



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ BACASI SİSTEM PERFORMANSININ
SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Ali Serkan AVCI

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Ali Serkan AVCI

Tarih:

ÖZET
DOKTORA TEZİ
GÜNEŞ BACASI SİSTEM PERFORMANSININ
SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ali Serkan AVCI

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan KARAKAYA
2021, 137 Sayfa

Jüri

Danışman Doç. Dr. Hakan KARAKAYA
İkinci Danışman Prof. Dr. Aydın DURMUŞ
Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK
Doç. Dr. Lütfü NAMLI
Doç. Dr. Abdullah AKBULUT
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Özet

Bu çalışmada Batman ilinde inşa edilen prototip güneş bacasının etkinliği, bölgenin iklim şartlarında deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Deneysel ölçüm parametreleri olarak sıcaklık, hız, ısıtım ve türbin devir sayısı (RPM) seçilmiştir. Sistemin detaylı analizi için, dört farklı yönde (kuzey, güney, doğu ve batı) 24 saat boyunca eş zamanlı olarak ölçümler alınmıştır. Sistemin giriş, orta ve çıkış noktalarında sıcaklık için 24 farklı, hız için ise 6 farklı noktada ölçümler alınmıştır.

SPSS 17 istatistik programı ile elde edilen veriler arasında korelasyon analizleri yapılmıştır. Isıtım değerlerinin sistem performansı etkileyen parametreler (sıcaklık, hız ve RPM) ile yüksek korelasyonlarda ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Türbin devir sayısı (RPM) ile ısıtım değerleri arasında 0,01 anlamlı önem seviyesine göre korelasyon değerinin 0,82 olduğu görülmektedir. Bu durumda parametreler arasında pozitif yönlü yüksek düzeyde bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Deneysel parametrelere uygulanan regresyon ile bağımlı değişkenler üzerinde etkin olan bağımsız değişkenler belirlenerek etkin olmayan değişkenler modelleme sürecinde elenmiştir. Ayrıca MATLAB Curve Fitting ile elde edilen parametreler arasında amprik bağıntılar türetilmiştir. Türbin giriş hızının ortam sıcaklığı ve ısıtım değeri ile arasındaki belirlilik katsayısı 0,97 olarak bulunmuştur. Akış türünün belirlenebilmesi için Nusselt ve Rayleigh sayıları hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda tespit edilen etkin parametreler ve güç üretim değerleri yapay sinir ağı modellerini eğitime ve test aşamalarında kullanılmıştır. Elde edilen veriler MATLAB programı yardımıyla üç giriş, bir çıkışa sahip ileri beslemeli geriye yayımlı Levenbergt Marquert algoritması kullanan çok katmanlı bir YSA modelde eğitilmiştir. Farklı transfer fonksiyonları (TANSİG, PURELİN ve LOGSİG) ile 2 katmanda farklı nöron sayıları (5,10,15,20 ve 25) ile en uygun R değerine sahip eğitim ve test verileri belirlenmiştir. YSA modelin eğitimi sonrası elde edilen sonuçlar, ağı deneysel verileri tahminde oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada, LOGSİG transfer fonksiyonu için ağı eğitimi aşamasında regresyon değeri (R) 0,99 olduğu görülmüştür.

Güneş bacası prototipinin geometrik özellikleri sayısal olarakta incelenmiştir. Sayısal simülasyon hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak ticari yazılım programı ANSYS FLUENT 18.1 ile analiz edilmiştir. Prototipin geometrisi üç boyutlu olarak çizilmiştir. Sistem içerisindeki akış türbülanslı olduğu için RNG k-epsilon türbülans modeli kullanılmıştır. Güneş bacası sistemine sonlu hacimler yöntemi kullanılarak süreklilik, momentum ve enerji denklemleri uygulanmıştır. Ayrıca kolektör alanı içerisindeki radyasyon etkisinin değerlendirilmesi için DO (ayrık ordinatlar) modeli çözümlemeye dâhil edilmiştir. Son olarak sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen veriler ile sayısal verilerin birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş bacası, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Yapay sinir ağları (YSA), Etkinlik.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

INVESTIGATION OF SOLAR CHIMNEY SYSTEM PERFORMANCE: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS

Ali Serkan AVCI

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA

2021, 137 Pages

Jury

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA

Second Advisor Prof. Dr. Aydın DURMUŞ

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

Assoc. Prof. Dr. Lütü NAMLI

Assoc. Prof. Dr. Abdullah AKBULUT

Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ

Abstract

In this study, the efficiency of the prototype solar chimney built in Batman province was investigated experimentally and numerically in the climatic conditions of the region. Temperature, velocity, radiation and turbine velocity (RPM) were selected as experimental measurement parameters. For detailed analysis of the system, measurements were taken simultaneously in four different directions (north, south, east and west) for 24 hours. Measurements were taken at 24 different points for temperature and 6 different points for velocity at the entrance, middle and exit points of the system.

Correlation analyzes were made between the data obtained with the SPSS 17 statistical program. It has been observed that the irradiance values are associated with high correlations with the parameters affecting system performance (temperature, velocity and RPM). It is seen that the correlation value between turbine velocity (RPM) and irradiance values is 0,82 according to 0,01 significant significance level. In this case, it has been determined that there is a high level positive relationship between the parameters. With the regression applied to the experimental parameters, the independent variables that are effective on the dependent variables were determined and the ineffective variables were eliminated in the modeling process. In addition, empirical correlations are derived between the parameters obtained with MATLAB Curve Fitting. The coefficient of coefficient of determination between turbine inlet velocity and ambient temperature and radiation value was found to be 0,97. Nusselt and Rayleigh numbers were calculated to determine the flow type. The effective parameters and power generation values determined as a result of the analysis were used in the training and testing phases of artificial neural network models. The data obtained were trained in a multi-layer ANN model using a feed forward backward propagation Levenberg Marquert algorithm with three inputs and one output using the MATLAB program. Training and test data with different transfer functions (TANSIG, PURELIN and LOGSIG) with different neuron numbers in 2 layers (5,10,15,20 and 25) with the most appropriate R value were determined. The results obtained after training the ANN model showed that the network was quite successful in predicting the experimental data. In the study, it was observed that the regression value (R) for the LOGSIG transfer function during the training of the network was 0,99.

The geometric features of the solar chimney prototype have also been analyzed numerically by using the computational fluid dynamics (CFD). Continuity, momentum and energy equations have been applied to the solar chimney system using the finite volume method. Numerical model was built with the commercial software program ANSYS FLUENT 18.1, then the numerical analysis was performed. The geometry of the prototype has been drawn in three dimensions. Since the flow in the system is turbulent RNG k-epsilon turbulence model is used. In addition, DO (discrete ordinates) model was included in the analysis to evaluate the radiation effect within the collector area. Finally, when the numerical and experimental results were compared, it was seen that the obtained data and numerical data were close to each other.

Keywords: Solar energy, Solar chimney, Computational fluid dynamics (CFD), Artificial neural networks (ANN), Efficiency.

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesi başta olmak üzere tüm tez çalışması boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve bana rehberlik eden danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Aydın DURMUŞ'a ve Doç. Dr. Hakan KARAKAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim. Tez süresince bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK'e, her türlü yönlendirici yardımları ve desteğiyle çalışmanın verimli bir şekilde ilerlemesine büyük katkısı olan Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Güneş Bacası ölçümleri sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. M. Ali KALLIOĞLU'na, ve Arş. Gör. Umut ERCAN'a, analizlerin değerlendirme sürecinde tüm deneyim ve birikimiyle katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Murat BAYAZIT, Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN'e ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KARHAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında kullandığım ölçüm cihazlarının temini konusunda tüm destek ve katkılarından dolayı Batman Üniversitesi'ne ve Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca benden yardım ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşime, oğluma ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali Serkan AVCI
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi.....	5
1.1.1. Güneş Enerjisi Teknolojileri	6
1.1.1.1.Parabolik Oluk Teknolojisi	6
1.1.1.2. Güneş Çanak Sistemi Teknolojisi	7
1.1.1.3. Güneş Kuleleri	8
1.1.1.4.Fotovoltaik (PV) Sistemler	9
1.2. Güneş Bacası.....	10
1.2.1.Sistem Elemanları	10
1.2.1.1.Baca	11
1.2.1.2. Kolektör	12
1.2.1.3. Türbin	13
1.2.2. Güneş Bacası Sisteminin Avantajı ve Dezavantajları	15
1.2.2.1. Avantajları	15
1.2.2.1. Dezavantajları	17
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	18
2.1. Güneş Bacası Prototipleri.....	29
2.1.1. Manzaranes Prototipi.....	29
2.1.2. Diğer Prototipler	32
2.2. Çalışmanın Amacı.....	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Deneysel Çalışma	39
3.1.1. Batman İlinin Özellikleri ve Meteorolojik Verileri	39
3.1.2. Güneş Bacası Prototipinin Kurulumu	41
3.1.3. Ölçüm Parametreleri ve Deney Sistemi	47
3.1.4. Ölçüm Cihazlarının Özellikleri.....	55
3.1.4.1. Solar Meter SM206 Güneş Işınımı Ölçer	55
3.1.4.2. Extech Instruments EN300 Anemometre.....	56
3.1.4.3. K-Tipi Termokupl Sıcaklık Ölçer	57
3.1.4.4. Cem-DT-186 Hava Hızı Ölçer	57

3.1.4.5. Holdpeak 6234C Takometre	58
3.1.4.6. Elimko 680 Datalogger.....	59
3.1.4.7. Hata Analizi	60
3.2. Hesaplama Yöntemi	62
3.2.1. Güneş Bacası Sisteminin Analitik Denklemleri	62
3.2.2. Türbin Denklemleri	66
3.3. Sayısal Modelleme.....	67
3.3.1 Hesaplamalı Akışkanlar Mekanik (HAD) Yöntemi	68
3.3.1.1 Yönetici Denklemler	69
3.3.1.2 Türbülans Modelleri	70
3.3.1.3 RANS (Reynold-Ortalama Navier-Stokes) Denklemleri	72
3.3.1.4 k-ε Türbülans Modelleri	73
3.3.1.5 Reynolds Gerilme Türbülans Modeli (RSTM)	77
3.3.1.6 Radyasyon Modeli.....	78
3.3.2. Modelleme Yöntemi.....	79
3.3.2.1. Geometri ve Çözüm (Mesh) Oluşturma	79
3.3.2.2. Sınır Değerleri.....	81
3.3.2.3. Çözüm Metodu.....	83
3.4. Yapay Sinir Ağları	87
3.4.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	87
3.4.2. Çok katmanlı Yapay Sinir Ağları	89
3.4.3 Yapay Sinir Ağlarında Eğitim Kuralları	90
3.4.4. Levenberg-Marquadt Geriye Yönelim Algoritması (LM).....	91
3.4.5. Kullanılan Yazılım Programı ve Yöntem	92
3.5. SPSS (Statistical Package for the Social Sciens) İstatistik Programı	94
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	96
4.1. Güneş Bacası Prototipinin Deneysel Sonuçları	96
4.2. Güneş Bacasının İstatistiksel Sonuçları	111
4.3. HAD Sayısal Model Sonuçları	126
4.4. Yapay Sinir Ağı Sonuçları	130
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	148

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_{Baca}	Baca kesit alanı [m^2]
A_t	Kolektör giriş alanı [m^2]
A_{kol}	Kolektör yüzey alanı [m^2]
$c_1, c_2, c_{\mu}, \sigma_k$	$k-\epsilon$ türbülans modeli sabitleri
c_p	Özgül ısı katsayısı [J/kg.K]
$C_{p(\text{Betz})}$	Betz katsayısı [boyutsuz]
d	Çap [m]
D_{Baca}	Baca çapı [m]
D_h	Hidrolik çap [m]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
G_k, G^b	Türbülans üretim miktarı [boyutsuz]
Gr	Grashof sayısı [boyutsuz]
h	Film ısı transfer katsayısı [$\text{W/m}^2 \text{K}$]
h_a	Kolektör giriş ağız yüksekliği [m]
H_{Baca}	Baca yüksekliği [m]
I	Yatay düzleme gelen anlık toplam güneş ışınlamı [W/m^2]
k	Türbülans kinetik enerji [J/kg]
k	Isı iletim katsayısı [W/mK]
m	Kütleli debi [kg/s]
n_t	Türbin devir sayısı [devir/dakika]
Nu	Nusselt sayısı [boyutsuz]
P	Güç [W]
p	Basınç [Pa]
Pr	Prandtl sayısı [boyutsuz]
R	Gaz sabiti [kJ/kgK]
Ra	Rayleigh sayısı [boyutsuz]
u	x yönündeki hava hızı [m/s]
ΔT	Sıcaklık farkı [K]
t	Zaman [saat]
v	y yönündeki hava hızı [m/s]
w	z yönündeki hız [m/s]
x	Basınç düşüş faktörü
α	Termal difüzivite [m^2/s]
β	Isıl genleşme katsayısı [$1/\text{K}$]
δ	Deklinasyon açısı [$^\circ$]
ϵ	Türbülans kinetik enerjisinin yutulması [m^2/s^3]
Φ	Disipasyon terimi
λ	Dalga boyu [m]
ν	Kinematik viskozite [m^2/s]
ρ	Yoğunluk [kg/m^3]
η	Verim [boyutsuz]
μ	Dinamik viskozite [Pa.s]

Kısaltmalar

DNS	Direct Numerical Simulation
DO	Discrete Ordinates
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LES	Large Eddy Simulation
RANS	Reynold Averaged Navier Stokes
RNG	Renormalization Group
RSTM	Reynolds Stress Transport Modeling
SIMLE	Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations
SPSS	Statistical Package for the Social Sciens
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Günümüzde fosil yakıtların tüketimi, yaşam kalitesindeki gelişmeler, gelişmekte olan ülkelerin sanayileşmesi ve dünya nüfusunun artması ile birlikte büyük ölçüde artmaktadır. Bu aşırı tüketim fosil yakıt rezervlerinin hızlı bir şekilde azalmasına yol açmakla beraber çevre üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Ayrıca küresel iklim değişikliğini ve artan sağlık risklerini beraberinde getirmektedir. Bu nedenlerden dolayı ülkeler enerji modellerini yeniden gözden geçirmeye başlamışlardır ve fosil yakıtlar yerine güvenilir, tükenmez ve temiz yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerjinin, geleneksel enerji sistemlerine kıyasla, özellikle de sera gazı emisyonları ve diğer geleneksel atmosfer kirleticileri ile ilişkili olarak önemli çevresel avantajlar sağladığı görülmektedir. Bugün Dünya’da tüketilen enerjinin yaklaşık %20’si yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir.

Dünya fosil yakıtlardan uzaklaşmak istedikçe, farklı türlerde yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik araştırmalar hızla ilerlemektedir. Mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarından, doğal ve tükenmeyen bir füzyon reaktörü olan güneş enerjisi en çok umut verenlerden biridir. Bu enerjiyi kullanmak ve elektriğe dönüştürmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojilerden bazıları büyük ticari başarı seviyelerine ulaşmıştır.

