

Mayıs ayı, yüksek güneş ışınımı seviyeleri, sıcak hava ve tutarlı rüzgar hızı nedeniyle hibrit güneş ve rüzgar bacası güç sistemi için elverişli bir aydır. Güneş radyasyonu saat 06:00'da 150 W/m² olarak başlamış ve saat 13:00'te hızlı bir artışla 710 W/m²'ye ulaşarak güneş enerjisi üretimi için en uygun dönemi işaret etmiştir. Mayıs ayında sıcaklıklar önceki aylara göre belirgin bir artış göstermiş ve günlük en yüksek sıcaklık saat 13:00'te 35°C olarak kaydedilmiştir. Mevcut bol güneş enerjisi sayesinde sistem etkili bir şekilde çalışmaya devam edebilir. Güneş panellerindeki ısı kaybını azaltmak için uygun soğutma mekanizmaları faydalı olacaktır.

Rüzgar hızı gün boyunca oldukça tutarlı kalmış ve zirve güneş radyasyonu saatlerinde 4.5 ila 6 m/s arasında bir ortalama rüzgar hızı gözlemlenmiştir. En yüksek enerji üretimi, güneş radyasyonunun 550 W/m²'yi aştığı ve rüzgar hızının 5 m/s'nin üzerinde kaldığı 10:00 ile 14:00 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Uzun güneşlenme saatleri ve nispeten sabit rüzgar hızları, gün boyunca sürekli enerji üretimi için bir fırsat sunmaktadır (Çizgele 5.6).

Çizgele 5.6 Mayıs 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgar hızı

Gündüz	Güneş Radyasyonu (W/m ²)	Sıcaklık(°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
Güneşin doğuşu 05:30			
06:00	150	22	3.5
07:00	250	24	4
08:00	350	26	4.5
09:00	450	28	5
10:00	550	30	5.5
11:00	650	32	6
12:00	700	34	6
13:00	710	35	5
14:00	700	33	5
15:00	600	31	4.5
16:00	450	29	4
17:00	300	28.8	4.2
Gün batımı 20:00			

Mayıs ayındaki güneş radyasyonu, sıcaklık ve rüzgar hızı verileri, hibrit bir güneş enerji sisteminin performansı hakkında değerli bilgiler sunmaktadır. Ölçülen toplam güneş radyasyonu 17.30 MJ/m^2 iken, hesaplanan toplam değer 21.10 MJ/m^2 olarak kaydedilmiştir. Sistem, mevcut dış uzay güneş radyasyonunun yarısını yakalamaktadır. Ortalama günlük sıcaklık 29.40°C olup yaz koşullarını göstermektedir. Yüksek sıcaklıklar güneş panellerinin verimliliğini azaltabilir, ancak bol güneş enerjisi güçlü bir çıktı sağlamaya devam etmektedir. Özellikle günün en sıcak saatlerinde, uygun soğutma mekanizmaları veya havalandırma sistemleri verimliliği artırabilir.

Ortalama rüzgar hızı 4.77 m/s olup, sabah geç saatler ve öğleden sonra erken saatlerde 6 m/s ile zirve yapmaktadır. Bu rüzgar enerjisi, hibrit sistemin güneş bileşenine önemli bir katkı sağlamakta ve sistemin, en yüksek sıcaklık dönemlerinde bile gün boyunca verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

Çizge 5.7'ye göre, Haziran ayına ait veriler, hibrit güneş ve rüzgar bacası güç sistemi için yüksek güneş radyasyonu, artan sıcaklıklar ve tutarlı rüzgar hızları ile en uygun koşulları göstermektedir. Güneş radyasyonu saat $06:00$ 'da 200 W/m^2 olarak başlayıp, saat $13:00$ 'te 860 W/m^2 ile zirveye ulaşmakta ve $05:00$ ile $20:30$ arasındaki uzun gündüz saatleri enerji toplama için geniş bir süre sunmaktadır. Sıcaklıklar öğle saatlerinde 39°C 'ye kadar yükselmekte ve bu termal etkiler nedeniyle güneş panellerinin verimliliğinde hafif bir düşüşe neden olabilese de, sistem yüksek güneş radyasyonu seviyelerinden yararlanmaya devam etmektedir.

Rüzgar hızları, ortalama 5.5 m/s olup, en üretken saatler olan $11:00$ ile $14:00$ arasında 6.0 m/s ile zirve yapmaktadır ve güneş çıktısını tamamlayan istikrarlı bir enerji katkısı sağlamaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi arasındaki sinerji, özellikle yüksek sıcaklık dönemlerinde, rüzgar enerjisinin güneş paneli verimliliğindeki potansiyel düşüşü telafi etmesiyle, sistemin gün boyunca verimli çalışmasını garanti etmektedir. Genel olarak, Haziran, her iki kaynağın da en yüksek seviyede olduğu öğle saatlerinde en iyi performansla enerji üretimi açısından en elverişli aylardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Çizge 5.7 Haziran 2024 ayında El-fetaih şehrinde güneş ışınlımı, sıcaklık ve rüzgar hızı

Gündüz	Güneş Radyasyonu (W/m ²)	Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
Güneşin doğuşu 05:00			
06:00	200	26	3.5
07:00	300	28	4
08:00	400	30	4.5
09:00	500	32	5
10:00	700	34	5.5
11:00	800	36	6
12:00	850	38	6
13:00	860	39	6
14:00	850	38.5	5.5
15:00	750	37	5
16:00	600	35	4.5
17:00	400	33	4
Gün batımı 20:30			

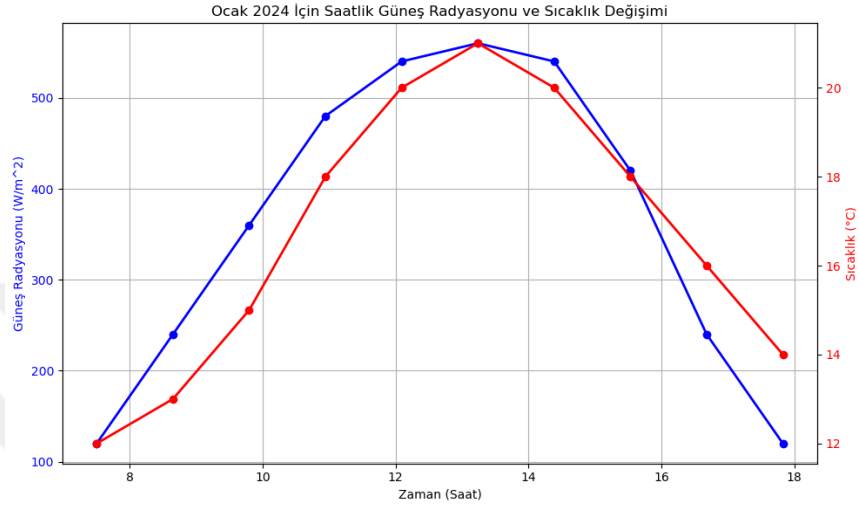
Haziran ayında ölçülen toplam güneş radyasyonu (H) 17.30 MJ/m² iken, hesaplanan güneş radyasyonu H_{total} 25.96 MJ/m² olarak kaydedilmiş olup, ideal koşullar altında daha fazla enerji toplama potansiyelini göstermektedir. Dış uzay günlük güneş radyasyonu (H_0) sabit bir değer olan 34.60 MJ/m² olarak kalmış ve H/H_0 oranı 0.50 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, atmosferik etkiler (örneğin toz veya nem) nedeniyle sistemin mevcut güneş enerjisinin yaklaşık yarısını yakalayabildiğini göstermektedir. Gün boyunca ortalama sıcaklık 33.88°C'ye ulaşmakta olup, bu durum güneş panellerinin enerji dönüşüm verimliliğini azaltabilecek bir etki yaratabilir. Buna rağmen, yüksek güneş radyasyonu ve tamamlayıcı rüzgar enerjisi kombinasyonu, Haziran ayında hibrit sistemin etkili bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır..

5.3 Günlük Ortam Sıcaklığı ve Güneş Radyasyonu Değişimi Analizi

Dünya, yaklaşık 365 günlük bir dönemde güneşin etrafında dönerek, sıcaklık ve küresel güneş radyasyonu seviyelerinde belirgin değişimlerle karakterize edilen dört mevsimi üretir. Ayrıca, Dünya'nın eksenini etrafında her 24 saatte bir dönüşü, gece ve gündüz döngüsüne neden olur. Bu doğal olaylar, ortam sıcaklığı ve güneş enerjisi kullanılabilirliği koşullarını etkiler.