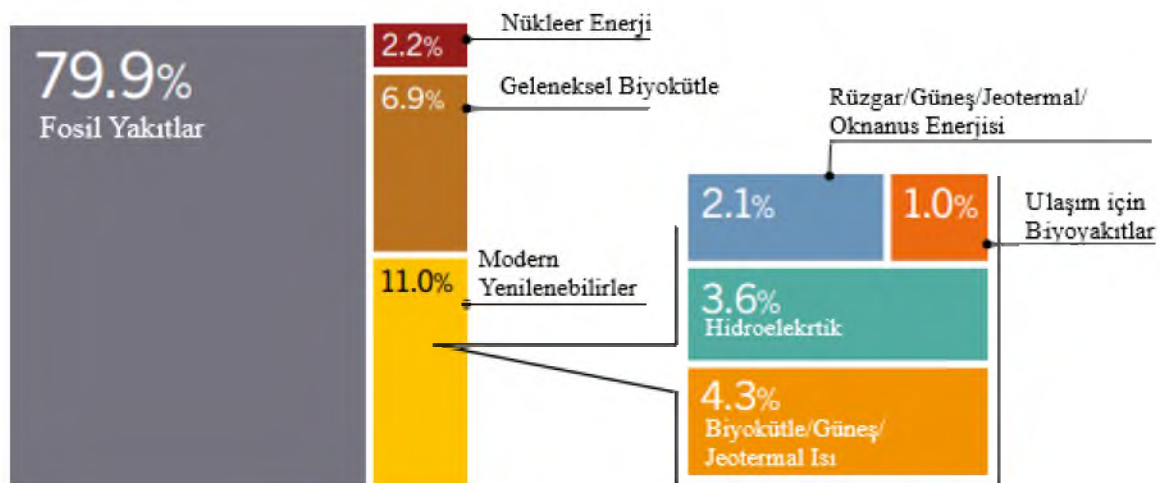
Enerjide dışa bağımlılığı yaklaşık olarak %70 civarında olan ülkemizde yenilenebilir enerji alanında son 15 yıllık süre içerisinde önemli adımlar atılmıştır. 2002 yılında yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü 12 bin 277 MW olan ülkemiz 2016 yılı itibarıyla bu gücü %172 oranında artırarak 33 bin 352 MW seviyelerine yükseltmiştir. Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı kapsamında ülkemizin 2023 yılı için toplam enerji tüketimi 1,2 trilyon MWh olarak öngörülmektedir. Bu tüketimin ise 252 milyar MWh’lık kısmının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması tahmin edilmektedir. Bu ilerlemeler dikkate alındığında toplam enerji tüketiminin en az üçte birini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılaması gerekmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017).

Kyoto Protokolü sanayileşmiş ülkelere enerji, sanayi, ulaşım ve tarım politikalarında fosil yakıt kullanımını kısmak için çeşitli yaptırımlar uygulayan uluslararası bir anlaşmadır. Ülkemiz Kyoto Protokolü’ne 2009 yılında katılmıştır. Bu durumda Türkiye, Kyoto protokolüne göre karbondioksit salınımını azaltma yükümlülüğündedir ve çevre kirliliğini azaltmaya yönelik çeşitli yükümlülükleri bulunmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığı zaman çevrede birçok hasara neden olabilmektedirler. Örneğin; asit yağmurları, karbondioksit salınımı, iklim değişikliği, küresel ısınma, ekolojik dengenin bozulması gibi olumsuz etkiler sıralanabilir.

Çevre kirleticisi atıklarının fosil yakıtlardan daha az olumsuz etkiye sahip olması, kolay uygulanabilirliği ile yenilenebilir enerji kaynakları, son zamanlarda üzerinde giderek yoğunlaşan çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duymaktadır.

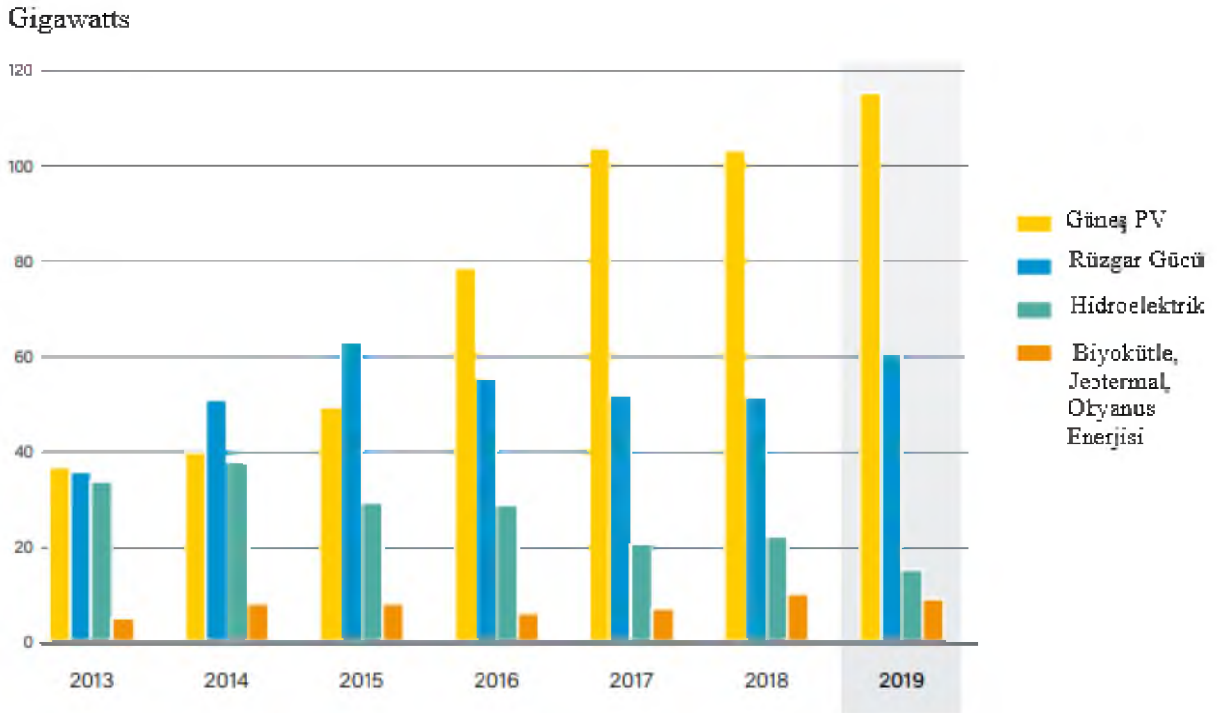
"Yenilenebilir enerji" terimi, sürekli olarak (zamanla değişen) bir temelde çevreden doğal olarak akan enerjiyi ifade eder. Bu enerji akışlarının çoğunun kaynağı, dünya yüzeyindeki güneş ışınması olayıdır. Doğrudan güneş ışınımının kendisi, doğal olarak, bir dizi başka enerji akışına dönüştürülür: Rüzgâr enerjisi, dünyanın yüzeyindeki termal gradyanlardan kaynaklanır. Örneğin dalga enerjisi, rüzgârlar ve okyanuslar arasındaki etkileşimden kaynaklanır; Hidroenerji, hidrolojik çevrimde depolanan potansiyel enerjiden gelir: ve biyo-enerji (ya da biyokütle enerjisi), fotosentez işlemiyle canlı organizmalarda (genellikle bitkiler) depolanan kimyasal enerjiyi ifade eder. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar çürümüş biyokütleden oluşmaktadır (Jackson ve Lofstedt, 1998).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr enerjisi üretimi hızla artmasına rağmen, fosil yakıtlar, küresel toplam nihai enerji tüketiminin büyük bir çoğunluğunu oluşturmaya devam etmektedir. 2018 itibarıyla, modern yenilenebilir enerji kaynakları (geleneksel biyokütle kullanımı hariç) toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %11'ini oluşturmaktadır (Şekil 1.1.). Bu enerji kaynaklarının en büyük kısmını %5,7 ile elektrik üretimi kapsamakta ve çoğu hidroelektrik enerjiden (%3,6) oluşmaktadır. Bunu yaklaşık % 4,3 ile yenilenebilir termal enerji izlemektedir. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerde öncelikli olarak pişirme ve ısıtmaya yönelik biyokütle kullanımı % 6,9 olarak yer almaktadır (Anonymous, 2020).



Şekil 1.1. Toplam nihai enerji tüketiminin tahmini yenilenebilir payı (Anonymous, 2020)

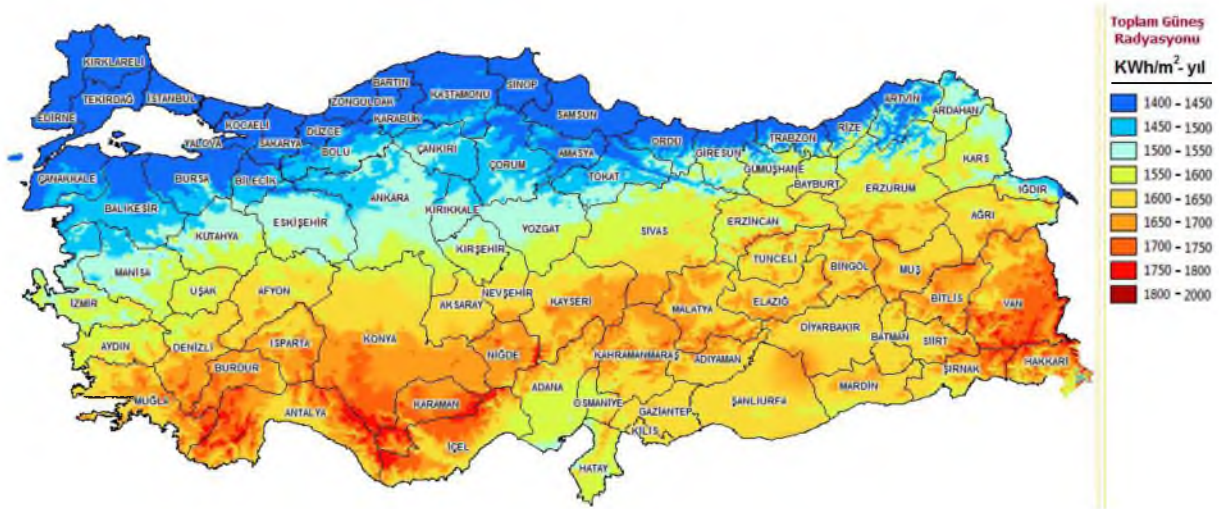
Yenilenebilir enerji üretim kapasitesi, 2019 yılında en yüksek yıllık artışını gerçekleştirmiş ve dünya çapında kurulu 115 GW'lık bir üretim ile toplam kapasiteyi 2018 yılına göre %8 arttırmıştır (Şekil 1.2.). Güneş PV, yeni kurulan yenilenebilir enerji kapasitesinin yaklaşık %57'sini karşılamıştır. 2019 yılında güneş PV kapasitesi, fosil yakıtların ve nükleer enerjinin net ilavesinden daha fazla katkı sunmuştur. Geriye kalan yenilenebilir enerji kapasitesi katkılarının çoğunu ise rüzgâr ve hidroelektrik enerjisi oluştururken, sırasıyla yaklaşık %30 ve %8 oranında katkı sağlamışlardır (Anonymous, 2020).



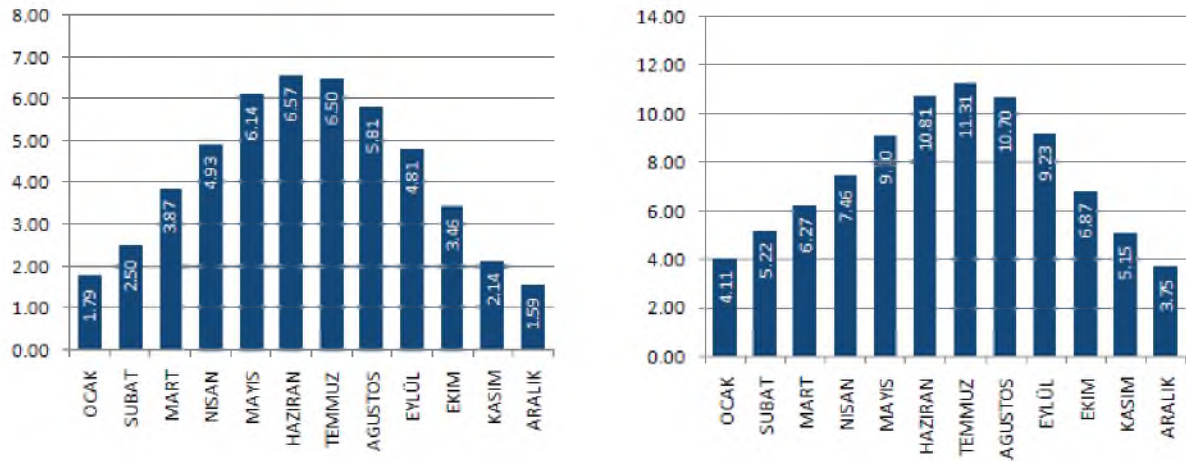
Şekil 1.2. Global Yenilenebilir Enerji Kapasitesi 2013-2019 (Anonymous, 2020)

Güneş enerjisi Türkiye'nin iklim ve coğrafyasına uygun bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle mevcut güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok Avrupa ülkesine göre daha avantajlıdır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2,741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1527 kWh/m² (günlük ortalama 4,18 kWh/m²gün) olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 1.3.'te Türkiye Güneş Potansiyeli Haritası ve Şekil 1.4.'te ise Türkiye'nin global ışıınım değerleri (kWh/m²gün) ve güneşlenme süreleri (Saat) gösterilmiştir (Anonim, 2020a).

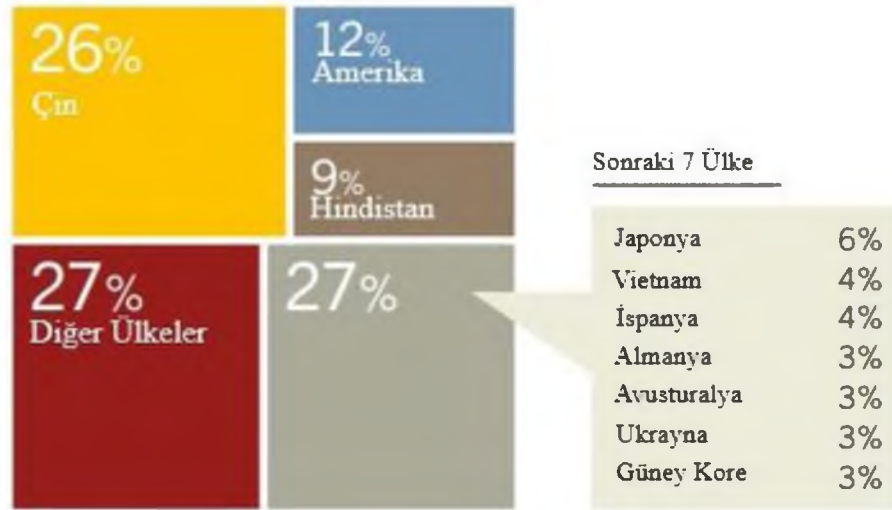


Şekil 1.3. Türkiye Güneş Potansiyeli Haritası (Anonim, 2020a)



Şekil 1.4. Türkiye'nin Global Işınım Değerleri (kWh/m²gün) ve Güneşlenme Süreleri (Saat) (Anonim, 2020a)

Ayrıca ülkemizde Eylül 2020 sonu itibarıyla güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 6361 MW olarak hesaplanmıştır. 2018 Haziran ayı sonu itibarıyla ülkemizde lisanssız 4,703 MW, lisanslı 23 MW olmak üzere toplam PV güneş enerjisi santrali kurulu gücü 4,726 MW'tır. Ayrıca global pazarda PV güneş enerji teknolojilerinin % 2,7'sini karşılamaktadır (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. Güneş PV Global Kapasitelerinin İlk 10 ve Diğer Ülkeler için dağılımı (Anonymous, 2020)

1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıma enerjisidir. Güneş oluşumunun temel kaynağı hidrojen atomunun helyuma parçalanmasıdır. Bu enerjinin değeri ise 10^{18} kWh civarındadır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Güneş ışınlam enerjisinin %46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, %45'i görünür ışık bölgesinde, geri kalan miktarı ise mor ötesinde bulunur (Anonim, 2009).

Enerji kaynakları açısından güneş enerjisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Güneş ışığı, Dünya'nın hava sistemlerini çalıştıran ısı kaynağıdır. Yeryüzünde suyu buharlaştırır bu nedenle hidroelektrik enerji sistemlerinden sorumludur. Güneş ayrıca, küresel rüzgârları yönlendiren enerjinin çoğunu sağlar, bu nedenle rüzgâr enerjisinden sorumludur. Dünyadaki rüzgârların bir ürünü olan dalga gücü, dolaylı olarak güneş enerjisinin bir ürünüdür. Dünya üzerindeki tüm ana elektrik kaynakları doğrudan ya da dolaylı olarak Güneş'e bağlanabilir.