Ocak ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı, hibrit güneş ve rüzgar bacası güç sistemi için elverişli olan ılımlı koşulları göstermektedir. Gün boyunca ortalama

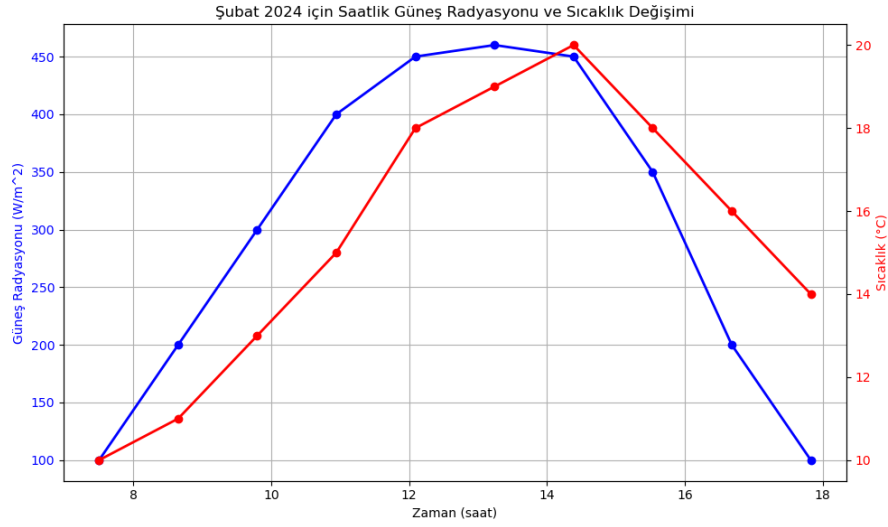
sıcaklık 16.70°C olup, bu değer güneş panellerinin verimli çalışması için uygun bir aralıktadır, çünkü daha yüksek sıcaklıklar verimlilik kaybına yol açabilir. Gün boyunca ortalama güneş radyasyonu 362.00 W/m² olup, dönüşüm için sabit bir güneş enerjisi seviyesini yansıtmaktadır (Şekil 5.6) (EK2).



Şekil 5.6 Ocak ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı

Ocak ayında, daha sıcak aylara kıyasla güneş radyasyonu daha düşük seviyelerde olmasına rağmen, sabit radyasyon seviyeleri ve ılıman sıcaklıklarla birleştiğinde enerji üretimi için istikrarlı bir temel sağlamaktadır. Ocak ayındaki nispeten ılımlı koşullar, sistemin etkili bir şekilde çalışmasını, yeterli güneş enerjisinin yakalanmasını ve ısı kaynaklı verimlilik kayıplarının önlenmesini garanti etmektedir.

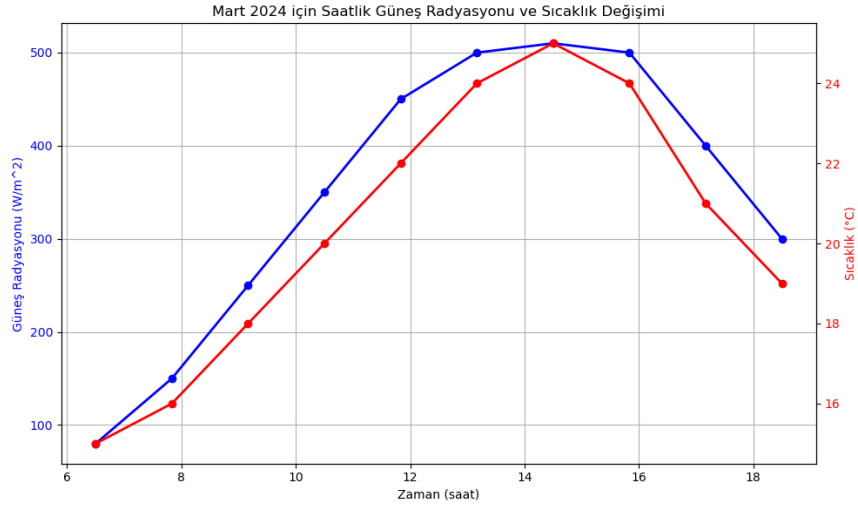
Şekil 5.7’de gösterildiği gibi, Şubat ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı, ılımlı mevsimsel koşulları yansıtmaktadır. Gün boyunca ortalama sıcaklık 15.35°C olup, güneş panellerinin verimliliğini olumsuz etkileyebilecek daha yüksek sıcaklıkların neden olduğu kayıpları önleyerek ideal çalışma aralığı içinde kalmaktadır..



Şekil 5.7 Şubat ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı

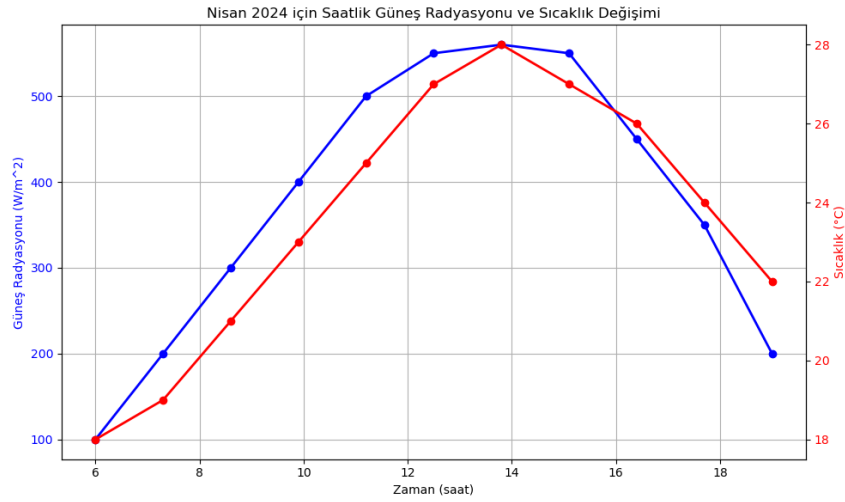
Gün boyunca ortalama güneş ışınımı $301,00 \text{ W/m}^2$ olup, bu değer Ocak ayına kıyasla biraz daha düşük bir güneş enerjisi seviyesini işaret etmektedir. Güneş ışınımı seviyeleri güneş enerjisi sisteminin çalışması için yeterli olsa da, genellikle ilkbahar ve yaz aylarında daha yüksek verimlilik sağlanmaktadır. Bununla birlikte, Şubat ayındaki bu dağılım, enerji üretiminin istikrarlı bir şekilde devam etmesini desteklemekte ve ılıman sıcaklıklar verimlilik kayıplarını en aza indirmeye yardımcı olmaktadır.

Mart ayında ortam sıcaklığı öğle saatlerinde zirve yaparak maksimum 25°C 'ye ulaşırken, güneş radyasyonu da aynı zamanda en yüksek noktasına çıkarak 510 W/m^2 seviyesine ulaşmaktadır. Bu grafik, her iki parametrenin gün boyunca nasıl dalgalandığını göstermekte ve her ikisinin de en yüksek olduğu öğle saatlerinin güneş enerjisi üretimi için en uygun dönem olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Mart ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı

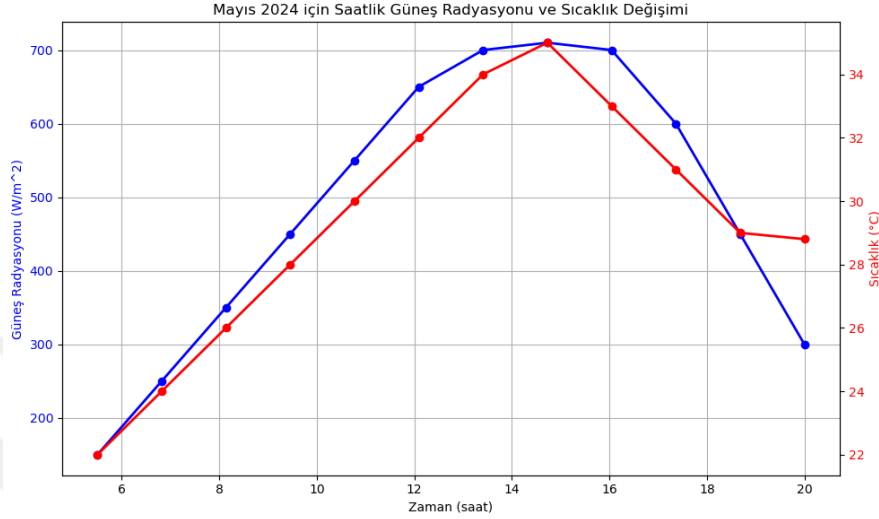
Nisan ayında sıcaklık kademeli olarak artarak öğle saatlerinde yaklaşık 28°C ile zirveye ulaşırken, güneş radyasyonu aynı zamanda maksimum seviyesine çıkarak 560 W/m²'ye ulaşmaktadır. Grafik, zirve güneş radyasyonu ve sıcaklık arasındaki uyumu göstererek, öğle saatlerinde enerji üretimi için en uygun koşulları işaret etmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Nisan ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı

Şekil 5.10'a göre, Mayıs ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu önceki aylara kıyasla önemli bir artış göstermekte ve bu dönemi güneş enerjisi üretimi için oldukça verimli hale getirmektedir. Gün boyunca ortalama sıcaklık 29.40°C olup, sabah erken saatlerde 22°C'den başlayarak öğle saatlerinde (yaklaşık 13:00) 34°C ile zirveye

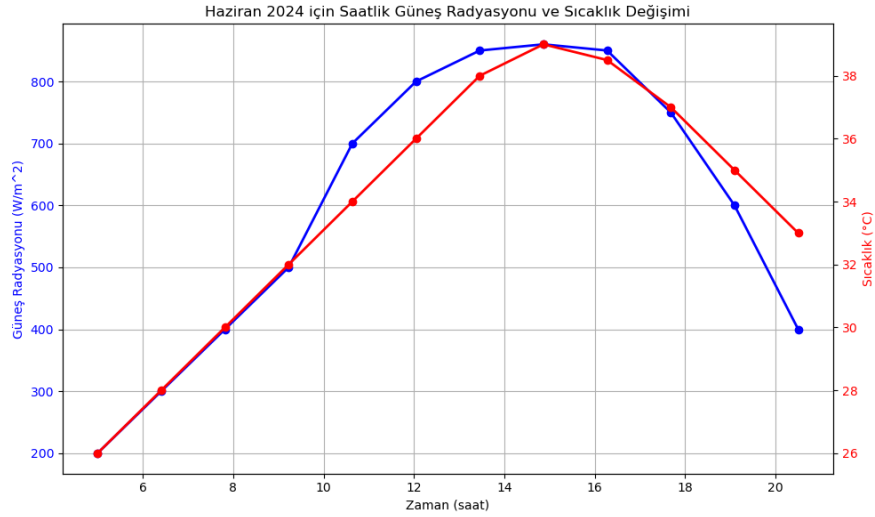
ulaşmaktadır. Öğle saatlerindeki nispeten yüksek sıcaklıklar, güneş panellerinin optimum güneş ışığına maruz kaldığını gösterse de, bu tür yüksek sıcaklıklar, ısı birikimi nedeniyle verimlilikte hafif bir düşüşe neden olabilir.



Şekil 5.10 Mayıs ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı

Benzer şekilde, Mayıs ayında ortalama güneş radyasyonu 488.33 W/m^2 olarak kaydedilmiştir. Radyasyon seviyeleri, gün doğumu (06:00) itibarıyla 150 W/m^2 'den başlayarak 13:00'te 710 W/m^2 ile zirveye ulaşmaktadır. Güneş radyasyonu, sabah geç saatlerden öğleden sonra erken saatlere kadar yüksek seviyelerde seyrederek güneş panellerinden maksimum enerji çıktısı sağlamak için ideal koşullar sunmaktadır. Saat 10:00 ile 14:00 arasındaki yüksek güneş radyasyonu, hibrit sistem için en verimli dönem olup, bu süre zarfında önemli miktarda güneş enerjisi toplanmasını sağlamaktadır.

Haziran ayında, hem ortam sıcaklığının hem de güneş radyasyonunun yüksek seviyelerde olduğu bir dönem yaşanmaktadır. Gün boyunca ortalama sıcaklık 33.88°C olup, sabah erken saatlerde 26°C 'den başlayarak öğle saatlerinde yaklaşık 39°C ile zirveye ulaşmaktadır. Bu yüksek sıcaklıklar yaz mevsiminin başladığını gösterirken, güneş panelleri bu kadar yüksek sıcaklıklarda verimlilik kaybına uğrayabilse de, tutarlı ve yüksek güneş radyasyonu güçlü enerji üretimini sürdürmeye yardımcı olmaktadır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Haziran ayında ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu dağılımı

Haziran ayında ortalama güneş radyasyonu 600.83 W/m^2 olup, gün doğumunda (06:00) 200 W/m^2 seviyesinde başlamakta ve 13:00'te 860 W/m^2 ile zirveye ulaşmaktadır. Güneş radyasyonu, 11:00 ile 14:00 saatleri arasında 800 W/m^2 'nin üzerinde kalarak, optimum enerji üretimi için önemli bir zaman aralığı sunmaktadır. Yüksek sıcaklıklara rağmen, sistem uzun gündüz saatleri ve yoğun güneş radyasyonundan faydalanarak Haziran'ı hibrit güneş bacası güç sistemi için son derece verimli bir ay haline getirmektedir.

Yüksek sıcaklıklar ve güçlü güneş radyasyonunun bu kombinasyonu, ısı nedeniyle oluşabilecek küçük verimlilik kayıplarına rağmen enerji üretiminin yüksek seviyelerde kalmasını sağlamaktadır. Sistem, öğle saatlerinde yüksek güneş radyasyonu seviyelerinden tam anlamıyla faydalanarak optimum enerji çıktısını sürdürebilmektedir.

5.4 Önerilen Tasarım

Bir güneş bacası güç santralini tasarlamak, verimliliği ve çıktıyı en üst düzeye çıkarmak için çeşitli unsurların dikkatlice değerlendirilmesini gerektirir. Güneş bacası konsepti, güneş radyasyonunu kullanarak uzun bir baca boyunca hava akımı oluşturan ve türbinleri çalıştırarak elektrik üreten yenilenebilir bir enerji çözümüdür. Bu bölüm, güneş bacası güç santralinin detaylı bir kavramsal tasarımını sunmakta olup, güneş toplayıcının

yerleşimi, bacanın yüksekliği ve çapı, sistem entegrasyonu ile simülasyon ve modellemeye odaklanmaktadır.

Güneş toplayıcı, güneş radyasyonunu yakalayıp termal enerjiye dönüştürmekten sorumludur. Bu süreçte dikkate alınan parametreler arasında toplayıcı alanı ve çevresel koşullar yer almaktadır (Çizleğe 5.8). Tüm bu parametreler matematiksel olarak EK3'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Çizleğe 5.8 Güneş toplayıcı önerilen parametreleri

PARAMETRE	SEMBOL	DEĞER	BİRİM	AÇIKLAMA
Toplayıcı Alanı	A	1500	m^2	Güneş toplayıcısının toplam alanı
Soğurma Katsayısı	α	0.85	-	Yüzey tarafından emilen güneş radyasyonu oranı
Güneş Işınımı	I	413	W/m^2	6 aylık ortalama güneş ışınımı
Havanın Özgül Isısı	c_p	1005	$J/kg \cdot K$	Havanın özgül ısı kapasitesi
Hava Yoğunluğu	ρ	1.225	kg/m^3	Standart koşullarda havanın yoğunluğu
Başlangıç Hava Sıcaklığı	T_0	300	K	Toplayıcı altındaki havanın başlangıç sıcaklığı
Toplayıcı Yüksekliği	H_c	2	m	Toplayıcının yerden yüksekliği

Güneş bacası sisteminde hesaplanan tüm parametreler, birkaç temel faktöre bağlıdır. Ana etki, toplayıcı alanı (A) ve güneş ışınımı (I) tarafından belirlenen güneş enerjisi girdisidir. Bu faktörler, toplayıcı tarafından emilen ve ardından ısıya dönüştürülen güneş enerjisi miktarını belirler. Toplayıcı yüzeyinin soğurma katsayısı (α) (Yerudkar *et al.* 2021), yüzeyin güneş radyasyonunu ne kadar verimli bir şekilde emdiğini etkiler. Bu çalışmada, kullanılan bakır malzemenin soğurma katsayısı (α) 0.85 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, güneş bacası sisteminde kullanılan önerilen diğer malzemeler şunlardır:

- Black Chrome (Siyah Krom): Yüksek verimli selektif yüzey kaplaması sağlar ve genellikle yüksek sıcaklıklar için kullanılır. Yüksek emme katsayısı ve düşük yayılma katsayısı ile enerji verimliliği sağlar.
- Alüminyum (seçici kaplama ile): Alüminyum, hafifliği ve yüksek iletkenliği ile dikkat çeker. Seçici kaplamalarla güneş enerjisini verimli bir şekilde emer.
- Seçici Kaplamalar (örneğin TiNOX, Solar Black): Bu kaplamalar, güneş ışığını maksimum verimlilikle emme ve ısıyı minimum düzeyde yayma özelliklerine sahip malzemelerdir. Bu tür kaplamalar, genellikle güneş kolektörlerinde kullanılır.

- Blackened Steel (Kararmış Çelik): Yüksek emme katsayısına sahip başka bir malzemedir ve genellikle güneş enerjisi toplama sistemlerinde dayanıklılığı artırmak için kullanılır.

Kapak Malzemeleri: Güneş bacası sisteminde kullanılan kapak, toplayıcıyı korurken güneş ışığını etkili bir şekilde geçirmelidir. Yaygın olarak kullanılan kapak malzemeleri şunlardır:

- Cam (Temperli Cam): Yüksek ışık geçirgenliğine sahip olan cam, güneş ışınlarının toplayıcı yüzeyine ulaşmasını sağlar. Camın düşük yayılma katsayısı, ısının kaybını azaltır ve uzun ömürlüdür.
- Polikarbonat (UV korumalı, çift duvarlı veya çok duvarlı türler): Polikarbonat, hafifliği ve iyi yalıtım özellikleri ile dikkat çeker. Ayrıca, UV ışınlarına karşı dayanıklıdır ve uzun vadeli kullanım için etkilidir. Çok duvarlı polikarbonat, ısı kaybını azaltmak için izolatör görevi görürken ışık geçirgenliğini de sağlar.
- Akrilik (PMMA): Yüksek ışık geçirgenliği (görünür spektrumda %90'ın üzerinde) ve UV'ye karşı dirençli olan akrilik, güneş termal sistemlerinde sıklıkla kullanılır.
- Şeffaf Yalıtım Malzemeleri (örneğin ETFE): ETFE (Etilen Tetrafloroetilen), yüksek şeffaflık ve UV ışınlarına karşı direnç sağlayan modern bir malzemedir. Yüksek güneş ışını geçirgenliğine sahip olup, bazı yalıtım özellikleri de sunar.

Emilen enerji, toplayıcıdan geçen havanın sıcaklık artışına (ΔT) neden olur ve bu artış havanın özgül ısısı C_p ve yoğunluğuna ρ bağlıdır.