Güneş, Dünya'nın yüzeyindeki herhangi bir sabit noktada aralıklı bir enerji kaynağı sağlar, çünkü sadece gündüz saatlerinde kullanılabilir. Ayrıca, güneş radyasyonu yoğunluğu hem zaman hem de atmosferik koşullara göre değişir. Sonuç olarak, güneş enerjisi kendi başına sürekli bir elektrik gücü kaynağı sağlayamaz. Küçük veya şebeke dışı uygulamalar için güneş pilleri, gece saatlerinde güç sağlamak için gün boyunca şarj edilen bir pil enerji depolama sistemi ile yedeklenebilir. Daha büyük ve şebekeye dayalı güneş enerjisi üretimi için ise alternatif bir jeneratöre ihtiyaç vardır (Breeze, 2016).

1.1.1. Güneş Enerjisi Teknolojileri

Güneş ışınlamını çeşitli yöntemlerle elektriğe çeviren cihazlar güneş enerjisi üretim teknolojileri olarak adlandırılır. Şu anda, iki ana tür güneş enerjisi üreten teknoloji vardır. Birinci tür kavramsal olarak en basit yöntemdir, güneş ışınlamında yer alan ısı enerjisini toplar böylece buhar veya gaz türbini gibi bir ısı motorunu çalıştırmak için kullanılabilir. Bu tür bir güç üretimi için güneş termik santralleri örnek verilebilir. Güneş enerjisi termik santrallerinde gündüz saatlerinde toplanan güneş enerjisi, depolama ortamını ısıtmak için kullanılır. Daha sonra ısı, ikinci bir ısı transfer döngüsü kullanılarak bu ortamdan çıkarılır ve bu ısı, ısı motorunu çalıştırmak için kullanılır. Isı deposunun boyutu yeterince büyükse, günde 24 saat tam güç sağlamak için yeterli ısı enerjisini tutabilir.

Güneş enerjisi termik santralleri için geliştirilmiş üç ana konfigürasyon vardır. Hepsinin ortak özellikleri bulunmaktadır. Ancak her biri normalde ayrı bir tür güneş termik santrali olarak kabul edilir. Güneş ışığını topladıkları ve yoğunlaştıracakları şekliyle tanımlanan bu üçlü, parabolik oluk (veya güneş çukuru) enerji santralleri, güneş kulesi enerji santralleri ve güneş çanak sistemleri olarak adlandırılır. Güneş havuzları ve güneş bacaları enerjisi teknolojileri ise henüz tam olarak geliştirilememiş olsa da enerji üretimi açısından ticarileşmeye geçmişlerdir. Güneş enerjisini elektrik üretmek için kullanmanın ikinci önemli yolu, solar veya fotovoltaik bir hücredir. Güneş ışığını emebilen ve emilen ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen transistör veya mikroçipler bir katı hal cihazıdır. Güneş pilleri daha yüksek enerji ve daha kısa dalga boylu radyasyona dayanan güneş enerjisi termik santrallerinden güneş enerjisi spektrumunun farklı bir kısmını kullanır, oysa güneş termik santralleri daha uzun dalga boylu kızılötesi ve yakın kızıl ötesi ışık kullanır. Güneş pilleri, uyduları güçlendirme ve uzaktan güç sağlama gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Breeze, 2016). Gelecekte, güneş pillerinin potansiyel olarak yenilenebilir elektrik gücü sağlamak için en uygun maliyetli ve basit güç üreten teknolojiyi sunması öngörülmektedir.

1.1.1.1.Parabolik Oluk Teknolojisi

Parabolik oluklu güneş enerjisi santrali (Şekil 1.6.), adını güneş ısısı enerjisini yakalamak ve yoğunlaştırmak için kullanılan oluk reflektörden alır. Kolektör parabolik bir kesite sahiptir. Her kolektör kuzey-güney yönünde hizalanmaktadır ve tek eksenli bir sistem üzerine kuruludur. Isı kayıplarını azaltmak için bir cam tüple kaplı metal siyah bir boru, alıcının odak hattı boyunca yerleştirilir. Parabol, güneşe doğru yöneldiğinde, reflektörde meydana gelen paralel ışınlar, alıcı tüpüne yansır. Güneşin tek eksenli izlenmesi yeterlidir ve bu nedenle uzun kolektör modülleri üretilir.

Bu sistemde 50 ila 400 °C arasındaki sıcaklıklarda etkili bir şekilde ısı üretilebilir. Elde edilen ısı daha sonra elektrik üretimi için enerji santrallerine gönderilir (Kalogirou, 2004). Parabolik oluk teknolojisi güneş enerjisi teknolojilerinin en ileri teknolojisidir. Bu tip sistemlerin en büyük uygulaması, toplam 354 MW kurulu güce sahip güneş elektrik üretim sistemleri olarak bilinen Güney Kaliforniya'daki LUZ enerji santralleridir (Kearney and Price, 1992). Dezavantajları arasında ise doğrudan bir buhar sisteminin hem kolektör alanındaki yüksek sıcaklık hem de değişen ısı girdisi koşulları altında bir su/buhar sistemini yönetme ihtiyacı nedeniyle birçok mühendislik problemi gösterilebilir. Güneş parabolik kanal sistemi, diğer yoğunlaşan güneş enerjisi teknolojilerinin bir kısmı kadar yüksek bir sıcaklıkta sıvı üretmez ve bu da elektrik üretimindeki verimliliğin daha düşük olmasını sağlar.



Şekil 1.6. Parabolik Oluk Teknolojisi (Kearney and Price, 1992)

1.1.1.2. Güneş Çanak Sistemi Teknolojisi

Güneş Çanak (Dish-Stirling) güneş enerjisi santrali sistemi (Şekil 1.7.), elektrik jeneratörlerini tahrik etmek için güneş ışınım enerjisini toplamak üzere dönen parabolik aynalardan yararlanır. Parabolik oluk teknolojisi sisteminde olduğu gibi, parabolik solar alıcılar sabit değildir. Dish aynaları güneşin hareketini takip eder, böylece termal dönüşüm verimliliği önemli ölçüde geliştirilmiş olur. Kolektör radyant güneş enerjisini emerek, dolaşan bir akışkan içinde termal enerjiye dönüştürülür. Termal enerji daha sonra ya doğrudan alıcıya bağlı bir motor-jeneratör kullanılarak elektriğe dönüştürülür ya da borulardan bir merkezi güç dönüştürme sistemine aktarılır. Parabolik oluk sistemler, 1500 °C'yi aşan sıcaklıklara ulaşabilir (Kalogirou, 2004).

Bu sistemlerden; 1983 yılında, California'daki Jet Propulsion Laboratuvarı, 11 m'lik bir yoğunlaştırıcı çapı, 24,6 kW'lık bir maksimum güç çıkışı ve %29'luk bir dönüşüm verimliliği ile bir Dish-Stirling güneş termik güç sistemine örnek verilebilir. Güneşi iki ekseninde sürekli takip ettiği için tüm kolektör sistemleri arasında en verimli sistem olmasına rağmen üç sistem arasında sistem maliyeti en yüksek olanıdır.



Şekil 1.7. Güneş Çanak Sistemi Teknolojisi

1.1.1.3. Güneş Kuleleri

Bir güneş enerjisi kulesi santrali (Şekil 1.8.), güneş enerjisinin toplandığı ve yoğunlaştığı yol ile karakterize edilir. Bu tür santrallerin merkezinde termal alıcı taşıyan uzun bir kule vardır. Kule genellikle heliostat olarak adlandırılan kare veya dikdörtgen aynalarla çevrelenmiştir. Heliostatlar özel yapılara monte edilir, böylece her biri güneşi ayrı ayrı izleyebilir ve güneş ışığını kulenin tepesindeki alıcıya yönlendirebilir. Çünkü güneş enerjisi, parabolik oluk sisteminde olduğu gibi hat boyunca bir noktada yoğunlaşır. Elde edilen enerji daha sonra ya termal enerjiyi elektrığe çeviren ve şebekeyi besleyen depoya ya da güç dönüştürme sistemlerine aktarılır. Bu tür güneş enerjisi santralleri, 30 ila 400 MW aralığındaki uygulamalar için uygundur. Ancak sistemin maliyeti yüksektir, çok fazla arazi kaplamaktadır bu nedenle çöl gibi alanlar uygundur ve günlük bakımı zordur. Kullanılan çok sayıda ayna için sert bir yapı ve destekleyici malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü şiddetli rüzgâr, aynalarda verimi etkileyebilmektedir.

Güneş kulesi fikri ilk olarak 1981 yılında İspanya'da bir buhar türbininde güneş alıcısından ısı eşanjörüne enerji taşımak için sıvı sodyum kullanılan 500 kW'lık bir tesiste test edilmiştir. Kısa bir süre sonra, 1982'de, Kaliforniya'da bir su/buhar ısı transfer ortamı ile SolarOne adlı bir tesis inşa edilmiştir. Bu pilot tesis, her biri 40 m² olan 1818 aynaya sahiptir ve 10MW üretebilmektedir. 1996 yılında, Solar One, bir erimiş tuz ısı transfer sistemine güncellenmiştir. Ayrıca 50 m²'lik 108 ayna halkası daha sisteme dâhil edilmiştir. Günümüzde Solar Two olarak adlandırılan yeni pilot tesis de 10 MW'lık bir üretim kapasitesine sahiptir. Daha sonra PS20 adında başka bir güneş santrali ile 20MW'lık üretim kapasitesine çıkılmıştır (Breeze, 2016).



Şekil 1.8. Güneş Kuleleri Teknolojisi (Mojave Çölü)

1.1.1.4. Fotovoltaik (PV) Sistemler

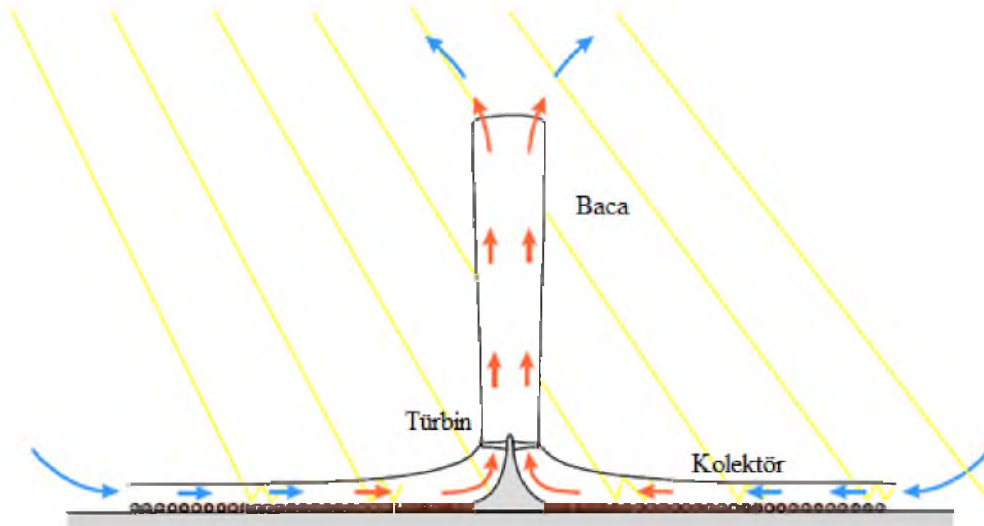
Fotovoltaik enerji üretim sistemi, esas olarak fotovoltaik hücrelerden, bir güneş kontrol cihazından ve bir depolama pilinden oluşmaktadır. Hücre, katı halli bir cihazdır, dolayısıyla hareketli parçalara sahip değildir; Güneş ışığını yakalamak ve elektriğe dönüştürmek için yapıldığı öğelerin fiziksel özelliklerini basitçe kullanır. Son derece gelişmiş teknolojiye dayanmasına rağmen, bir güneş pilinin yerleştirilmesi kolaydır. Çıkış gücü 220 V veya 110 V olduğundan, bir invertöre ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş fotovoltaik hücrelerinin gelişimi çok hızlı olmuştur. Çeşitli sanayi ve tarım alanlarında kullanılmıştır. Güneş paneli üretiminin hızla azalan maliyetlerinden dolayı güneş enerjisi kullanımı dünya çapında güçlü bir şekilde artmaktadır.

1.2. Güneş Bacası

Güneş bacası olarak da adlandırılan güneş bacası sistemi, güneş ışınımından elektrik üreten bir yenilenebilir enerji santralidir.

1.2.1.Sistem Elemanları

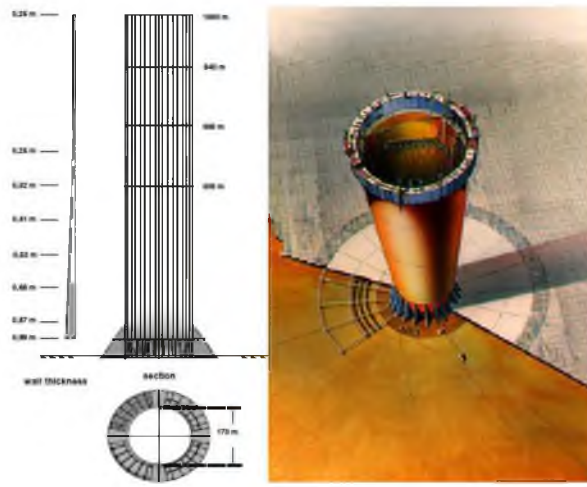
Sistem üç bölümden oluşmaktadır: Baca, kolektör ve türbin (Şekil 1.9.). Kolektörün temel amacı, içindeki havayı ısıtmak için güneş ışınımını toplamaktır. Direkt ve difüz güneş ışınımı, enerjinin belirli fraksiyonlarının yansıtıldığı, emildiği ve iletildiği cam çatısına çarpmaktadır. Doğal konveksiyon mekanizması sayesinde, sıcak zemin havayı ısıtır ve bu da yükselmesine neden olur. Sistem içerisindeki hava yoğunluğu, aynı yükseklikteki çevreden daha az olduğu için, itici güç olarak hareket eder. Kolektörün ortasında dikilen bacanın yardımı ile sürekli bir hava akışı, sistem ve çevre arasında büyük bir basınç farkı oluşturur. Böylece kolektör çevresine daha fazla hava çekilir ve zorlanmış konveksiyon başlatılır. Isınan hava daha sonra büyük bir hızla bacaya yükselir. Baca tabanı ve çıkıştaki ortam basıncı arasındaki basınç farkı, yoğunluk farkından tahmin edilebilir. Bu da, girişteki ve baca üstündeki havanın sıcaklığına bağlıdır. Eksen tabanlı bir türbin, baca dibine veya büyük bir basınç düşüşünün olduğu kolektörün çıkışına yakın yerleştirilirse, havanın potansiyel ve ısı enerjisi kinetik enerjiye ve en sonunda elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Ming, 2016).