Ek olarak, baca, havayı ısıtarak basınç farkı (ΔP) oluşturmak ve hava akımı yaratmak üzere tasarlanmıştır. Bacanın yüksekliği (H) ve çapı (D) tasarımda kritik faktörlerdir. Daha yüksek bir baca, baca etkisiyle (ΔP) basınç farkını artırarak hava akışını sağlar. Bacanın çapı, kesit alanını etkileyerek bacadan ne kadar hava geçebileceğini belirler. Bu durum, kütle akış hızı (m^3/s) ve hava hızını (v) etkileyerek sistemde havanın ne kadar hızlı ve verimli hareket ettiğini belirler. Bacanın fiziksel özellikleri aşağıdaki Çizleğe 5.9'da gösterilmiştir ve EK3, parametrelerin hesaplamalarını içermektedir.

Çizelge 5.9 Baca tasarım parametreleri

PARAMETRE	SEMBOL	DEĞER	BİRİM	AÇIKLAMA
Baca Yüksekliği	H	250	m	Güneş Bacasının Yüksekliği
Baca Çapı	D	20	m	Bacanın Çapı
Basınç Farkı	ΔP	0.92	Pa	Hava Akışını Sağlayan Basınç Farkı
Ortam Hava Sıcaklığı	T_a	295	K	Baca Dışındaki Ortam Sıcaklığı
Hava Hızı	v	15	m/s	Bacadan Yükselen Havanın Hızı
Yerçekimi İvmesi	g	9.81	m/s ²	Yerçekimi İvmesi

Baca yüksekliği (H) 250 metre olarak belirlenmiştir, bu da doğal konveksiyonun artırılmasında ve hava hızının yükseltilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Yüksek baca, daha büyük bir ısı yükselme etkisi oluşturarak sıcak havanın daha verimli bir şekilde yükselmesini sağlar, bu da enerji üretiminin verimliliği için önemlidir. Baca çapı (D) 20 metredir ve bu, hava akışının önemli bir miktarını geçirecek şekilde tasarlanmıştır, böylece sistemin hem güneş hem de rüzgar enerjisini verimli bir şekilde kullanması sağlanır. Basınç farkı (ΔP) 0.92 Pa olarak belirlenmiştir ve bacadaki hava akışını sağlayan temel faktördür. Bu basınç farkı, nispeten küçük olmasına rağmen hava hareketini başlatmak için yeterlidir ve sistemin verimliliğine katkı sağlar. Ortam hava sıcaklığı (T_a) 295 K olarak belirlenmiş olup, bu sıcaklık yaklaşık 22°C'ye denk gelmektedir ve hava hareketinin yukarıya doğru yönelmesini sağlayacak uygun bir sıcaklık farkı oluşturur. Hava hızı (v) 15 m/s olarak hesaplanmıştır ve bu, dönüştürülebilecek enerji miktarını belirleyen önemli bir faktördür. Daha yüksek hava hızı, sistemin toplam güç üretimini doğrudan artırır. Son olarak, yerçekimi ivmesi (g), 9.81 m/s² olan sabit bir değerdir ve doğal konveksiyon sürecinin sürdürülmesinde temel bir rol oynar, sıcak havanın yükselmesine yardımcı olur. Bu parametreler bir arada değerlendirildiğinde, her birinin sistemin genel verimliliğine ve potansiyel enerji üretimine katkı sağladığı optimizasyonu yapılmış bir güneş bacası sisteminin temellerini oluşturur.

Türbin, hareketli havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye, ardından elektrik enerjisine dönüştürür. Sistem performansı, mevcut enerjinin ne kadarının faydalı mekanik güce dönüştürülebileceğini belirleyen türbin verimliliği ($\eta_{\text{türbin}}$) tarafından da etkilenir. Mekanik güç çıktısı (P_{mek}) kütle akış hızı, sıcaklık artışı ve türbin verimliliğine bağlı olarak hesaplanır ve bu üçü birlikte sistemin ne kadar güç üretebileceğini tanımlar (EK3).

Parametreler arasında verimlilik ve güç dönüşüm özellikleri yer almaktadır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10 Türbin parametreleri

PARAMETRE	SEMBOL	DEĞER	BİRİM	AÇIKLAMA
Türbin Verimliliği	η	0.85	-	Türbinin Enerji Dönüşüm Verimliliği
Hava Yoğunluğu	ρ	1.225	kg/m ³	Güç Hesaplamaları İçin Kullanılan Havanın Yoğunluğu
Kesit Alanı	A_{chi}	314.16	m ²	Türbinin Kesit Alanı ($\pi D^2/4$)
Mekanik Güç Çıkışı	P_{mech}	619.5	kW	Türbin Tarafından Üretilen Mekanik Güç
Elektrik Güç Çıkışı	P_{elec}	526.6	kW	Dönüşüm Sonrası Elektrik Güç Çıkışı

Türbin verimliliği (η) %85 olarak belirlenmiştir, bu da türbinin aldığı mekanik enerjinin %85'ini elektrik enerjisine dönüştürebildiği anlamına gelir. Hava yoğunluğu (ρ) 1.225 kg/m³ olarak alınmıştır, bu da deniz seviyesi koşullarında kullanılan hava yoğunluğudur ve güç hesaplamalarında temel bir parametre olarak kullanılır. Kesit alanı (A_{chi}) 314.16 m² olarak hesaplanmıştır ve bu alan, türbinden geçen havanın etkileşimde olduğu yüzeyi ifade eder. Daha büyük bir kesit alanı, türbinin daha fazla hava akışını yakalayabilmesini sağlar ve dolayısıyla güç üretimi artar. Mekanik güç çıkışı (P_{mech}) 619.5 kW olarak hesaplanmıştır, bu da türbinin hava akışından elde ettiği mekanik güç miktarını gösterir. Bu mekanik güç, daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülür. Elektrik güç çıkışı (P_{elec}) ise 526.6 kW olarak bulunmuştur, bu da türbinin dönüşüm sonrası ürettiği kullanılabilir elektrik enerjisidir. Bu sonuçlar, türbinin hava akışından ne kadar verimli bir şekilde elektrik enerjisi ürettiğini ve sistemin genel verimliliğini ortaya koymaktadır.

Özetle, güneş bacası sisteminin performansı, güneş enerjisi girdisi, kolektör verimliliği, havanın özellikleri ve bacanın tasarımına bağlıdır. Bu faktörler birbiriyle etkileşerek hava akışı, basınç farkı ve güç çıktısını belirler, böylece sistemin verimli bir şekilde çalışmasını ve hedeflenen enerjiyi üretmesini sağlar.

5.5 Ekonomik Analiz

Bu çalışmada, bir Güneş Bacası Güç Üretim Sistemi için ekonomik analizler (EK4)'te olduğu gibi hesaplanmıştır. Hesaplama, projenin finansal fizibilitesine dair fikir vermek

amacıyla Yıllık Gelir, Net Kar, Geri Dönüş Süresi ve Yatırım Getirisi (ROI) gibi kritik kategorileri içermektedir.

Bir sistemin yıllık geliri, üretilen toplam enerjinin elektrik fiyatı ile çarpılmasıyla hesaplanır ve bu da yıllık 290.138 \$'lık bir gelire sonuçlanır. Bu rakam, sistemin her yıl ürettiği elektriği satarak elde etmesi beklenen toplam geliri temsil eder. Net Kar, yıllık işletme giderlerinin (OPEX) yıllık gelirden çıkarılmasıyla hesaplanır ve 240.138 \$ olarak bulunmuştur. Bu metrik, operasyonel maliyetler karşılandıktan sonra kalan kazancı gösterir ve sistemin genel karlılığının önemli bir göstergesidir.

Geri Dönüş Süresi, net karın başlangıç yatırımına bölünmesiyle hesaplanır ve 6,25 yıl olarak bulunmuştur. Bu süre, projenin başlangıç yatırımını tamamen geri ödemek için gereken süreyi ifade eder. Çizelge 5.11'deki ekonomik analiz, düzenli gelir üretimi, yüksek karlılık, makul bir geri dönüş süresi ve cazip bir yatırım getirisi ile projenin finansal fizibilitesini ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.11 60\$/MWh elektrik fiyatı için ekonomik analiz

PARAMETRE	DEĞER
Yıllık Enerji Üretimi (E_{annual})	4,835.64 MWh/yıl
Yıllık Gelir	\$290,138
Başlangıç Yatırımı	\$1,500,000
Yıllık Net Kar	\$240,138
Geri Dönüş Süresi	6.25 yıl
Yatırım Getirisi (ROI)	16.01%

Yatırım Getirisi (ROI), projenin başlangıç yatırımına oranla karlılığını yüzde olarak ölçer. %16,01'lik bir ROI, sistemin her yıl başlangıç sermayesine sağlıklı bir getiri sunduğunu göstermektedir.

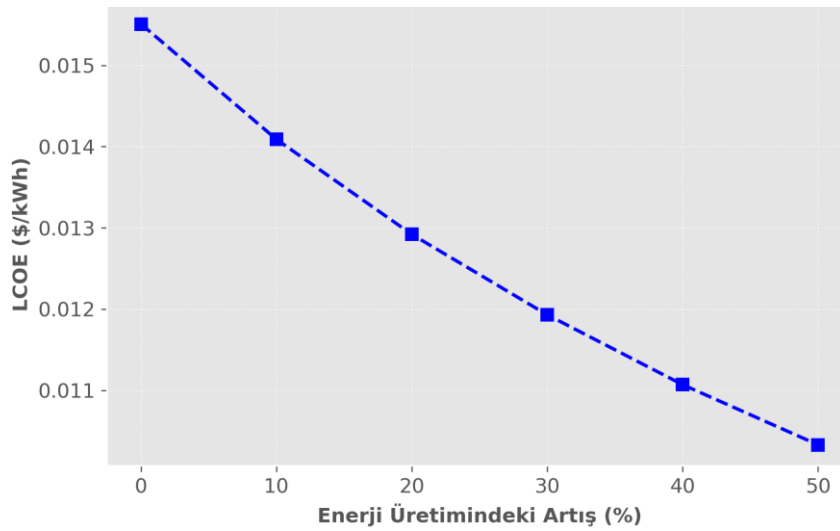
Çizelge 5.12, bir enerji üretim sistemi için yıllık enerji üretimindeki yüzdeler ile Düzleştirilmiş Elektrik Maliyeti (LCOE) arasındaki ilişkiyi inceleyen bir duyarlılık analizini sunmaktadır. Analiz, yıllık enerji üretimi arttıkça LCOE'nin azaldığını, yani daha yüksek üretim ile artırılmış maliyet verimliliği arasında açık bir bağlantı olduğunu ortaya koymaktadır.

Temel senaryoda (%0 artış), sistem yıllık 4.835.640 kWh enerji üretmekte ve LCOE 0,01551 \$/kWh olarak hesaplanmaktadır. Enerji üretimindeki artış sırasıyla %10, %20, %30, %40 ve %50'ye çıktığında, LCOE orantılı olarak azalmakta ve %50'lik bir artışta 0,01033 \$/kWh seviyesine düşmektedir.

Çizelge 5.12 LCOE'nin duyarlılık analizi

Enerji Üretiminde Yüzdellik Artış	LCOE (\$/kWh)	Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	Yaşam Boyu Enerji Üretimi (kWh)
0%	0.015509	4,835,640	96,712,800
10%	0.01409	5,319,204	106,384,080
20%	0.01292	5,802,768	116,055,360
30%	0.01193	6,286,332	125,726,640
40%	0.01107	6,769,896	135,397,919
50%	0.01033	7,253,460	145,069,200

Bu eğilim, enerji üretiminin maksimuma çıkarılmasının sistemin maliyet etkinliğini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Üretim arttıkça, başlangıç sermayesi ve bakım giderleri gibi sabit maliyetler üretilen daha büyük bir elektrik hacmine yayılmakta ve kilovat-saat başına maliyetin düşmesine yol açmaktadır. Örneğin, enerji üretimindeki %20'lik bir artış ile üretim 5.802.768 kWh'ye ulaşmakta ve LCOE 0,01292 \$/kWh seviyesine düşmektedir. Benzer şekilde, %50'lik bir üretim artışı, üretimi 7.253.460 kWh'ye çıkararak LCOE'yi 0,01033 \$/kWh seviyesine daha da düşürmektedir (Sekil 5.12).



Sekil 5.12 LCOE ve enerji üretimi arasındaki ilişki

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, güneş enerjisi kaynakları açısından zengin bir ülke olan Libya'daki güneş bacası enerji üretim sistemlerinin potansiyelini araştırmaktadır. Çalışma, güneş bacası teknolojisinin Libya'nın artan enerji ihtiyaçlarını karşılarken çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmada oynayabileceği kritik rolü vurgulamaktadır. Güneş bacası sistemleri, güneş radyasyonunu kullanarak yüksek bir baca aracılığıyla hava akımı oluşturarak elektrik üretmektedir ve bu da Libya'nın bol güneş ışınımını değerlendirmek için umut verici bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan güneş bacası enerji santralinin teknik tasarımı, güneş kollektörü, baca ve türbin gibi temel parametreleri içermektedir. Güneş kollektörü, güneş radyasyonunu termal enerjiye dönüştürerek kollektör altındaki havayı ısıtmak için gerekli ısıyı sağlar. Isıtılan hava, kollektör altındaki hava ile bacanın dışındaki ortam havası arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle oluşan basınç farkı ile bacadan yukarı doğru yükselir. Bacadaki hava hızı, hareket eden havanın kinetik enerjisini mekanik güce ve nihayetinde elektrik enerjisine dönüştüren türbinleri çalıştırmada kritik bir faktördür.

Bacanın tasarımı, enerji üretiminde yüksek verimliliğe ulaşmak için hayati öneme sahiptir. Baca yüksekliği ve çapı, doğal konveksiyon sürecinden faydalanarak hava akışını yönlendirecek şekilde seçilmiştir. Bacanın basınç farkı oluşturma yeteneği, hava akışını türbinleri döndürecek hızlarda yönlendirmek için belirleyici bir faktördür. Bu süreç, türbin tasarımının mekanik güce ve sonrasında elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan temel unsurdur.

Teknik yönlerin yanı sıra, bu araştırma güneş bacası sistemlerinin Libya'daki ekonomik uygulanabilirliğini de kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Ekonomik analiz, güneş bacası enerji santrallerinin sabit gelir üretimi ve uygun geri ödeme süresi ile finansal olarak sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Yatırımın geri dönüş oranı (ROI), başlangıç yatırımının yüzdesi olarak projenin karlılığını yansıtarak bu sistemleri Libya enerji sektöründe hem kamu hem de özel paydaşlar için sağlam bir yatırım haline getirmektedir.

Teknik ve ekonomik değerlendirmelerin ötesinde, bu araştırma güneş bacası sistemlerinin çevresel faydalarına da vurgu yapmaktadır. Güneş enerjisini kullanarak bu sistemler, fosil yakıtlara olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltmakta, bu da sera gazı emisyonlarının başlıca kaynağıdır. Güneş bacası teknolojisinin benimsenmesi, karbon emisyonlarını azaltarak ve hava kalitesini iyileştirerek iklim değişikliğiyle mücadeleye yardımcı olabilir. Ayrıca, güneş bacası sistemleri suya veya yakıtı ihtiyaç duymadan çalışarak geleneksel enerji üretim yöntemlerine kıyasla çevresel etkilerini daha da azaltmaktadır.

Gelecek araştırmalar, merkezi olmayan güneş bacası sistemlerinin uygulanabilirliğini ve faydalarını değerlendirmek için şebekeden bağımsız konumlarda pilot projeleri içerebilir. Dinamik simülasyon modelleri ve faal güneş bacası santrallerinin gerçek zamanlı izlenmesi, performans optimizasyonuna yönelik değerli içgörüler sağlayabilir ve bu da öngörülebilir bakım yapmayı mümkün kılarak duruş sürelerini ve işletme maliyetlerini azaltabilir. Gelişmiş simülasyon yazılımlarının ve izleme teknolojilerinin geliştirilmesi, güneş bacası enerji santrallerinin genel yönetimini iyileştirebilir. Güneş bacası sistemlerinin kentsel planlama ve bina tasarımlarına entegrasyonu, hem enerji üretimi hem de binalardaki doğal havalandırmayı iyileştirerek mekanik havalandırma sistemlerine duyulan ihtiyacı azaltma potansiyeline sahip yenilikçi bir araştırma alanı olabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, güneş bacası enerji üretim sistemlerinin Libya'daki teknik uygulanabilirliğini, ekonomik geçerliliğini ve çevresel faydalarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmekte ve bu sistemlerin Libya'nın enerji çeşitlendirme ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunma potansiyelini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdelsalam, E., Almomani, F., Kafiah, F., Azzam, A., Kassem, F., Abdallah, R., & Adel Juaidi. 2024. A case study of an integrated solar chimney power plant and water desalination plant in Qatar. *Desalination*, 117283–117283. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117283>
- Abdulkerim, S., Hammoodi, Q., & Alshbib, M. 2023. Building and Experimenting Solar Chimney Power Plant. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19: 301–307. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.1258484>
- Al-Abadi, N., Ahmed, A. K., Algburi, S., & Ahmed, O. K. 2024. Enhancement of the performance of solar chimneys using associated petroleum gas. *International Journal of Sustainable Energy*, 43. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2259009>
- Al-Dabbas, A. 2011. A performance analysis of solar chimney thermal power systems. *Thermal Science*, 15: 619–642. <https://doi.org/10.2298/tsci101110017a>
- Al-Mamun, Md. R., Roy, H., Islam, Md. S., Ali, M. R., Hossain, Md. I., Aly, M., Zafar, M., Marwani, H. M., Islam, A., Haque, E., Rahman, M. M., & Awual, Md. R. 2023. State-of-the-art in solar water heating SWH systems for sustainable solar energy utilization A comprehensive review. *Solar Energy*, 264, 111998–111998. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111998>
- AL-RAWE, M. T. A. 2020. Numerical study on the performance of solar chimney power plant under varying chimney divergence angle and solar radiation conditions. Cankaya University, Ankara, 104.
- ATLAS, G. 2024. Web sitesi. <https://globalsolaratlas.info/detail?c=32.509762>. Erişim tarihi: 04.01.2024
- Baggs, D. and Mortensen, N. 2006. Thermal mass in building design, Environment design guide, DES 4, Australian Institute of Architects, Melbourne.
- Biswas, N., Mandal, D. K., Bose, S., Manna, N. K., & Ali Cemal Benim. 2023. Experimental Treatment of Solar Chimney Power Plant—A Comprehensive Review. *Energies*, 16: 6134–6134. <https://doi.org/10.3390/en16176134>
- Buğutekin, A.Celil. 2012. Experimental study of temperature field in a solar chimney plant in Adiyaman. *Journal of Thermal Sciences and Technology*, 32: 73–80.