Şekil 1.9. Güneş bacası sistemi (Schlaich, 1995)

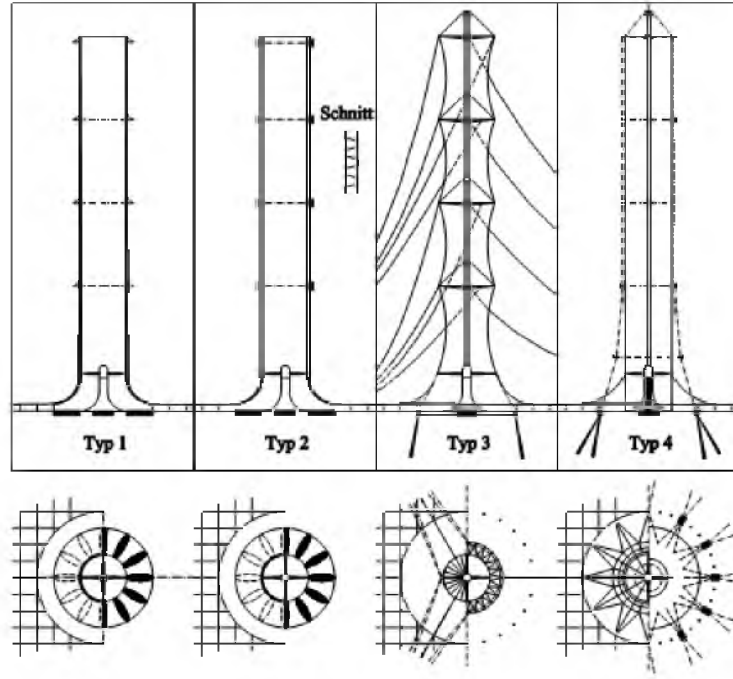
1.2.1.1.Baca

Baca güneş bacası sistemin temel ana elemanıdır. Büyük bir kule gibi davranan baca, kolektörün merkezinde yer alır ve sistemin termal motorudur. Baca, bir hidroelektrik basınç tüpü veya cebri boru gibi, optimum yüzey hacim oranı nedeniyle düşük sürtünme kaybına sahip bir basınç borusudur. Üstteki soğuk hava ile alt kısımdaki ısıtılmış hava arasında bir sıcaklık farkı oluşur. Böylece bacanın tabanından en üstteki atmosfere doğru havayı emen baca etkisi yaratılır. Yaklaşık 200 m uzunluğundaki bir güneş bacası havanın sıcaklığını 35°C artırabilir. Bu değer baca girişinde yaklaşık 15 m/s'lik bir hız üretir (Schlaich, 1995). Şekil 1.10.'da yapım aşamasında olan 1000 m uzunluğunda bir baca borusu gösterilmiştir (Schlaich, 1999) .



Şekil 1.10. Yapım aşamasındaki 1000 m uzunluğunda baca borusu (Schlaich, 1999)

Baca inşası için çeşitli yöntemler vardır: Serbest duran betonarme borular, teller ile desteklenen çelik sac borular veya membranların kaplanmasıyla kablo-ağ konstrüksiyonu vs. Bu tür yapıların tasarım prosedürleri soğutma kuleleri için hali hazırda kullanılmaktadır. Detaylı statik ve yapısal-mekanik incelemelerde, kuleyi sağlamlaştırmak için ince bir duvar malzemesinin yeterli olacağı düşünülmektedir (Dhahri and Omri, 2013). Schlaich (1994), yüksek baca yapıları için en iyi seçimin, uygun maliyetleri ve uzun ömürlü olmaları nedeniyle betonarme yapılar olduğunu vurgulamıştır. Betonarme kulenin kuru iklimdeki ömrü en az 100 yıldır. Şekil 1.11.'de farklı şekillerdeki baca tipleri gösterilmiştir (Bernardes, 2004).

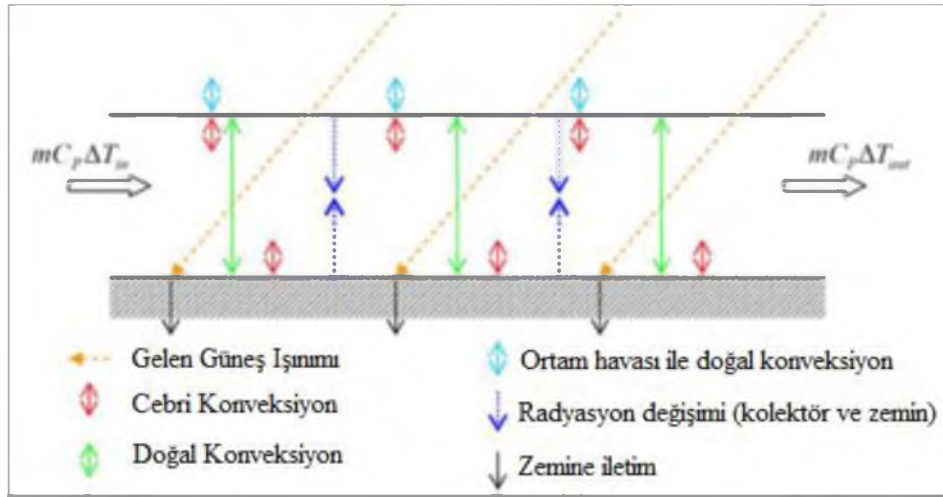


Şekil 1.11. Baca inşaat şekilleri (Bernardes, 2004)

Güneş bacaları, gece boyunca yere yayılan ısı ile üretilen hava sıcaklığındaki düşük artışı ve hatta soğuk bir kış gününün yetersiz güneş ışınlamını bile iyi bir şekilde kullanabilir. Bununla birlikte, kolektör ve türbinlerle karşılaştırıldığında, baca verimliliği nispeten düşüktür. Baca mümkün olduğunca uzun olmalıdır. Örneğin, 1000 metre yükseklikte, baca verimliliği %3'ten biraz daha büyüktür (Schlaich, 1995). Baca yükseliği arttıkça verimlilik artmaktadır.

1.2.1.2. Kolektör

Bir güneş bacası sisteminin ana bileşenlerinden biride güneş kolektörüdür. Güneş enerjisi kolektörleri, güneş ışınlam enerjisini faydalı ısıya dönüştüren özel ısı değiştiricileridir. Kolektör, sıcak hava üreten bacanın parçasıdır. Plastik film veya cam plastik filminden oluşan bir çatıya sahiptir. Çatının yüksekliği, baca tabanına bitişik olarak yükselir, böylece hava, minimum sürtünme kaybıyla baca tabanına yönlendirilir. Bu çatı kısa dalga güneş ışınlamını emer ve uzun dalga ışınlamını ısıtılmış zeminden korur. Böylece çatı altındaki zemin ısınır (Şekil 1.12.) ve ısınıp radyal olarak dışarıdan giren havaya aktarır (Schlaich, 1995).



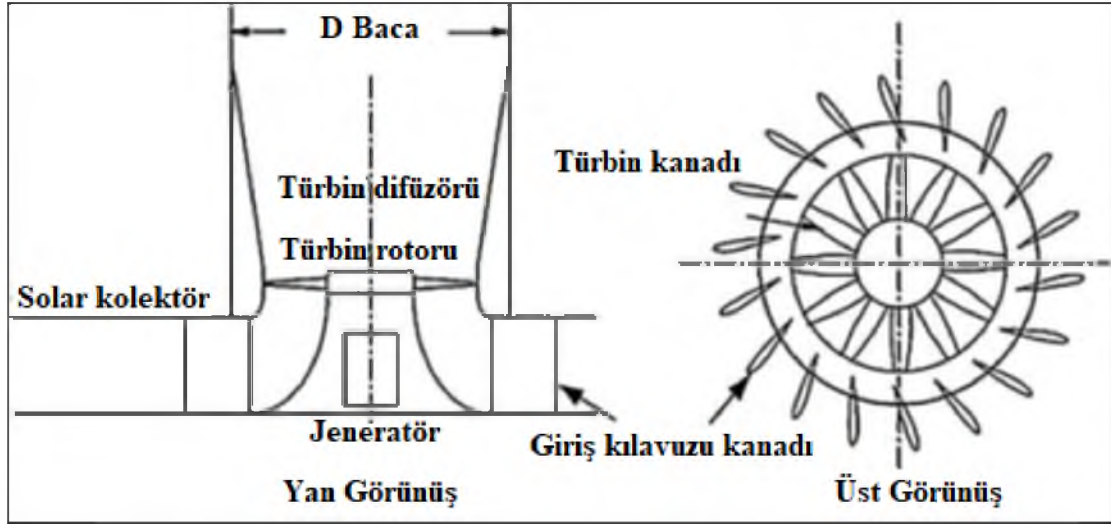
Şekil 1.12. Kolektör termal denge şeması (Schlaich, 1995)

Tipik bir kolektör, hava girişine bağlı olarak güneş enerjisi ışınımının yaklaşık olarak %70'ini ısıya dönüştürebilir; Bu nedenle yıllık ortalama oran %50 civarındadır. Ayrıca, kolektör altındaki zemin doğal bir enerji deposudur. Kurak bölgelerde toz ve kum kaçınılmaz olarak cam toplayıcı üzerinde toplanır bu nedenle verimlilik azalmaktadır. Kumdan ziyade taşlı alanlar seçerek, toz sorunu en aza indirilebilir. Buna ek olarak kolektörün çevresindeki alanlar bir sera olarak veya kurutma tesisleri için ekstra maliyet olmadan ve önemli bir performans kaybı yaşamadan kullanılabilir.

Kolektör çatısı çok uzun bir kullanım ömrüne sahiptir. Uygun bakımla kolayca 60 yıl veya daha fazla kullanılabilir. Bu nedenle, bir güneş bacası toplayıcısı ekonomiktir (basit yapısı nedeniyle düşük yatırım maliyetleri ve uzun ömür), düzgün akışlı bir çalışma ortamı olarak hava kullanıldığı için operasyonu basittir ve yüksek bir enerji verimliliği seviyesine sahiptir (Schlaich, 1995).

1.2.1.3. Türbin

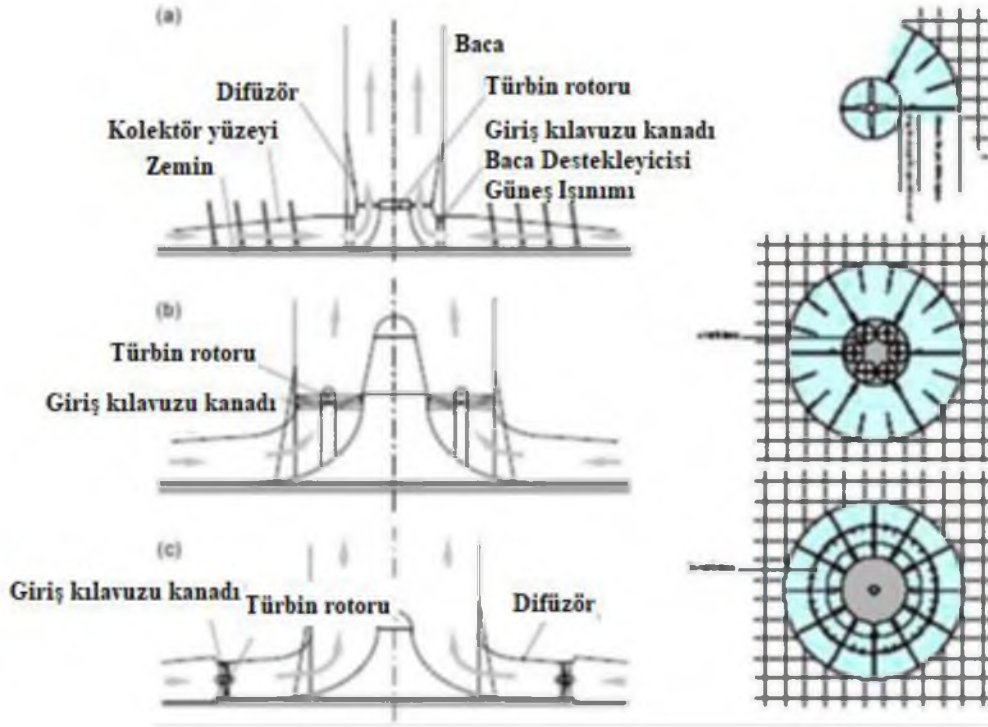
Türbinler, baca içerisindeki akımının oluşturduğu kinetik enerjiyi, mekanik enerjiye dönüştüren ve elektrik enerjisinin elde edildiği en son sistem elemanıdır. Türbinler çoğu zaman baca tabanına yerleştirilir. Baca içerisinde kullanılan türbinler basınç kademeli rüzgâr türbinleridir. Türbinden elde edilecek güç hacimsel debi ile basınç kaybına bağlıdır. Türbinden önce ve sonra hava hızı yaklaşık aynıdır (Schlaich, 1995). Şekil 1.13.'te tipik bir güneş bacası türbini gösterilmektedir (Backström ve Gannon, 2004).



Şekil 1.13. Güneş baca türbini şematik düzeni (Backström ve Gannon, 2004)

Güneş baca türbinleri, büyük rüzgâr türbinleri gibi benzer özelliklere sahiptir. İkisi de hava akımındaki büyük miktarda enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür ve bu enerji bir şebekeyi besler. Ancak önemli farklılıklar da vardır. Güneş bacası türbinleri sert hava koşullarından korunur, ancak yüksek sıcaklıklarla baş etmek zorundadır. Kolektör ve baca, hava akış hızındaki büyük dalgalanmaları önleyen bir tampon görevi görür, yani türbin kanatları üzerindeki dinamik yükler ve diğer tüm döner bileşenler, nispeten düşüktür (Backström ve ark, 2008).

Güneş bacası sistemi için çeşitli türbin düzenleri ve konfigürasyonları önerilmiştir. Örneğin Manzanares pilot tesisinde giriş kılavuz kanatları olmayan tek bir dikey eksenli türbin kullanılmıştır. Tek bir dikey eksene, çok dikey bir eksene ve çoklu yatay bir eksene sahip bir türbini içeren bir güneş baca sisteminin üç konfigürasyonu Şekil 1.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Üç türbin konfigürasyonunun dikey görünümü ve üstten görünümü: (a) tek dikey eksen tipi; (b) çoklu dikey eksen tipi; (c) çoklu yatay eksen tipi (Fluri ve Backström, 2008)

1.2.2. Güneş Bacası Sisteminin Avantajı ve Dezavantajları

Güneş bacası sistemleri yeni bir tür güneş enerjisi üretim sistemidir. Bununla birlikte, geleneksel güç üretme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Bernardes, 2004; Fluri ve Backström, 2008; Ming, 2016; Pretorius ve Kröger, 2008).

1.2.2.1. Avantajları

Büyük ölçekli yenilenebilir enerji toplama: Düşük enerji yoğunluğu hemen hemen tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının ortak özelliğidir ve yenilenebilir enerjinin büyük ölçekte nasıl toplanacağı tüm yenilenebilir enerji teknolojilerinde problem konusudur. Düşük enerjinin yoğunluğu ve güneş ışığı dalgalanması, güneş ışınımının temel özellikleridir ve aynı zamanda güneş enerjisinin geniş çaplı kullanımı için bir engeldir. Ancak 100 MW çıkış gücüne sahip bir güneş bacası sisteminde, kolektör alanının çapı birkaç kilometre olması yeterlidir bu da diğer yenilenebilir enerji santrallerine kıyasla düşük maliyetle çok miktarda düşük yoğunluklu güneş enerjisinin toplanmasını sağlamaktadır.

Düşük maliyetle enerji depolama: Yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalanması ve aralıklı olması dikkate alınarak, enerji depolama sistemleri yenilenebilir enerji teknolojilerinde, özellikle yenilenebilir enerji santrallerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Birçok farklı enerji depolama teknolojisi vardır. Ancak fiyatları çok yüksektir ve depolama kapasiteleri sadece birkaç saat sürebilir. Ancak kolektör zemini büyük bir enerji depolama sistemi olarak hizmet vermektedir. Güneş ışıması, şeffaf toplayıcı kanopi ile zemin yüzeyine çarpar ve zemin malzemelerini ısıtır. Depolanan güneş enerjisi böylece yağmurlu günlerde bile kesintisiz çalışmayı sağlayan kolektör içindeki havaya aktarılır. Kolektör altındaki enerji depolama malzemeleri toprak, kum, taş ve hermetik su olabilir. Bu malzemeleri, herhangi bir yerel alanda almak çok ucuz ve kolaydır. Gündüz vakti, enerji depolama malzemeleri doğrudan güneş ışığı altında enerji emebilir ve depolayabilir. Geceleri, ısınım durumu değiştikçe, kararlı bir güç çıkışı sağlamak için ısı açığa çıkar.

Çalışma akışkanı olarak hava: Güneş bacası sistemi için, hava faz değişimsiz tek çalışan akışkandır. Bir çalışma akışkanı veya soğutma sıvısı olarak su kullanan büyük ölçekli güç sistemleri inşa etmek oldukça zordur. Güneş bacası sisteminin çalışma sıvısı hava olduğundan, sistemin karmaşıklığını önemli ölçüde azaltan, çalışma sürecinde faz değişimi, su talebi, çalışma ortamı veya soğutma cihazı ihtiyacı yoktur.