- Cao, F., Li, H., Zhao, L., Bao, T., & Guo, L. 2013. Design and simulation of the solar chimney power plants with TRNSYS, 98: 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.022>
- Cao, F., Mao, Y., Zhu, T., & Zhao, L. 2017. TRNSYS simulation of solar chimney power plants with a heat storage layer. *DergiPark Istanbul University*, 25: 2719–2726. <https://doi.org/10.3906/elk-1512-192>
- Çetinbaş, A. 2022. Güneş bacası sera örtüsü altında tarım ürünlerinin kurutulması batman sason çileği örneği. Yüksek lisans Tez. Batman Üniversitesi, 126 sayfa, Batman.
- Cuce, E., Cuce, P. M., Carlucci, S., Sen, H., Sudhakar, K., Hasanuzzaman, Md., & Daneshzarian, R. 2022. Solar chimney power plants A review of the concepts, designs and performances. *Sustainability*, 14: 1450. <https://doi.org/10.3390/su14031450>
- Cuce, E., Saxena, A., Cuce, P. M., Sen, H., Eroglu, H., Selvanathan, S. P., Sudhakar, K., & Hasanuzzaman, M. 2022. Performance assessment of solar chimney power plants with natural thermal energy storage materials on ground CFD analysis with experimental validation. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 17: 752–759. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac001>
- Dhahri, A., Omri, A., & Orfi, J. 2014. Numerical study of a solar chimney power plant. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8: 1953–1965. <https://doi.org/10.19026/rjaset.8.1187>
- El-Ghonemy, A. 2016. Solar chimney power plant with collector. *Journal of Electronics and Communication Engineering*, 11: 28–35. <https://doi.org/10.9790/2834-1102012835>
- Ghalamchi, M., Kasaeian, A., Ghalamchi, M., & Mirzahosseini, A. H. 2016. An experimental study on the thermal performance of a solar chimney with different dimensional parameters. *Renewable Energy*, 91: 477–483. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.091>
- Ghorai, S., Borah, C., & Choudhury, T. A. 2023. Comparative analysis of solar chimney power plant chimney design Performance evaluation and material cost comparison. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 5. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i06.10616>

- Hamdan, Mohammad & Rabbata, Obada. 2012. Experimental solar chimney data with analytical model prediction. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 32: 73–80.
- Harris, D. J., & Helwig, N. 2007. Solar chimney and building ventilation. *Applied Energy*, 84: 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.07.001>
- HASAN, I. S. 2022. Natural convection investigation and performance enhancement of solar chimney power plant. MSc. Thesis, Karabük University, 81 sayfa. Karabük.
- HOYMILES, A. 2022. Web sitesi. <https://www.hoymiles.com/resources/blog/how-to-calculate-roi-for-a-solar-system>. Erişim tarihi: 18.08.2022.
- HUANG, V. 2023. Web sitesi. <https://blog.harvestr.io/payback-period#:~:text=The%20payback%20period%20is%20a>. Erişim tarihi: 18.06.2023.
- Humood, M., Beheshti, A., Meyer, J. L., & Polycarpou, A. A. 2016. Normal impact of sand particles with solar panel glass surfaces. *Tribology International*, 102: 237–248. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.05.022>
- Ikhlef, K., Larbi, S., & Üçgöl, İ. 2022. Experimental study of different thermal storage system effects on the performance of a small prototype solar chimney power plant. *Renewable Energy*, 200: 516–526. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.087>
- Kalash, S., Naimeh, W., & Ajib, S. 2013. Experimental investigation of the solar collector temperature field of a sloped solar updraft power plant prototype. *Solar Energy*, 98: 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.025>
- Kasaeian, A., Heidari, E., & Vatan, Sh. N. 2011. Experimental investigation of climatic effects on the efficiency of a solar chimney pilot power plant. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 15: 5202–5206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.019>
- Kebabsa, H., Lounici, M. S., Lebbi, M., & Daimallah, A. 2020. Thermo-hydrodynamic behavior of an innovative solar chimney. *Renewable Energy*, 145: 2074–2090. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.121>
- Khare, V., Chaturvedi, P., & Mishra, M. 2023. Solar energy system concept change from trending technology A comprehensive review. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 4: 100183. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100183>
- Kulunk, H. 1985. A prototype solar convection chimney operated under ızmit conditions. In: 7th Miami International Conference on Alternative Energy Sources, 162.

- Li, C., Huang, Q., & Wang, Y. 2020. Effect of color coating of cover plate on thermal behavior of flat plate solar collector. *Energies*, 13: 6696. <https://doi.org/10.3390/en13246696>
- Long, T., Li, W., Lv, Y., Li, Y., Liu, S., Lu, J., Huang, S., & Zhang, Y. 2022. Benefits of integrating phase-change material with solar chimney and earth-to-air heat exchanger system for passive ventilation and cooling in summer. *Journal of Energy Storage*, 48: 104037–104037. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104037>
- Maia, C. B., Silva, J. o M., Cabezas-Gómez, L., de, S., & Ferreira, A. 2013. Energy and exergy analysis of the airflow inside a solar chimney. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 27: 350–361. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.020>
- Makaveckas, T., Bliūdžius, R., & Burlingis, A. 2021. Determination of the impact of environmental temperature on the thermal conductivity of polyisocyanurate PIR foam products. *Journal of Building Engineering*, 41: 102447. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102447>
- Makken , S., Ahmad, B. G., & Shoai , N. 2022. A comprehensive economic analysis of solar and wind power and its suitability to libya. 1st International Conference on Renewable and Sustainable Energy, Libya, 294–302.
- Mandal, D. K., Bose, S., Biswas, N., Manna, N. K., Cuce, E., & Ali Cemal Benim. 2024. Solar chimney power plants for sustainable air quality management integrating photocatalysis and particulate filtration a comprehensive review. *Sustainability*, 16, 2334–2334. <https://doi.org/10.3390/su16062334>
- Marzouk, O. A. 2024. Energy generation intensity EGI of solar updraft tower SUT power plants relative to CSP plants and PV power plants using the new energy simulator “aladdin.” *Energies*, 17: 405–405. <https://doi.org/10.3390/en17020405>
- MISEVICIUTE, D. 2024. Web sitesi. <https://teamhood.com/project-management/profit-calculation>. Erişim tarihi: 09.03.2024
- Monghasemi, N., & Vadiee, A. 2018. A review of solar chimney integrated systems for space heating and cooling application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 2714–2730. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.078>
- Moria, H., & Elmnifi, M. 2020. Feasibility study into possibility potentials and challenges of renewable energy in Libya. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29: 12546–12560.

- MOTAMEDİ, M. 2023. Web sitesi. <https://www.aljazeera.com/news/2023/9/13/why-did-dernas-dams-break-when-storm-daniel-hit-libya>. Erişim tarihi: 13.09.2023
- Najmi, M., Nazari, A., Mansouri, H., & Zahedi, G. 2011. Feasibility study on optimization of a typical solar chimney power plant. *Heat and Mass Transfer*, 48: 475–485. <https://doi.org/10.1007/s00231-011-0894-5>
- Nie, J., Xu, J., Sheng, H., Guo, H., Jia, J., & Guo, T. 2024. Optimization of characteristic parameters of rectangular solar chimney adapted to agricultural greenhouses. *Case Studies in Thermal Engineering*, 54: 103971–103971. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.103971>
- Nsaif, O. S. N. 2019. Numerical study of the effects of geometric parameters on performance of solar chimney power plants. Msc Thesis. 103 pages.
- Okoye, C. O. 2016. The board of campus graduate programs of middle east technical university northern cyprus campus, MSc. Thesis, Middle East Technical University. 112 pages, Cyprus.
- Pradhan, S., Chakraborty, R., Mandal, D. K., Barman, A., & Bose, P. 2021. Design and performance analysis of solar chimney power plant SCPP A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47: 101411. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101411>
- Prałat, K., Ciemnicka, J., Jankowski, P., Wierzbicka, E., & Plis, A. 2023. Experimental research on the thermal properties of innovative insulation boards made of polyurethane-polyisocyanurate PUR PIR. *Polish Journal of Chemical Technology*, 25: 40–46. <https://doi.org/10.2478/pjct-2023-0007>
- Rao, J. S. 2017. *Simulation based engineering in fluid flow design*. Springer eBooks, Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46382-7>
- Rezaei, L., Saeidi, S., Sapi, A., Abdollahi, M., Gróf, G., Chen, W., Sapi, A., & Klemeš, J. J. 2023. Efficiency improvement of the solar chimneys by insertion of hanging metallic tubes in the collector Experiment and computational fluid dynamics simulation. *Journal of Cleaner Production*, 415: 137692–137692. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137692>
- Saleheen, R.u., Rahman, M.M., Mashud, M., Paul, S. 2021. Economic analysis of solar chimney literature review. In Rahman, M.M., Chu, CM. eds *Cold Inflow-Free Solar*