Teknik fizibilite: Güneş bacası sistemi, bir kolektör, bir türbin, bir baca ve bir enerji depolama katmanından oluşmaktadır. Bütün bu teknolojiler erişilebilir durumdadır ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistemin önemli bir yeniliği, bu basit teknolojileri herhangi bir zorluk çekmeden elektrik üretmek için birleştirmesidir. Hareketli parçalar sadece türbinler ve jeneratördür. Sonuç olarak işletme ve bakım maliyeti çok düşüktür. Buna ek olarak, güneş bacası sistemlerinin inşası, işletilmesi ve bakımı, yerel halk için çok sayıda iş sağlayacaktır.

Çevresel iyileştirme: Genel olarak, güneş bacası sistemi çöllerde ve elverişsiz topraklarda inşa edilmektedir. Büyük hidroelektrik santraller ile karşılaştırıldığında, güneş bacası sistemi yerel ortamı ve iklimi önemli ölçüde değiştirmez. Dahası, bu teknoloji, çevre ve ekosisteme zarar vermeden, kurulduğu bölgenin su ve elektrik ihtiyacını karşılar ve geliştirebilir. Güneş bacası sistemi, kısmen fosil yakıtlı santrallerin yerini alabilir. Ayrıca CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonlarını arttırmamaktadır. Buna ek olarak sera etkisinden yararlanarak yerel ortamı iyileştirmek için kullanılabilir.

Rekabetçi yatırım ve işletme maliyetleri: Sistem basit bir şekilde tasarlanmıştır ve yerel alanda cam, çimento, çelik gibi inşaat malzemeleri mevcuttur. Santralin inşaat maliyeti kabul edilebilir oranlardadır. İlk yatırım maliyeti, aynı kurulu kapasiteye sahip bir hidroelektrik santralinin inşaat maliyetine eşdeğerdir. Ayrıca kolektör tarafından kaplanan arazi, hava nemini artırarak santralin çevresinde ortamın hava kalitesini artıracak böylece çiçek, çim ve sebze bitkileri için yeniden kullanılabilir bir alan oluşturacaktır.

1.2.2.1. Dezavantajları

Güneş bacası sisteminin dezavantajlarında en önemlisi genel verimliliğinin nispeten küçük olmasıdır. Sistemin genel verimliliği, kolektörün verimliliğinden, bacaların yukarı yönlü verimliliğinden, türbinlerin ısı veriminden, mekanik verimliliğinden ve jeneratörlerin elektriksel verimliliğinden etkilenir. Bacalar, sistemin genel verimliliğini arttırmakta önemli bir rol oynamaktadır; Baca ne kadar yüksek olursa, toplam verim o kadar yüksek olur. Kolektör çapı ne kadar büyük olursa, sistem çıkış gücü ve depolanan enerji de o kadar büyük olur. Dolayısıyla bu tür santraller, arazinin çok pahalı olduğu şehirlerin yakınındaki alanlar için uygun değildir. 100 MW'a kadar çıkış gücüne sahip bir güneş bacası sisteminin ticari uygulaması düşünüldüğünde, bacanın yaklaşık 1000 m, kolektör çapının ise birkaç kilometre olması gerekmektedir. Bu fazla miktarlarda malzeme gerektirir ve böylece lojistik problemlere neden olabilir. Daha önce benzer ölçekli yapılar inşa edilmemiştir (Ming, 2016). Ayrıca güç çıkışı gün veya yıl boyunca sabit değildir. En fazla enerji talebinin olduğu, sabahın erken saatleri ile akşam saatlerinde, güç çıkışı düşükken, elektrik talebinin düşük olduğu öğlen vakitlerinde sistem maksimum düzeyde çalışmaktadır. Ancak, güneş bacası ile ilgili yenilikçi gelişmeler bu dezavantajları azaltabilir veya ortadan kaldırabilir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Güneş bacası sistememleri ile ilgili literatür incelendiğinde çalışmaların büyük bir çoğunluğunun teorik modelleme ve simülasyon odaklı olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak FLUENT ve MATLAB vb. programlar kullanılarak akış analizi ve matematiksel modellemeler yapılmıştır. Bazı çalışmalarda elde edilen verilerin mevcut prototiplerle ve ya başka bir deneysel çalışmanın sonuçları ile kıyaslanarak doğruluğu öngörülmeğe çalışılmıştır. Kapsamlı bir analitik güneş bacası modelini tasarlamak ve tam bir doğrulama yapmak için büyük ölçekli bir güneş bacası sisteminin inşa edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle araştırmacılar küçük ölçekli araştırma tesisleri inşa ederken çoğu analitik modellerinde güven düzeyini sağlamak için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) modelleri geliştirmeyi tercih etmiştir.

Bir güneş bacası konseptinin ilk fütürist alıntılanması Günther (1931) tarafından yazılmış bir kitapta yer almaktadır. Tesis, bir tepenin eteklerine yakın bir yatay cam toplayıcısından ve bir turbo-jeneratöre uzanan geniş bir kanaldan oluşmaktadır. Kolektörün altında ısıtılan hava daha sonra kanal üzerinden turbo-jeneratöre doğru akmaktadır. Ancak yukarıda da bahsedilen güneş bacası sistem teknolojisine yönelik ciddi bilimsel ilgi Haaf ve ark. (1983, 1984) tarafından araştırılan Manzanares, İspanya'daki büyük ölçekli bir araştırma tesisinin inşası ve işletilmesinden sonra gelişmiştir. Fakat bu yapının ticari ölçekli yapılara kıyasla küçük olduğu anlaşılabacaktır.

Pasumarthi ve Sherif (1998), çeşitli parametrelerin güneş bacalarının hava sıcaklığı, hava hızı ve güç çıkışı üzerindeki etkisini incelemek için geliştirilmiş bir matematiksel model sunmuşlardır. Testler, bu amaçla tasarlanmış ve inşa edilmiş bir test modelinde gerçekleştirilmiştir. Burada sunulan matematiksel model, deneysel test sonuçlarına karşı doğrulanmıştır.

Backström ve Gannon (2000), baca yüksekliği, duvar sürtünmesi, ek kayıplar, iç sürtünme ve alan değişimlerine bağlı olarak tüm termodinamik değişkenlerin hesaplanması için tek boyutlu bir sıkıştırılabilir akış yaklaşımı sunmuşlardır. Havadaki dikey hızlanma ile ilişkili basınç düşüşünün, duvar sürtünmesiyle ilişkili basınç düşüşüne oranının yaklaşık üç kat olduğunu bulmuşlardır.

Gannon ve Backström (2003), türbin verimliliği ifade etmek için türbin akışı ve yük katsayısı açısından analitik denklemler sunmuşlardır. Gerekli güç için maksimum türbin verimliliği ve kısıtlı türbin boyutunda maksimum verimi, analitik çözümlerle bulmuşlardır. 720 mm çapındaki bir türbin modelinde ölçülen özellikler, analitik modellerinin geçerliliğini doğrulamıştır.

Pastohr ve ark. (2004), kolektör, baca ve türbin parçalarını sayısal olarak modellemişlerdir. Daha sonra sayısal sonuçlar ile modelin verdiği sonuçları karşılaştırmışlardır.

Bilgen ve Rheault (2005), yüksek enlemlerde güç üretimi için bir güneş baca sistemi tasarlamış ve performansını değerlendirmişlerdir. MATLAB programında bir matematiksel model ve kodu, aylık ortalama meteorolojik verilere ve termodinamik çevrime dayalı olarak geliştirmişleridir. Kanada, Ottawa, Winnipeg ve Edmonton olmak üzere 5 MW nominal güç üreten tesisinin termal performansını incelemişleridir. Sonuç olarak yüksek enlemlerde bulunan güneş bacası sisteminin yeterli bir termal performans gösterebildiğini göstermişlerdir.

Serag-Eldin (2006), dağlık arazide dikilecek güneş baca tesislerine yönelik yeni bir tasarım sunmuştur. Amaç, geleneksel dikey baca yerine dağın dik tarafında inşa edilen bir kanal ile yakındaki dağların yüksekliğinden yararlanmaktır. Sistemi kütle, momentum ve enerji dengelerini tanımlayan üç boyutlu denklemleri içeren bir hesaplama modeli kullanarak değerlendirmiştir. Sonuç olarak 45° eğimli bir dağ için tipik bir uygulama gösterilmiştir.

Koyun, (2006), Isparta iline kurulan prototip güneş bacası ile deneysel ve teorik olarak çalışmıştır. Sistemin kütle korunumu, momentum ve enerji denklemlerini türetmiş ve FLUENT simülasyon programıyla simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Bu simülasyon işleminde, türbülans modeli olarak RNG k- ϵ modeli kullanmıştır. Ayrıca geliştirdiği bir bilgisayar programı ile güneş bacası ile ilgili bazı temel özellikleri belirlemiştir. Sonuç olarak, deneysel verileri ile HAD analiz sonuçlarını karşılaştırmış ve birbirine oldukça yakın olduğunu gözlemlemiştir.

Herrero ve Celemin (2007), Akdeniz ikliminde güneş bacasının teorik analizini yapmışlardır. Güneş ışınlamı için depolama yüzeyi olarak 24 cm'lik beton duvar ile güneş bacalarının enerji performansını değerlendirmek için matematiksel bir model önermişlerdir. Önerilen model ile elde edilen sonuçlar, güneş bacalarında rapor edilen çeşitli model ve deneylerle uyumluluk göstermiştir.

Pretorius (2007), Güney Afrika Sishen'de kurulu bir güneş bacası sisteminin sayısal simülasyon modelini yeniden tanımlamıştır. Ayrıca termo-ekonomik simülasyon sonuçları ve hesaplamalara göre optimal tesis şartlarını belirlemiştir.

Ming ve ark. (2008), güneş bacası sistemleri üzerinde sayısal simülasyonlar yapmışlardır. Tüm sistemi üç bölgeye ayırmışlardır: Kolektör, baca ve türbin ve bu bölgeler için ısı transferi ve akışının matematiksel modellerini oluşturmuşlardır. İspanyol prototipini pratik bir örnek olarak kullanarak, üç kanatlı türbine sahip prototip için sayısal simülasyon sonuçları sistemin maksimum güç çıkışının 50 kW'dan biraz daha yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Ayrıca, türbin devir sayısının baca çıkış parametreleri üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Daha sonra beş kanatlı bir türbin ile MW dereceli bir güneş bacası sisteminin tasarım ve simülasyonunu sunmuşlardır.

Hamdan (2010), güneş bacası içerisindeki sabit hava akışının analitik model ve termodinamiğini hesaplamıştır. Akışkan dinamiği ve ideal gaz denklemi ile birleştirilmiş Bernoulli denklemi, bir güneş baca sisteminin performansını tahmin etmek için çözülmüştür. Analitik modeli, literatürde mevcut olan deneysel ve sayısal verilere karşı doğrulanmıştır. Geliştirilen analitik model, geometrik parametrelerin güneş bacası enerji üretimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Analiz, bacanın yüksekliğinin ve çapının güneş baca tasarımı için en önemli fiziksel değişken olduğunu göstermiştir.

Bouhdjar ve ark. (2011), Rayleigh sayısı ve bazı geometrik parametrelere göre, güneş bacası sistem performanslarının tahmin edilmesi için akış analizi ve enerji hesaplaması yapmışlardır. Geliştirilen bilgisayar yazılımı ile elde edilen sonuçlar Manzanares sahasındaki deney sonuçları ile benzerlikler göstermiştir.

Koonsrisuk (2012), eğimli güneş bacası sistemi için süreklilik, momentum, enerji ve durum denklemlerine dayalı bir matematiksel model geliştirmiştir. Bir kolektör içindeki akış detayları modele dâhil edilmiştir. Matematiksel model iteratif bir teknik kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Matematiksel modelin ve HAD tahminlerinin tutarlılığı, önerilen matematiksel modelin geçerliliğini doğrulamıştır. Ayrıca, kolektör ve bacadaki yoğunluk farklılıklarının yaklaşık olarak eşit olduğunu belirlemiştir. Baca yüksekliği ve kolektör alanının sistem performansı üzerindeki etkileri de gösterilmiştir.

Maia ve ark. (2013), bir güneş bacasının içindeki hava akımının enerji ve ekserji analizlerini sunmuşlardır. Bir prototipte elde edilen deneysel verileri kullanarak, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını çevreye ve enerji kaybına maruz kalan enerji ve ekserji miktarlarını tahmin etmek için kullanmışlardır.

Mazen ve ark. (2013), PV modüllerine ihtiyaç duyulmadan güneş enerjisinden yararlanma yöntemi olarak yüksek binalarda güneş bacasını önermişlerdir. Bernoulli denklemine dayalı, güneş bacası içinde sabit hava akışı için, ideal gaz akış denklemi ile kombine edilmiş basitleştirilmiş bir termodinamik analitik model, baca performansını tahmin etmek için uygulanmıştır.

Dhahri ve ark. (2014), silindirik koordinat sisteminde sabit durumlu Navier-Stokes ve enerji denklemleri kullanılarak bir güneş baca sisteminin performansına ilişkin sayısal bir analiz sunmuşlardır. Baca içindeki akış türbülanslı olduğu için FLUENT programı kullanılarak k- ϵ türbülanslı modelle simüle edilmiştir.

Sayısal simülasyonlar, referans olarak İspanyol prototipine göre yapılmıştır. Ayrıca, güneş kolektörü içindeki kinetik enerji farkı dikkate alınarak teorik bir model önermişlerdir. Kolektörün ana geometrik parametrelerinin ve güneş ışıınım yoğunluğunun hava kütle akış hızı ve kolektördeki sıcaklık artışı üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Heisler (2014), FLUENT kullanarak bir güneş bacası sisteminde hava akışını incelemiştir. Bacaların Afrika'da ve günde 24 saat çalışır olduğunu varsayarak gece çalışmasını simüle eden en iyi modeli bulmak için farklı sınır koşulları test etmiştir. Zemin ve hava arasındaki ısı transferini doğru bir şekilde hesaplamak için, FLUENT'te ayrık ordinatlar radyasyon modeli kullanan bir güneş bacası modellemesi yapmıştır.

Guo ve ark. (2015), radyasyon modeli, güneş yükü modeli ve gerçek bir türbin içeren 3D sayısal yaklaşımı kullanmışlardır. Farklı türbin devir sayıları belirleyerek güneş bacası türbinlerinin performansını incelemiştir.

Haydan (2015), bir güneş baca sisteminin toplam verimliliğini artırma üzerine teorik analiz, sayısal simülasyon ve deneysel incelemeler yapmıştır. Ayrıca güneş baca sisteminin performans analizi için tasarlanmış bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Bu bilgisayar programı ile yinelemeli bir yöntem uygulanmış ve geliştirilen denklemi çözmek için MATLAB programı kullanılmıştır. Sonuç olarak simüle edilmiş veriler, deneylerden elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve benzer olduğu görülmüştür.

Gholamalizadeh ve Kim (2016), eğimli bir kolektörde güneş bacası için hesaplamalı akışkanlar dinamiği çalışması sunmuşlardır. RNG k- ϵ türbülans modelini kullanan üç boyutlu (3D) bir model simüle etmişlerdir. Ayrık ordinatlar gri-olmayan radyasyon modeli, ışıınım-transfer denklemini uygulamak için kullanılmıştır. Güneş ışıınımını simüle etmek için, güneş ışıını izleme algoritması kullanılmışlardır. Kolektör konfigürasyonunun Manzanares santralinin performansı üzerindeki etkisini göstermek için parametrik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak kolektör çatı eğimindeki değişikliklerin, sistemin kütle akış hızında bir artışa neden olduğunu bulmuşlardır.

Mehrpooya ve ark. (2016), güneş bacası sisteminin üç boyutlu (3D) modelini, Tahran iklim verileri için hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yöntemi ile çözmüşlerdir. Model geometrisi, Manzanares prototipinden türetilmiştir. Modelin geçerliliğini doğrulamak için, Tahran şehrinde 216 iklim veri noktası için güneş bacası sisteminin model parametreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, güneş ışıınımının değişmesiyle, çıkış elektrik gücünün en düşük 180 W ile en yüksek 64 kW arasında değiştiğini göstermiştir.