- Chimney. Springer, Singapore. 217-228 https://doi.org/10.1007/978-981-33-6831-6_10
- Saleh, M. J., Atallah, F. S., Sameer Algburi, & Ahmed, O. K. 2023. Enhancement methods of the performance of a solar chimney power plant Review. *Results in Engineering*, 19: 101375–101375. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101375>
- Schlaich, J., Bergemann, R., Schiel, W., & Weinrebe, G. 2004. Sustainable electricity generation with solar updraft towers. *Structural Engineering International*, 14: 225–229.
- Sharon, H. 2023. A detailed review on sole and hybrid solar chimney based sustainable ventilation, power generation, and potable water production systems. *Energy Nexus*, 10: 100184.
- Teplická, K., & Straka, M. 2020. Sustainability of extraction of raw material by a combination of mobile and stationary mining machines and optimization of machine life cycle. *Sustainability*, 12: 10454. <https://doi.org/10.3390/su122410454>
- UK, I. 2024, Web sitesi. <https://www.insulationuk.co.uk/blogs/news/understanding-pir-insulation-a-comprehensive-guide>. Erişim tarihi: 08.03.2024
- Von Backström, Th. W., Harte, R., Höffer, R., Van Zijl, G. P. A. G., Niemann, H.-J., & Kröger, D. G. 2008. State and recent advances in research and design of solar chimney power plant technology. *VGB PowerTech*, 7: 1–8.
- Xue, Q., Zhang, L., Mei, K., Li, X., Newell, P., Wang, Y., Cheng, X., & Zheng, W. 2022. CO₂-induced evolution of chemical, structural and mechanical properties of reinforced concrete A review. *Construction and Building Materials*, 353, 129069–129069. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129069>
- Yerudkar, A., Nair, M., Dalvi, V. H., Panse, S. V., Deshpande, V. D., & Joshi, J. B. 2021. Development of inexpensive, simple and environment-friendly solar selective absorber using copper nanoparticle. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 19(7): 727–737. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2020-0154>
- Zhou, X., Wang, F., & Ochieng, R. M. 2010. A review of solar chimney power technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 2315–2338.
- Zhou, X., Yang, J., Wang, F., & Xiao, B. 2009. Economic analysis of power generation from floating solar chimney power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 736–749. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.02.011>

Zhou, X., Yang, J., Xiao, B., & Hou, G. 2007. Simulation of a pilot solar chimney thermal power generating equipment. *Renewable Energy*, 32: 1637–1644. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.07.008>

Zhou, X., Yang, J., Xiao, B., Hou, G., & Xing, F. 2009. Analysis of chimney height for solar chimney power plant. *Applied Thermal Engineering*, 29: 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.02.014>



EKLER

EK1. Güneş radyasyonu hesaplama için Python kodu

EK2. Günlük ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu değişim analizi kodu

EK3. Formüller ile hesaplanan parametrelerin özeti

EK4. 60 \$/MWh elektrik fiyatıyla ekonomik analiz

EK5. LCOE duyarlılık analizi ve ayrıntılı hesaplamalar



EK1. Güneş radyasyonu hesaplama için Python kodu

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Given Data
H_measured = 17.30 # Total measured daily solar radiation in MJ/m^2
Ho = 34.6 # Extraterrestrial daily solar radiation in MJ/m^2
SL = 50 # Latitude in degrees
day_of_year = 105 # Day of the year (105th day)
day_length_hours = 10.3 # Approximate day length from 7:30 to 17:50
sunrise_time = 7.5 # 7:30 AM in hours
sunset_time = 17.5 + 0.33 # 17:50 in hours

# Hourly solar radiation in W/m^2
solar_radiation_wm2 = [120, 240, 360, 480, 540, 560, 540, 420, 240, 120]

# Convert solar radiation to MJ/m^2
solar_radiation_mjm2 = np.array(solar_radiation_wm2) * (1 / 1000) * 3600 #
Convert to MJ/m^2

# Total solar radiation for the day
H_total = np.sum(solar_radiation_mjm2) # Sum of hourly radiation

# Print results
print(f'Total measured solar radiation (H) = {H_measured:.2f} MJ/m^2')
print(f'Total calculated solar radiation (H_total) = {H_total:.2f} MJ/m^2')
print(f'Extraterrestrial daily solar radiation (Ho) = {Ho:.2f} MJ/m^2')

# Compare the calculated daily radiation with measured and extraterrestrial
values
ratio_H_Ho = H_measured / Ho
print(f'Ratio of H/H_0 = {ratio_H_Ho:.2f}')

# Time in hours for plotting (assuming the intervals are evenly spaced)
time_hours = np.linspace(sunrise_time, sunset_time,
len(solar_radiation_wm2))

# Plotting
plt.figure(figsize=(10, 6))

# Plot Hourly Solar Radiation
plt.plot(time_hours, solar_radiation_mjm2, '-o', color='b', label='Hourly
Solar Radiation (MJ/m^2)')

# Plot Cumulative Solar Radiation
cumulative_radiation = np.cumsum(solar_radiation_mjm2)
plt.plot(time_hours, cumulative_radiation, '-o', color='g',
label='Cumulative Solar Radiation (MJ/m^2)')

# Labels and Title
plt.xlabel('Time (hours)')
plt.ylabel('Solar Radiation (MJ/m^2)')
plt.title('Hourly and Cumulative Solar Radiation')
plt.grid(True)
plt.legend()

# Show the plot
plt.tight_layout()
plt.show()
```

EK2. Günlük ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonu değişim analizi kodu

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Given Data for June 2024
sunrise_time = 5.0 # 5:00 AM in hours
sunset_time = 20.5 # 20:30 in hours
# Hourly solar radiation data in W/m^2
solar_radiation_wm2 = [200, 300, 400, 500, 700, 800, 850, 860, 850, 750, 600, 400]
# Ambient temperature data in °C
temperature = [26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 39, 38.5, 37, 35, 33]
# Wind velocity data in m/s (for reference, not used in plots)
wind_velocity = [3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6, 6, 5.5, 5, 4.5, 4]
# Time in hours for plotting
time_hours = np.linspace(sunrise_time, sunset_time, len(solar_radiation_wm2))

# Create a figure and a set of subplots
fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(10, 6))

# Plot Solar Radiation on primary y-axis
ax1.plot(time_hours, solar_radiation_wm2, '-o', color='b', linewidth=2, label='Solar Radiation (W/m^2)')
ax1.set_xlabel('Time (hours)')
ax1.set_ylabel('Solar Radiation (W/m^2)', color='b')
ax1.tick_params(axis='y', labelcolor='b')
ax1.grid(True)

# Create a secondary y-axis for Temperature
ax2 = ax1.twinx()
ax2.plot(time_hours, temperature, '-o', color='r', linewidth=2, label='Temperature (°C)')
ax2.set_ylabel('Temperature (°C)', color='r')
ax2.tick_params(axis='y', labelcolor='r')

# Set titles and legends
plt.title('Hourly Solar Radiation and Temperature Variation')
fig.tight_layout()
plt.show()

# Display Additional Information
average_temp = np.mean(temperature)
average_solar_rad = np.mean(solar_radiation_wm2)
print(f'Average Temperature during the day = {average_temp:.2f} °C')
print(f'Average Solar Radiation during the day = {average_solar_rad:.2f} W/m^2')
```

EK3. Formüller ile hesaplanan parametrelerin özeti

Güneş Kollektörü Tarafından Soğurulan Güneş Enerjisi (Q_{solar})

$$Q_{solar} = A \cdot I \cdot \alpha$$

$$Q_{solar} = 1500 \text{ m}^2 \cdot 413 \text{ W/m}^2 \cdot 0.85 = 526,575 \text{ W}$$

Bu durumda, kollektör tarafından soğurulan toplam güneş enerjisi 526,575 W (veya 526.6 kW) olarak hesaplanır.

Bacanın Kesit Alanı (Achimney)

$$Achimney = \pi \cdot (D/2)^2$$

Baca çapını $D = 20$ m olarak yerine koyarsak:

$$Achimney = 3.14159 \cdot (20/2)^2 = 314.16 \text{ m}^2$$

Bacanın kesit alanı 314.16 m²'dir.

Havanın Kütleli Akış Hızı (\dot{m})

$$\dot{m} = \rho \cdot Achimney \cdot v$$

Değerleri yerine koyarsak: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$, $Achimney = 314.16 \text{ m}^2$, ve $v = 15 \text{ m/s}$:

$$\dot{m} = 1.225 \text{ kg/m}^3 \cdot 314.16 \text{ m}^2 \cdot 15 \text{ m/s} = 5775.45 \text{ kg/s}$$

Havanın kütleli akış hızı 5,775.45 kg/s olarak hesaplanır.

Havanın Sıcaklık Artışı (ΔT)

$$\Delta T = Q_{solar} / (\dot{m} \cdot c_p)$$

$Q_{solar} = 526,575 \text{ W}$, $\dot{m} = 5775.45 \text{ kg/s}$ ve $c_p = 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ değerlerini yerine koyarsak:

$$\Delta T = 526,575 \text{ W} / (5775.45 \text{ kg/s} \cdot 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K}) = 0.09 \text{ K}$$

Havanın sıcaklık artışı 0.09 K olarak hesaplanır.

Baca Etkisi ile Basınç Farkı (ΔP)

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot H \cdot (\Delta T / T_a)$$

Değerleri yerine koyarsak: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $H = 250 \text{ m}$, $\Delta T = 0.09 \text{ K}$, ve $T_a = 295 \text{ K}$:

$$\Delta P = 1.225 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 250 \text{ m} \cdot (0.09 / 295) = 0.92 \text{ Pa}$$

Basınç farkı 0.92 Pa olarak hesaplanır.