Jemli ve ark. (2017), Kuzey Tunus'ta 8 m çapında ve 2 m yüksekliğinde bacaya sahip bir güneş bacası prototipi için elektrik gücünün ortalama $0,3 \text{ W/m}^2$ değerine ulaştığını ortaya koymuşlardır. Bu çalışma ile prototipin farklı pozisyonlarında sıcaklığın dağılımı ve değişimi ile üretilen elektrik enerjisi belirlenmiştir.

Mekhail ve ark. (2017), Asvan şehrinde, 6m'lik baca yüksekliği ve kolektör çapına sahip bir prototip kurmuşlardır. Bu modeli, halen yapım aşamasında olan 20 m baca yüksekliğinde, 30 m^2 kolektörde ve 1 m baca çapında daha büyük bir modelin çıkış gücünü tahmin etmek için kullanmışlardır. Sonuç olarak büyük modelin, mevcut modelden yaklaşık 600 kat fazla teorik güç üretebileceğini göstermişlerdir.

Montelpare ve ark. (2017), sonlu hacimlere dayanan sayısal bir modeli kalibre etmek için Manzanares santralinden bir çıkış noktası tanımlamışlardır. Bunu takiben, daha küçük boyutlara sahip bir güneş bacası tasarlayarak çeşitli geometrik parametreler ile kolektör eğiminde ve güneş bacası sisteminin bölümleri arasında bir analiz yapmışlardır.

Semai ve ark. (2017), bir güneş bacası sisteminde doğal konveksiyonun etkisi altında türbülanslı akış modellemesi yapmışlardır. Kolektör eğiminin ve depolama sistemi kullanılarak zeminin su ile doldurulmasının, sistem performansına etkisini incelemişlerdir. Gün batımından sonra sistem çalışmaya devam etmiştir. Sonuç olarak ekstra depolama ortamı kullanımının ve baca girişindeki hızı arttıran konfigürasyonun olumlu etkisini göstermişlerdir.

Abdelmohimen ve Algarni (2018), Suudi Arabistan'da altı farklı lokasyonda güneş bacası sisteminin performansını yıl boyunca sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal modelde RNG k- ϵ modeli seçilmiştir. Radyasyon transfer denklemini çözmek için ayrı ordinat (DO) radyasyon modelini kullanmışlardır. Yıllık ortalama 63 kW üreten bir güneş bacası sistemi inşa etmek için Suudi Arabistan'ın Bisha bölgesini en iyi yer olarak belirlemişlerdir.

Ayadi ve ark. (2018a), güneş bacası sisteminde, baca yüksekliğinin hava akışı üzerine etkisini incelemişlerdir. Güneş bacası sisteminin prototipini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel prototipi, Tunus'ta Sfax Üniversitesi'nde, inşa etmişlerdir. Hava akışını, ANSYS FLUENT kullanılarak simüle etmişlerdir. Hesaplama sonuçları ile deney sonuçlarının benzer olduğunu görmüşlerdir.

Ayadi ve ark. (2018b), ANSYS FLUENT kullanılarak farklı hız, sıcaklık, basınç ve türbülans karakteristikleri gibi hava akış özellikleri belirleyerek güneş bacası sistemleri için beş türbülans modeli test etmişlerdir. Sonuç olarak türbülans model türlerinin doğrudan sayısal sonuçları etkilediğini göstermişlerdir.

Das ve Chandramohan (2018), güneş bacası sisteminin akış ve performans parametrelerini analiz etmek için 3D sayısal bir modeli geliştirmişlerdir. Baca yüksekliği ve kolektör çatı açısı gibi geometrik parametrelerin etkilerini incelemişlerdir. Model için türbülanslı, renormalizasyon grubu (RNG) $k-\epsilon$ modeli ve ayrık ordinatlar (DO) modeli kullanılmıştır. Kolektör tavan açısındaki artışla hava hızının arttığı ancak sıcaklığının azaldığı sonucuna varmışlardır. Baca yüksekliği 3 ila 8 m arasında artırıldığında % 31 hız artışı olduğunu belirlemişlerdir.

Fadaei ve ark. (2018), faz değişim materyalinin güneş bacası üzerindeki etkilerini hem deneysel hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Bir faz değişim malzemesi olan parafin mumu, Tahran Üniversitesi kampüsündeki 1,5 m kolektör yarıçapı, 3 m baca yüksekliği ve 20 cm baca çaplı küçük yapıllı güneş bacasının içine yerleştirilmiştir.

Hassan ve ark. (2018), kolektör eğiminin ve baca sapma açısının Manzanares prototipinin performansına etkilerini göstermek için güneş bacası sisteminin parametrik üç boyutlu bir HAD analizini yapmışlardır. Sayısal modeller, DO (ayrık ordinatlar) ve RNG $k-\epsilon$ türbülans modelleri ile birleştirilmiştir. Öncelikle, HAD simülasyon sonuçları, Manzanares prototipinin deneysel verileri ile karşılaştırılmış ve daha sonra, belirlenen sayısal yöntemler ile güneş baca performansını artırmak için çeşitli kolektör eğimi ve baca sapma açıları üzerinde farklı sayısal simülasyonlar yapmışlardır.

Hooi ve Thangavelu (2018), sayısal simülasyon, standart $k-\epsilon$ türbülans modeli ve ilgili denklemleri çözmek için (DO) radyasyon modeli uygulayarak ANSYS FLUENT yazılımı ile bir güneş bacası sisteminin modelini oluşturmuşlardır. Güneş bacası sistem performansını değerlendirmek için kolektördeki sıcaklık artışı, baca tabanındaki hava hızı ve baca içerisindeki basınç düşüşünü, sıcaklık, hız ve statik basınç dağılımlarını ele alarak incelemişlerdir. Sonuç olarak daha güçlü bir güneş ışıınımı ve daha büyük bir prototipin güneş baca sisteminin performansını artıracağını göstermişlerdir.

Hoseini ve Mehdipour (2018), kolektörün farklı açıları için bir güneş bacası sisteminin sayısal analizini incelemişlerdir. Sayısal model ile ısı transfer formüllerini kullanmışlardır. Böylece ele alınan farklı açılardaki üç kolektörün güneş bacalarının sıcaklık dağılımı ve güç üretimi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir.

Najm ve Shaaban (2018), farklı çalışma koşullarında güneş baca güç değerinin sayısal araştırmasını ve optimizasyonunu sunmuşlardır. HAD yöntemi için ANSYS FLUENT uygulamışlardır. Nümerik simülasyon, güneş ışıınımına büyük ölçüde bağlı olan kolektör veriminin optimum bir yarıçapa sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, türbin basınç düşüşünün, kolektör performansını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Türbin basınç düşüşünü artırmak, optimum kolektör yarıçapının değerini artırır. Optimum kolektör yarıçapını, verimini ve güç değerini tahmin etmeye yönelik ifadeler elde etmişlerdir. Sonuç olarak 160Pa basınç düşüşü olan bir türbin kullanılarak 500W/m^2 'lik bir ışınlımda, baca yarıçapının yaklaşık 17 katı kadar bir optimum kolektör yarıçapına ihtiyaç duyulduğunu tespit etmişlerdir.

Rabehi ve ark. (2018), güneş bacası sisteminin sayısal simülasyon ve tasarımlarını sunmuşlardır. Güneş bacası sisteminin üç bölgesi için: (kolektör, baca ve türbin) Isı transferini tanımlayan matematiksel bir model kurmuşlardır. İspanyol prototipi, türbin modelini, türbin işletimi sırasında simülasyonu ve hiçbir yük durumu karşılaştırılmamış sayısal simülasyonu için bir örnek olarak seçilmiştir. Bu amaçla, ANSYS FLUENT kullanılarak, standart k- ϵ türbülans modeli ile 3D güneş bacası sistem simülasyonunu geliştirmişlerdir. Ayrıca türbin çalışmasının ve güneş ışınlımı boyunca basınç düşüşünün etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak güneş ışınlım değişiminin akış ve ısı transferi özellikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Toghraie ve ark. (2018), güneş baca sisteminde, 3D sonlu hacim yaklaşımında türbülans modeli, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kullanarak, geometrik özelliklerin güneş bacaları üzerindeki etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuçlar, çıkış gücü ve güneş baca veriminin baca yüksekliği ve kolektör yarıçapı ile pozitif ilişki içerdiğini ancak kolektör yüksekliğinde negatif olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, baca yarıçapı parametresinin, maksimum değerlere sahip olan verimlilik ve çıkış gücü için bir optimum aralığa sahip olduğunu bulmuşlardır.

Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda güneş bacası sistemlerinde entegre sistemlerin ve sistem elemanlarının yapısal ve boyutsal olarak değişikliklerinin performansı iyileştirmeye yönelik etkileri incelenmiştir.

Cao ve ark. (2014), güneş bacası sistemine düşük sıcaklıklı jeotermal su eklemişlerdir. Gelişmiş bir geçici modele dayanarak, jeotermal-güneş bacası sisteminin performansını İspanya'daki Manzanares prototipinin ana boyutlarıyla incelemek üzere teorik analizler ile gerçekleştirmişlerdir. Üç tip çalışma modeli tasarlayarak, güneş enerjisi modeli, jeotermal model ve jeotermal-güneş kombine modelini, yaz ve kış günlerinde ve yıl boyunca karşılaştırmışlardır.

Shariatzadeh ve ark. (2015), katı oksit yakıt hücreleri ve katı oksit elektroliz hücrelerini bir güneş bacası sistemine entegre ederek ısı ve elektrik üreten yeni bir enerji santrali planı sunmuşlardır. Güneş bacaları güneş ışığından elektrik üretirken tanklarda depolanan ve katı oksit yakıt hücreleri tarafından elektriğe dönüştürülen ve hidrojen üreten yüksek sıcaklık elektroliziyle ek elektrik üretmişlerdir. Sonuç olarak ışıının en yüksek değerinde 0,28 kg/s hidrojenin üretildiğini göstermişlerdir. Böyle bir hidrojen üretim oranı ile bu sistemin El Paso kentinde sırasıyla yaz ve kış aylarında talebin % 79,26 ve % 37,04'ünü karşılayacağını bulmuşlardır.

Aurybi ve ark. (2017), hibrit güneş bacası modeli ile sistem performansını arttırmak gece bulutlu günlerde güneş yokluğundaki gerilemeyi karşılamak için harici ısı kaynağı kullanan gündüz ve gece fonksiyonel entegre sistemi tasarlamışlardır. ANSYS FLUENT yazılımının yardımıyla üç boyutlu Navier-Stokes ve enerji denklemleri kullanarak çözüm yapmışlardır. Konvansiyonel model için $k-\varepsilon$ türbülanslı model denklemi ve ayrık ordinat (DO) radyasyon modeli denklemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak termal güçlendirici kanal kurulumunun sistem performansı üzerindeki etkisi tahmin edilmiş ve karma modda analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, bu sistemin gün boyunca geliştirebileceğini göstermiştir.

Kasaeian ve ark. (2017), güneş bacası türbininin akışını tanımlamak için temel bir matematiksel model sunmuşlardır. Manzanares prototipinin türbin kanatları dikkate alınarak bir 3D HAD simülasyonu gerçekleştirilmiştir. HAD simülasyonu, Manzanares güneş baca santralinin deneysel verileri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Daha sonra türbin dönme hızının, türbin kanatlarının miktarının, kolektör çapının ve baca yüksekliğinin etkilerini göstermek için 12 HAD simülasyonu yapmışlardır. Bu çalışma ile 3, 4 ve 5 kanatlarda, 40, 80 ve 100 rpm devir hızlarında, 100, 200 ve 300 m'lik baca yüksekliklerinde ve 122, 244 ve 366 m'lik kolektör çaplarda simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir.

Maghrebi ve ark. (2017), İran'ın güneybatı bölgesinde güneş bacası sisteminin performansının ve enerji üretiminin araştırılması için, Basra Körfezi'nde beş farklı bölgeyi ele almışlardır. Güneş bacalarının güç çıkışını tahmin etmek için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Sistemin hava kütle akış hızı, sistem verimliliği ve güneş kolektörü verimliliği gibi performansları değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, sistemin, yılın farklı aylarında seçilen bölgelerde 2,98 ila 5,91 MW elektrik enerjisi üretebileceğini göstermişlerdir.

Sundus ve ark. (2017), nitel ve niceliksel değerlendirme açısından kolektör çapının belirlenmesi için deneysel ve sayısal araştırmalar yapmışlardır. Dört farklı kolektör çapında günlük termal verimlilik belirlemişlerdir.

Deneyisel olarak iki farklı kolektör çapı 3 ve 6 m, ANSYS FLUENT yazılımı kullanılarak sayısal simülasyon ile 9 ve 12 m'ye kadar ölçeklendirilmiştir. Sonuçlar kolektör çapının sistem performansını etkili bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Daha büyük kolektör çapının, sistemin hızı, sıcaklığı ve günlük ortalama termal verimliliğini artırdığı sonucuna varılmıştır.

Zhou ve ark. (2017), günlük ortam sıcaklığının büyük ölçekli güneş bacası sistem performansı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, günlük ortam sıcaklığının gece ortam sıcaklığında daha büyük bir düşüşe eşlik ettiğini göstermiştir. Nem ve güneş ışıınım yoğunluğuna kıyasla günlük ortam sıcaklığının, santral güç çıkışının günlük profilini düzeltmede iyi bir faktör olduğu göstermişlerdir.

Ahmed ve Hussein (2018), güneş baca sistemine PV panelleri de dahil ederek yeni bir güneş baca tasarımı sunmuşlardır. Hibrit bir güneş bacasının iki deneysel modeli inşa edilmiş ve tasarlanmıştır. Birinci sistem kolektör cam tavan kapağına, 2m yüksekliğindeki bacaya ve bir emici PV paneline sahipken, ikinci sistem PV paneli, kolektör çatı örtüsü ve kontrplak olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak ikinci sistem tarafından üretilen toplam yararlı güç, birinci sistemde üretilen faydalı güçten daha yüksek çıkmıştır.

Ayadi ve ark. (2018), güneş baca sisteminde üretilen gücü arttırmak için türbin çaplarını değiştirmişlerdir. Böylece dört türbin çapı önermişlerdir. Her bir konfigürasyon için, hız dağılımı, hava sıcaklığı ve basıncı analiz etmişlerdir. Sonuç olarak üretilen gücün türbin çapının artmasıyla yükseldiğini göstermişlerdir.

Fathi ve ark. (2018), nükleer devirden gelen fazla ısıyı kolektördeki havanın sıcaklığını arttırmak ve dolayısıyla güneş bacası sisteminden daha fazla elektrik üretmek için kullanmışlardır. Ayrıca hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile termal analiz, mevcut fazla sıcaklığı nükleer döngüde uygulamak ve güneş baca sisteminin türbinine ait mevcut kinetik enerjiyi incelemişlerdir. Sistemin fizibilitesi değerlendirildiğinde ve kombine santralin termal verimliliği hesaplandığında nominal % 35,3 termal verime sahip tipik 1000MW nükleer enerji santralinin verimliliği % 42'ye yükseldiğini hesaplamışlardır.

Habibollahzade ve ark. (2018), güç üretimini geliştirmek ve güneş baca sisteminin elektrik üretimini gece boyunca çözmek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu amaçla, iki teknolojiyi birleştirerek entegre bir yenilenebilir döngü önermişlerdir. Tahran'daki atık enerji tesisi termodinamik olarak analiz etmişler ve kondenserlerin soğutma havasının kütle akış oranı bulmuşlardır. Kombinasyon, kondenserin çıkış sıcaklığının güneş bacası sistemine gönderilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, ortalama güç artışı farklı aylarda incelenmiştir. Etkin atık enerji tesisi parametrelerinin ve meteorolojik değişkenlerin güneş baca sisteminin güç çıkışı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir.

Hussain ve Al-Sulaiman (2018), reflektörler yardımıyla güneş ışımasını etkin bir şekilde kullanarak yeni bir güneş bacası sistem tasarımını oluşturmuşlardır. Yeni tasarımın ayrıntılı bir termodinamik analizi yapılmış ve geleneksel bir güneş bacası sistemi ile karşılaştırılmıştır. Çalışma, yansıtıcılarla gelen güneş ışınlamındaki artışın, verimlilik ve güç üretimini sırasıyla % 22,61 ve %133 artırdığını ortaya koymuştur.

Khashan ve ark. (2018), güneş bacası sisteminin 24 saat çalışabilmesi için termal depolama sistemi olarak bir su deposu kullanmışlardır. Üst tank yüzeyinin opak/saydam özellik tipinde etkisini incelemişlerdir. Güneş bacası sisteminin performansını incelemek için sayısal bir simülasyon uygulamışlardır. Sonuç olarak üst tank yüzey özelliklerinin performans parametreleri üzerinde bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Opak yüzey kullanımı, sistem enerji kazancını saydam özellikteki tank yüzeyine göre % 58,75 artırmıştır.

Kiwan ve ark. (2018), yeni bir güneş bacası sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin yeniliği, suyun doğrudan buharlaşması için güneş bacalarının kullanılması ve enerjinin ıslak hava akımından çıkarılmasıdır. Yenilik, kolektörün alanını iki bölüme ayırmak suretiyle elde edilir; İlk bölümde hava ısıtılır ve daha sonra su buharı taşıyan kolektör alanının ikinci bölümünde bulunan su üzerinden geçer. Hava bacadan geçerken, nemli hava ısıyı baca dışındaki çevre havası ile değiştirir ve bu da baca iç yüzeylerinde su yoğunlaşmasıyla sonuçlandırılmıştır.

Mohammed ve ark. (2018), güneş bacası sisteminin harici bir ısı kaynağı ile entegre edilmesi için yeni bir teknik önermişlerdir. Entegrasyon, kolektör bölgesi içinde, kolektörün içindeki havanın kinetik enerjisini arttırmak için kolektör ile zemin arasında “Termal Artırıcı Kanallar”ın kurulması ve böylece tesisin gece çalışmasına izin verilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen hibrid sistemin termo-akışkan dinamiği matematiksel olarak modellenmiştir. Sonuçlar kolektör içindeki hava sıcaklığının, termal artırıcı kanalların ilavesiyle arttırılabileceğini göstermiştir.

Samir ve ark. (2018), bir güneş bacasının gaz türbini ile birleştirilmesine bağlı olarak geliştirilmiş bir tasarım konsepti sunmuşlardır. Burada, güneş bacası sistem verimliliğinin artırılması ve spesifik maliyetlerin azaltılması amaçlanmıştır. Türbinin egzoz gazı, kolektör girişine veya ortasına enjekte edilerek, verimliliğin hızlı bir şekilde artmasına ve egzoz gazından enerjinin geri kazanılmasına olanak sağlanmıştır. Sonuç olarak baca giriş ve kolektör çıkışındaki hızın, sıcaklıkla birlikte yüksek değerlere çıktığını göstermişlerdir.

Güneş bacası sistemleri birçok çalışma tarafından kapsamlı bir şekilde simüle edilirken, yenilenebilir enerji kaynağı olarak ticari uygulanabilirliğe taşıma çabaları yeterince gelişmemiştir. Bu çabalar, inşaat dostu tasarımların geliştirilmesini ve herhangi bir tasarım değişikliğinin güneş bacası sistem performansına etkisinin değerlendirilmesini içermelidir.

Nizetic ve ark. (2008), Akdeniz Bölgesi'nde güneş bacalarının çevresel olarak kabul edilebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğini analiz etmişlerdir. Bu analizler için, Hırvatistan'daki iki karakteristik coğrafi bölge (Split ve Dubrovnik) seçilmiş ve üretilen elektrik çıkışının hesaplanması için basitleştirilmiş bir model geliştirilmiştir. Öngörülen güneş bacası sistemi, baca yüksekliği 550 m ve 1250 m kolektör tavan çapı ile 2,8–6,2 MW'lık bir güç üretecektir. Sonuç olarak Akdeniz bölgesinde güneş bacası sistem fiyatının diğer güç kaynaklarına oranla oldukça yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Fluri ve ark. (2009), önceki maliyet modellerini yeni geliştirilen bir alternatif modelle karşılaştırmışlardır. Maliyet modelleri, bir güneş bacası sisteminin, yani kolektör, baca ve güç dönüştürme ünitesinin ana bileşenleri için sunulmuştur. Sonuç olarak önceki modellerin büyük ölçekli bir güneş bacası sisteminin başlangıç ve elektrik maliyetlerini yeterince dikkate almadıklarını göstermiştir.

Akhtar ve Rao (2016), Hindistan'da 5 MW'tan 200 MW'a kadar farklı kapasitelerde güneş bacası sisteminin sermaye maliyetini hesaplamışlardır. Pretorius ve Kroger (2008), maliyet modelini kullanarak güneş bacası sisteminin yaklaşık maliyetini ortaya çıkarmışlardır. Kolektör maliyeti, özel baca maliyeti, baca yüksekliği, kolektörün giriş yüksekliği ve kolektörün çapı cinsinden ifade edilmiştir. Sonuç olarak 200 MW kapasiteli güneş bacası sistemi için en düşük seviye elektrik maliyeti yaklaşık maliyet modeli kullanılarak 2,58 Rs/kWh olarak hesaplamışlardır.

Okoye ve ark. (2016), güneş bacası sisteminin optimal boyutlarını ve önerilen tesisin ekonomik fizibilitesini eş zamanlı olarak belirlemişlerdir. Sistemin sadece indirgenmiş toplam maliyetini en aza indirmişlerdir. Aynı zamanda güneş ışınını ve ortam sıcaklığını dikkate alarak enerji talebini karşılayan en uygun tesis boyutlarını bir ticari optimizasyon çözümü kullanarak modellemişlerdir.

Ali (2017), betonarme baca, eğimli kolektör ve yüzer bacaları kapsayacak şekilde 5–200 MW aralığında on iki farklı tasarım için bir optimizasyon modeli uygulamıştır. Geri ödeme süreleri, elektrik fiyatı ve her santralin tepe gücü kapasitesi arasındaki ilişkileri değerlendirmiştir. 100 MW'lık güneş bacası sistemi için geri ödeme süresi yüzer baca tasarımında 4,29 yıl, betonarme baca ve eğimli kolektör tasarımı için sırasıyla 23,47 ve 16,88 yıl olarak bulmuştur.

Cottam (2018), üretimi kolay olan ve performansında çok az kayba neden olabilecek bir dizi yeni kolektör profili sunmuştur. Rüzgâr yüklerine direnci değerlendirmek için, küçük ölçekli asma baca prototiplerinin yatay yükleme altındaki performanslarını deneysel olarak incelemiştir.

2.1. Güneş Bacası Prototipleri

2.1.1. Manzanares Prototipi

Güneş bacası prototipi, 7 Haziran 1982'de İspanyol elektrik şirketi Union Electrica Fenosa tarafından sağlanan Manzanares bölgesinde inşa edilmiş ve işletilmiştir (Şekil 2.1.). Prototip, 10,16 m çapında 194,6 m kule yüksekliğine sahiptir ve kolektör, 0,1 mm kalınlığında farklı tipte film PVC ile kaplanmış 244 m ortalama çapa sahiptir. Kolektör, zemin seviyesinden 2 m yükseğe monte edilmiştir. Yukarı akış akımından kinetik enerjiyi çıkarmak için, 4 kanatlı dikey eksenli rüzgâr türbini, zemin seviyesinden 9 m yüksekliğe yerleştirilmiş ve 5 m kanat yarıçapına sahiptir. Bu konfigürasyonla, prototip 50 kW pik güç üretebilmiştir (Haaf ve ark., 1983).



Şekil 2.1. Manzanares Prototipi (Schlaich ve ark., 2003)

Manzanares prototipinin lokasyonu farklı iklim ve yer özelliklerine sahip diğer olası yerlerin temsili deney sonuçlarına izin vermek üzere seçilmiştir. Özellikle güneş bacası ve güneş kolektörünün büyüklüğü, kolektörün merkezindeki hava akışı ile ortam havası arasındaki sıcaklık farkının 20°C civarında olmasını sağlamak için seçilmiştir. Yüksek sıcaklık farkının ölçümde doğruluk açısından yararlı olacağı ve prensibin doğrulanacağı rapor edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık farkı, çevre ortamına aşırı ısı kayıpları nedeniyle düşük kolektör verimliliğine de yol açacaktır (Haydan 2015).

Prototipin ana elemanlarından olan güneş bacası, takviye halkaları ile 1,2 mm kalınlığında trapez levhalardan inşa edilmiş ve dört çift kablo ile üç yöne çekilmiştir. Güneş bacası dibinde güçlü bir yukarı yönlü hava akımı yaratması için güneş kolektörünün merkezine yerleştirilmiştir. Kolektör örtüsü ise PVC ve PVF imal edilmiş ve çelik çerçeveli panellerin üzerine montelenmiştir. Her bir panel Şekil 2.2.'de gösterilen, merkezinde bulunan plastik disklerin yardımıyla zemine sabitlenmiştir. Böylece yüksek rüzgârlarda dalgalanmanın önüne geçilmiştir. Ayrıca sistemde dikey eksenli rüzgâr türbinleri ile güç üretilmiş ve bunlar güneş kolektörünün merkezine veya güneş kulesinin dibine kurulmuştur, çünkü bu bölgelerde hava akışı en yüksek hızına ulaşmaktadır. Buna ek olarak farklı plastik filmler kullanılarak kolektörün performansı değerlendirilmiştir. Türbin (Şekil 2.3.), tek eksenli, rüzgâr kademeli bir türbindir. Türbin gücü 50 kW olarak belirlenmesine rağmen yaklaşık olarak en fazla 40 kW elektrik üretebildiği görülmüştür (Haaf, 1984).



Şekil 2.2. Manzaranes prototipinde kullanılan kolektör (Zhou ve ark. 2010)



Şekil 2.3. Manzaranes prototipinde kullanılan türbin (Zhou ve ark. 2010)

Manzanares prototipinin her bir ana parçanın boyutu, tasarım termal özellikleri, tasarım verimliliği ve tasarım çıktısı hakkındaki bilgileri içeren genel özellikleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Kolektör alanının % 87'si PVC filminden ve kalan alan cam malzeme ile kaplanmıştır. Rüzgâr türbini ise şebekeye bağlı veya tek başına çalıştırılmak üzere tasarlanmıştır. Güneş kolektöründen yukarı akım akışını sağlamak için dikey ekseninde düzenlenmiş dört kanattan oluşmuştur. Güneş ışıması ve ortam hava sıcaklığı sırasıyla 1000 W/m^2 ve 302 K için tasarlanmıştır. Ayrıca sistem verimliliğinin % 50'den fazla olduğu bildirilmiştir. Sıcaklık farkı ve yukarı yönlü akış hızının maksimum 20°C ve 15 m/s 'ye kadar çıkabileceği rapor edilmiştir. (Haaf ve ark., 1983)

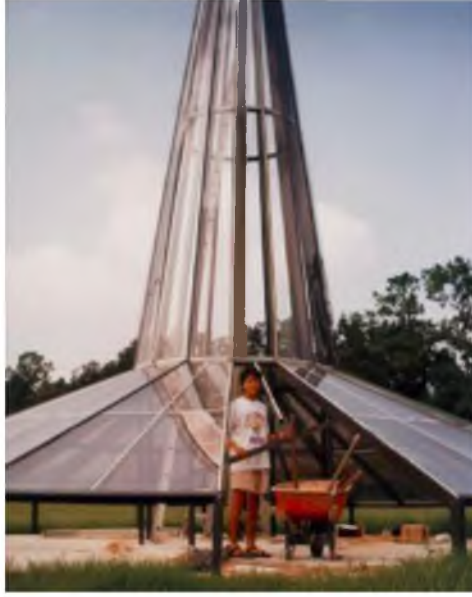
Çizelge 2.1. Manzanares prototipinin genel özellikleri (Haaf ve ark., 1983)

Kolektör	Ortalama kolektör yarıçapı	122,0 [m]
	Ortalama çatı yüksekliği	1,85 [m]
	Polimer kaplı çatı	40000 [m ²]
	Cam kaplı çatı	6000 [m ²]
Baca	Baca yüksekliği	194,6 [m]
	Baca yarıçapı	5,08 [m]
	Rotor kanat yarıçapı	5 [m]
Türbin	Türbin kanatlarının sayısı	4
	Bıçak profili	FX W-151-A
	Uçtan uca hız oranı	1:10
	Çalışma modları	Tek başına veya şebekeye bağlı
Tasarım Termal Özellikleri	İşılama	1000 [W/m ²]
	Temiz hava sıcaklığı	302 [K]
	Sıcaklık artışı (ortalama)	20 [K]
	Kolektör (ortalama)	0,32
Tasarım verimliliği	Türbin	0,83
	Sürtünme kaybı faktörü	0,9
	Yük altında yukarı yönlü hava akımı hızı koşulları	9 [m/s]
Tasarım Çıktısı	Serbest bırakma hızındaki çekim hızı	15[m/s]
	Güç (en yüksek)	50 [kW]

Manzanres prototipinin diğer sistemlere göre üstünlükleri incelendiğinde, çoğunlukla doğrudan güneş ışımasını kullanan güneş fotovoltaiklerinden farklıları dikkat çekmektedir. Güneş ışıımından gelen ısı güneş kolektörünün altındaki zemin tarafından sistemine doğal olarak depolanabilir. Güneş kolektörünün içindeki hava akışı bu mekanizmada gün içerisinde absorbe edilen ısıyı, gece iletceğı için 24 saat boyunca güneş enerjisi sağlanmış olur. Ek olarak, çalışma akışkanı sıcak hava olduğundan ve rüzgâr türbini kullanmasından dolayı, soğutma suyu ve yanıcı yakıtlar geleneksel buhar türbinindeki gibi değildir. Bu nedenle, bu önemli özellikler, inşaat malzemeleri hakkında endişe duymadan inşa edilebileceğini göstermektedir. Çünkü cam veya PVC film, beton veya çelik malzemeler az gelişmiş ülkelerde bile yeterli miktarda mevcuttur. Bununla birlikte, mevcut fosil yakıt jeneratörüyle rekabet edebilmek için önemli miktarda elektrik enerjisi üretmek amacıyla Manzanres prototipi, daha geniş bir güneş kolektörüne ve daha uzun bir güneş bacasına ihtiyaç duymaktadır. Bu durumu vurgulamak için Schlaich ve ark. (2003), 200 MW elektrik enerjisi için güneş bacasının büyüklüğünün 1000 m uzunluğunda ve 120 m çapında ve 7000 m kolektör çapıyla birlikte olması gerektiğini bildirmişlerdir. Bu boyut kendi doğal düşük verimliliğini telafi etmesi için gereklidir.

2.1.2. Diğer Prototipler

Padki ve Sherif (1988, 1999) araştırma ekibi ile beraber üç farklı araştırma yapmıştır. Gainesville'deki Florida Üniversitesi'nde küçük ölçekli bir güneş bacası sistemi modelinin çalışma mekanizmasını ve enerji depolama performansını doğrulamak için bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.4.'te görülen prototipin, güneş bacası 7,92 m yüksekliğe ve güneş kolektörü 9,15 m çapına sahiptir. İlk olarak kolektörün dış kenarı eğim tipi uzantıdan yapılmıştır; İkinci olarak ise ısı depolama ortamı, bir ısı emici olarak tanıtılmıştır. Kolektör alanının uzantısı hava sıcaklığının yükseltilmesine yardımcı olmuş ve ısı depolama ortamı sadece ortalama hava sıcaklığını arttırmakla kalmamış, aynı zamanda kütle akış oranını da arttırmıştır. Bu iki yaklaşım sistemin çıkış gücünü arttırmıştır. Sonuç olarak farklı ölçekli güneş bacası sistemi için yatırım maliyeti tahmin edilmiş ve sonuçlar büyük ölçekli güneş enerjisi üretim sisteminin mümkün olduğunu belirten sonuçlar vermiştir (Ming, 2016).