Hacimsel Akış Hızı (Q_v)

$$Q_v = Achimney \cdot v$$

Değerleri yerine koyarsak: $Achimney = 314.16 \text{ m}^2$ ve $v = 15 \text{ m/s}$:

$$Q_v = 314.16 \text{ m}^2 \cdot 15 \text{ m/s} = 4712.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hacimsel akış hızı 4712.4 m³/s olarak hesaplanır.

Güç Çıkışı (P)

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Değerleri yerine koyarsak: $\dot{m} = 5775.45 \text{ kg/s}$, $c_p = 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, ve $\Delta T = 0.09 \text{ K}$:

$$P = 5775.45 \text{ kg/s} \cdot 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \cdot 0.09 \text{ K} = 526,575 \text{ W}$$

Güç çıkışı 526,575 W (veya 526.6 kW) olarak hesaplanır.

Mekanik Güç Çıkışı (P_{mech})

$$P_{elec} = \eta \times P_{mech}$$

$$P_{mech} = (526.6) / 0.85 = 619.5 \text{ kW}$$

Mekanik Güç Çıkışı 619.5 kW olarak hesaplanır.

Çizelge Ek3. SPSS hesaplamaları

Hesaplama Adımı	Formül	Değerler	Sonuç
Güneş Kollektörü Tarafından Soğurulan Güneş Enerjisi (Qsolar)	$Q_{solar} = A \cdot I \cdot \alpha$	$A = 1500 \text{ m}^2, I = 413 \text{ W/m}^2, \alpha = 0.85$	526,575 W (veya 526.6 kW)
Bacanın Kesit Alanı (Achimney)	$A_{chimney} = \pi \cdot (D/2)^2$	$D = 20 \text{ m}$	314.16 m ²
Havanın Kütleli Akış Hızı (\dot{m})	$\dot{m} = \rho \cdot A_{chimney} \cdot v$	$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3, A_{chimney} = 314.16 \text{ m}^2, v = 15 \text{ m/s}$	5,775.45 kg/s
Havanın Sıcaklık Artışı (ΔT)	$\Delta T = Q_{solar} / (\dot{m} \cdot c_p)$	$Q_{solar} = 526,575 \text{ W}, \dot{m} = 5775.45 \text{ kg/s}, c_p = 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$	0.09 K
Baca Etkisi ile Basınç Farkı (ΔP)	$\Delta P = \rho \cdot g \cdot H \cdot (\Delta T / T_a)$	$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3, g = 9.81 \text{ m/s}^2, H = 250 \text{ m}, \Delta T = 0.09 \text{ K}, T_a = 295 \text{ K}$	0.92 Pa
Hacimsel Akış Hızı (Q_v)	$Q_v = A_{chimney} \cdot v$	$A_{chimney} = 314.16 \text{ m}^2, v = 15 \text{ m/s}$	4712.4 m ³ /s
Güç Çıkışı (P)	$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$	$\dot{m} = 5775.45 \text{ kg/s}, c_p = 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K}, \Delta T = 0.09 \text{ K}$	526,575 W (veya 526.6 kW)
Mekanik Güç Çıkışı (P _{mech})	$P_{elec} = \eta \times P_{mech}$	$\eta = 0.85, P_{elec} = 526.6 \text{ kW}$	619.5 kW

EK4. 60 \$/MWh elektrik fiyatıyla ekonomik analiz

1. Yıllık Gelir Hesabı

Yıllık gelir şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Yıllık Gelir} = \text{Eannual} \times \text{Elektrik Fiyatı}$$

Burada:

$$\text{- Eannual} = 4,835.64 \text{ MWh/yıl}$$

$$\text{- Elektrik Fiyatı} = 60 \text{ USD/MWh}$$

Bu durumda:

$$\text{Yıllık Gelir} = 4,835.64 \times 60 = 290,138 \text{ USD/yıl}$$

2. Net Kâr Hesabı

Net kâr, toplam işletme maliyetlerinin yıllık gelirden çıkarılmasıyla hesaplanır:

$$\text{Net Kâr} = \text{Yıllık Gelir} - \text{Toplam İşletme Maliyeti}$$

Burada:

$$\text{- Yıllık Gelir} = 290,138 \text{ USD/yıl}$$

$$\text{- İşletme Maliyeti} = 100,000 \text{ USD/yıl}$$

Bu durumda:

$$\text{Net Kâr} = 290,138 - 100,000 = 240,138 \text{ USD/yıl}$$

3. Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi, ilk yatırımın geri kazanılma süresini ifade eder:

$$\text{Geri Ödeme Süresi (yıl)} = \frac{\text{İlk Yatırım}}{\text{Yıllık Net Kâr}}$$

Burada:

$$\text{- İlk Yatırım} = 1,500,000 \text{ USD}$$

$$\text{- Yıllık Net Kâr} = 240,138 \text{ USD/yıl}$$

Bu durumda:

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = 1,500,000 / 240,138 = 6.24 \text{ yıl}$$

4. Yatırım Getirisi (ROI) Hesabı

Yatırım Getirisi (ROI) şu şekilde hesaplanır:

$$\text{ROI (\%)} = \left(\frac{\text{Yıllık Net Kâr}}{\text{İlk Yatırım}} \right) \times 100$$

Burada:

$$\text{- Yıllık Net Kâr} = 240,138 \text{ USD/yıl}$$

$$\text{- İlk Yatırım} = 1,500,000 \text{ USD}$$

Bu durumda:

$$\text{ROI (\%)} = \left(\frac{240,138}{1,500,000} \right) \times 100 = \%16.1$$

Çizelge Ek4. 60 \$/MWh elektrik fiyatıyla ekonomik analiz

Hesaplama Adımı	Formül	Değerler	Sonuç
Yıllık Gelir (Annual Revenue)	$\text{Eannual} \times \text{Elektrik Fiyatı}$	$4,835.64 \text{ MWh} \times 60 \text{ USD/MWh}$	290,138 USD/yıl
Net Kâr (Net Profit)	$\text{Yıllık Gelir} - \text{İşletme Maliyeti}$	$290,138 \text{ USD} - 100,000 \text{ USD}$	240,138 USD/yıl
Geri Ödeme Süresi (Payback Period)	$\frac{\text{İlk Yatırım}}{\text{Yıllık Net Kâr}}$	$\frac{1,500,000 \text{ USD}}{240,138 \text{ USD/yıl}}$	6.24 yıl
Yatırım Getirisi (ROI)	$\left(\frac{\text{Yıllık Net Kâr}}{\text{İlk Yatırım}} \right) \times 100$	$\left(\frac{240,138 \text{ USD}}{1,500,000 \text{ USD}} \right) \times 100$	%16.1

EK5. LCOE Duyarlılık Analizi ve Ayrıntılı Hesaplamalar

LCOE, genel olarak aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$LCOE \propto \frac{1}{\text{Energy Production}}$$

Maliyetler sabit kaldığından, LCOE ömür boyu enerji üretimi ile ters orantılıdır:

$$LCOE_x = LCOE_0 \times \frac{\text{Baseline Lifetime Energy}}{\text{New Lifetime Energy}}$$

Duyarlılık Analizi

Enerji Üretimindeki Artış (%)	LCOE (\$/kWh)	Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	Ömür Boyu Enerji Üretimi (kWh)
%0	0.015509	4.835.640	96.712.800
%10	0.014090	5.319.204	106.384.080
%20	0.012920	5.802.768	116.055.360
%30	0.011930	6.286.332	125.726.640
%40	0.011070	6.769.896	135.397.920
%50	0.010330	7.253.460	145.069.200

Durum: %0 Enerji Artışı

Ömür Boyu Enerji Üretimi: 96.712.800 kWh

LCOE Hesaplaması:

$$LCOE = 0.015509 * (96.712.800 / 96712800)$$

$$LCOE = 0.015509 \$/kWh$$

Durum: %10 Enerji Artışı

Ömür Boyu Enerji Üretimi: 106.384.080 kWh

LCOE Hesaplaması:

$$LCOE = 0.015509 * (96.712.800 / 106384080)$$

$$LCOE = 0.014099 \$/kWh$$

Durum: %20 Enerji Artışı

Ömür Boyu Enerji Üretimi: 116.055.360 kWh

LCOE Hesaplaması:

$$LCOE = 0.015509 * (96.712.800 / 116055360)$$

$$LCOE = 0.012924 \$/kWh$$

Durum: %30 Enerji Artışı

Ömür Boyu Enerji Üretimi: 125.726.640 kWh

LCOE Hesaplaması:

$$LCOE = 0.015509 * (96.712.800 / 125726640)$$

$$LCOE = 0.011930 \$/kWh$$

Durum: %40 Enerji Artışı

Ömür Boyu Enerji Üretimi: 135.397.920 kWh

LCOE Hesaplaması:

$$LCOE = 0.015509 * (96.712.800 / 135397920)$$

$$LCOE = 0.011078 \$/kWh$$

Durum: %50 Enerji Artışı

Ömür Boyu Enerji Üretimi: 145.069.200 kWh

LCOE Hesaplaması:

$$LCOE = 0.015509 * (96.712.800 / 145069200)$$

$$LCOE = 0.010339 \$/kWh$$