Şekil 2.4. Güneş Bacası Prototipi, Florida (Padki ve Sherif, 1988)

Avustralya Bundoora’da RMIT Üniversitesi kampüsünde bir güneş göletini baca ile birleştiren küçük bir prototip Golder (2003), tarafından 2002 yılında inşa edilmiştir. Baca çapı 0,35 m ve yüksekliği 8 m’dir. (Şekil 2.5.). Baca, konut ısıtma sistemlerinde kullanıldığı gibi esnek dairesel kanallardan yapılmıştır. Bu malzeme esnek olduğu için kanal, yaklaşık 4,2 m çapında ve 1,85 m derinliğinde küçük bir deneysel güneş göletinin birkaç metre içinde bulunan küçük bir deneysel aero jeneratörü tarafından desteklenmiştir. Daha sonra Akbarzadeh ve ark. (2009), güç üretmek için bir güneş göletini baca ile kombine etme kavramını incelemişlerdir. Araştırmacılar güneş gölet-baca kombinasyonu ile elektrik üretmek için bir senaryo üretmişlerdir. Birincisinde direkt olmayan bir ısı eşanjörü kullanılırken, ikinci ünite doğrudan temaslı ısı eşanjörünü kullanmışlardır (Dhari ve Omri, 2013).



Şekil 2.5. Güneş Bacası Prototipi, Bundoora (Golder, 2003)

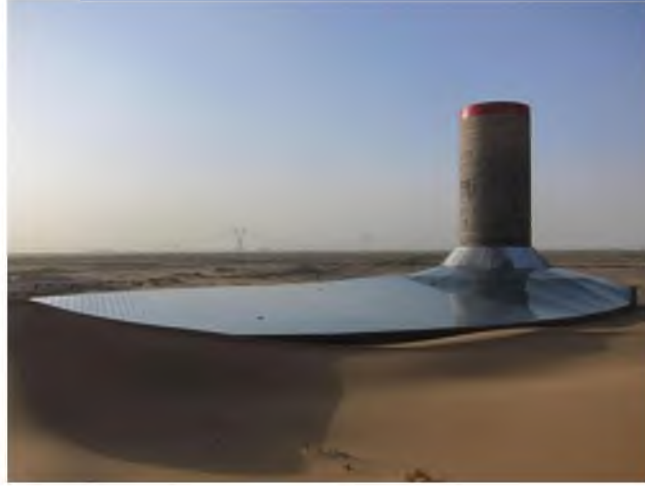
Zhou ve ark. (2007), sıcaklık alanının gün içindeki etkisini incelemek için Aralık 2002'de Çin'in Wuhan kentinde bir pilot güneş bacası sistemi tasarlamışlardır (Şekil 2.6.). Kolektör çatısı 4,8 mm kalınlığında camdan ve baca 8 metre yüksekliğinde PVC'den yapılmıştır. Kolektör 10 m çapında ve yukarı doğru eğime sahip konik biçiminde seçilmiştir. Ayrıca, güneş ışıınımını depolamak için enerji depolama sistemi olarak kolektörün altındaki yüzeyde 6 cm'lik su içeren çeşitli borular döşenmiştir. Su borularının üstünde, asfalt ve siyah çakıl ile bir santimetre kalınlığındaki kompozit katman yatağı, güneş ışıınımını absorbe eden üst tabaka olarak uygulanmış ve daha sonra üst tabakadan su borularına ısı aktarılmıştır. Baca girişinde, pilot sistemin güç çıkışını test etmek için çok kanatlı bir türbin tasarlanmış ve kurulmuştur. Bacaya giren ortam havasının çapraz akımını önlemek için baca üstünden birkaç santimetre uzağa bir kalkan yerleştirmişlerdir (Ming, 2016; Zhou ve ark., 2007b)

İran Kerman'da Mutah Üniversitesi (Ürdün), 2009 yılında inşa edilen güneş bacası prototipi Şekil 2.8.'de gösterilmiştir. Güneş bacası 3 m çapında ve 60 m yüksekliğiyle inşa edilmiştir. Güneş kolektörü ise 1600 m² arazi alanı etrafında 20 m civarında bir yarıçapa sahiptir. Bu konfigürasyondan, 800 W/m² güneş ışınımında 400 W elektrik üretilebileceği bildirilmiştir (Najmi ve ark., 2012)



Şekil 2.8. Güneş Bacası Prototipi, İran (Najmi ve ark., 2012)

Wei ve Wu (2010), Çin'in İç Moğolistan'ındaki Wuhai çölünde bir araştırma ekibi ile elektrik üretmek için rüzgâr enerjisi sistemi ile kombine edilmiş yeni bir güneş bacası sistemini 2010 yılında kurmuşlardır (Şekil 2.9.). Baca yüksekliği 53 m ve çapı 10 m'dir. Kolektörün tasarımı, kapak malzemesi olarak camın seçildiği 6170 m²'lik çöl arazisini kaplayan elips şeklindedir. Türbin konfigürasyonu, tek başına veya bağlı modda çalıştırılabilen yatay eksenli tek rotorlu tiptedir. Ekim 2010'da sistemin çıkış gücünün şebekeye bağlı 200 kW olduğu bildirilmiştir.



Şekil 2.9. Güneş Bacası Prototipi, Wuhai, Çin (Wei ve Wu, 2010)

Koyun (2006), Isparta'da, Süleyman Demirel Üniversitesi kampüsünde 2007 yılında pilot güneş baca inşa etmiştir (Şekil 2.10a.). Prototipin yüksekliği 15 m, çapı 19 m ve cam kaplı toplayıcıya sahip kolektör yüzey alanı 16 m çapındadır. Kolektör alanı yaklaşık 200 m^2 'dir. Tasarım test edilmek için hem deneysel hem de teorik olarak modellenmiştir.

Kasaeian ve ark. (2011), İran'daki Zanjan Üniversitesi'nde 2011 yılında pilot ölçekte bir güneş bacası inşa etmişlerdir (Şekil 2.10b.). Baca yüksekliği 12 m, kolektör 10 m çapındadır. Kolektör eğim açısı, maksimum güneş ışınımını emebilecek şekilde tasarlanmıştır. Türbin kanatları alüminyumdan yapılmıştır. Isı direnci ve düşük fiyatı nedeniyle, baca yapımında 25 cm çapında 12 m'lik bir polietilen boru kullanılmıştır. Ayrıca kolektör altındaki zemin tamamen siyah polietilen filmlerle kaplanmıştır.



(a)

(b)

Şekil 2.10. Güneş Bacası Prototipi, Isparta (a) (Koyun, 2007) ve Zencan İran (b) (Kasaeian ve ark., 2011)

2.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, önceden belirlenmiş bir geometriye sahip prototipte; Gücü, verimi ve parametrelerin sistem performansına etkisini inceleyerek güneş ışıınımı bakımından zengin olan Güney Akdeniz iklim bölgesinde bir model oluşturmayı amaçlamıştır. Güneş bacasının enerji profili analiz edilmiştir. Bu nedenle, toplam verimliliğin geliştirilmesine katkıda bulunmanın yolunu açmak için bir dizi sistematik analiz yapılmıştır. Bu çalışmalar arasında teorik analiz, sayısal simülasyon ve aynı zamanda prototip üzerinde deneysel incelemeler yapılmıştır. İlk olarak sistem güç çıkışını belirleyen hız, sıcaklık ve ışıınım parametreleri ile sistem performansı deneysel olarak incelenmiştir. İkinci olarak kurulan prototip için elde edilen verilere uygun bir sayısal model geliştirmiştir. Bu çalışma ile;

- Deney sonuçlarını istatistiksel olarak değerlendirilerek parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon ve regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca bu parametreler arasında amprik bağıntılar türetilmiştir.
- Prototipin kurulduğu bölgede ışıınım, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızları gibi değerler ile elde edilebilecek güç miktarını farklı transfer fonksiyonları ve nöron sayıları ile bir YSA modeli oluşturarak tahmin edilmiştir.
- Güneş bacası prototipinin geometrik özellikleri ile sonlu hacimler yöntemi kullanarak süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizinde sayısal çözümleme yapılmış ve hava akışının hız ve sıcaklık dağılımları çıkarılmıştır.
- Elde edilen sayısal ve deneysel verileri karşılaştırarak Batman ili iklim şartlarına göre güneş bacası sisteminin öngörülen performans profili geliştirilmiştir.
- Seçilen şehir Batman (Türkiye), Sıcak yaz Akdeniz iklimi (Csa) olarak sınıflandırılmıştır. Geliştirilen sayısal ve matematiksel model ile Csa, (Köppen-Geiger iklim sınıflandırması) bölgesi enlemi üzerinde ileride kurulacak olan farklı geometrilerde güneş baca prototipleri için bir model oluşturulmuştur.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneyisel Çalışma

Güneş bacası sisteminin deneyisel ve teorik modellemesi sırasında, çevresel koşulların belirlenmesi önem arz etmektedir. Sistem güneş enerjisinden yararlanarak enerji elde ettiği için güneş ışıınımı önemli bir girdi olacaktır. Sistemin performansındaki bir diğer önemli nokta, ortam hava sıcaklığı olacaktır. Diğer faktörler arasında rüzgâr koşulları ve nem bulunur. Deneyin yapıldığı konum Batman ilinin Batı Raman yerleşkesidir. Yerleşke genel itibariyle kuru ve sıcaktır. Türkiye'nin her yıl yüksek miktarda güneş ışıınımı alan bu bölgesinde, tüm bu faktörler Batman'ı büyük ölçekli bir güneş bacası sisteminin inşası için ideal bir yer haline getirmeye katkıda bulunur.

3.1.1. Batman İlinin Özellikleri ve Meteorolojik Verileri

Batman ili coğrafi olarak incelendiğinde 41 derece 10 dakika ve 41 derece 40 dakika doğu boylamları ile 38 derece 40 dakika ve 37 derece 50 dakika kuzey enlemleri arasında yer alır. Rakımı ise 550 metredir. Kentin kuzeyinde Muş, batısında Diyarbakır, doğusunda Bitlis ve Siirt, güneyinde ise Mardin ili bulunmaktadır. İlde karasal iklim koşulları geçerlidir. Kışları ılık ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kuraktır. Yıllık ortalama sıcaklık 15,9 °C, en yüksek sıcaklık ise ortalama 48,8 °C'dir. Çizelge 3.1.'de Batman ilinde yıllar içinde gerçekleşen ortalama sıcaklık ve ışıınım verileri gösterilmiştir.

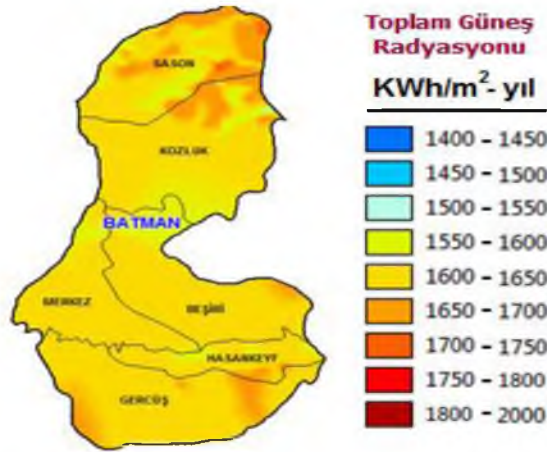
Çizelge 3.1. Batman İline Ait 1959-2019 Yılları İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler(Anonim, 2020b)

BATMAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1959 - 2019)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2,4	4,5	9,2	14,3	19,3	25,9	30,2	29,5	24,2	17,2	9,5	4,3	15,9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7,6	10,6	15,9	21,6	27,7	34,9	39,4	39,4	34,5	26,6	16,9	9,7	23,7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1,4	0,0	3,6	7,8	11,4	15,9	20,2	19,7	15,0	10,0	4,0	0,5	8,9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,2	4,6	5,5	7,2	9,0	11,5	11,9	11,2	9,8	6,9	5,2	2,9	88,9
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18,6	24,6	30,6	35,8	42,0	45,1	48,8	46,2	43,8	37,0	28,6	22,6	48,8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24,0	-22,2	-17,0	-9,0	0,9	0,0	11,8	11,5	4,4	-3,0	-7,6	-23,0	-24,0

Türkiye'nin en güneşli bölgesi Çizelge 3.2.'de gösterildiği gibi 2993 saat ve 1460 kWh/m² yıl ile Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Bu bölgenin güneşlenme süresinin en fazla olduğu illerden biride Batman'dır. Türkiye'nin ortalama ışıınım değeri 50290 W/m²/gün iken Batman'ın 51640 W/m²/gün olmaktadır. Şekil 3.1.'de Batman ili Güneş Potansiyeli Haritası gösterilmiştir (Anonim, 2020a).

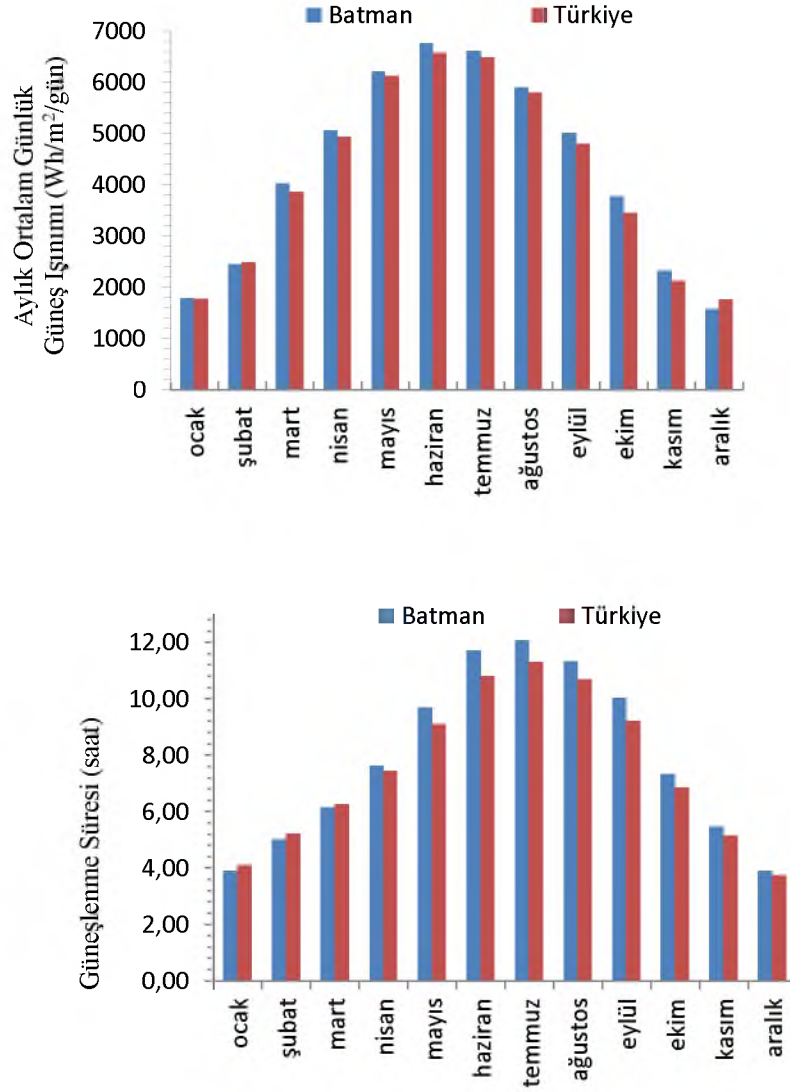
Çizelge 3.2. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

Bölge	Güney Doğu Anadolu	Akdeniz	Doğu Anadolu	İç Anadolu	Ege	Marmara	Karadeniz
Toplam Güneş Enerjisi (kWh/M ² -Yıl)	1460	1390	1365	1314	1304	1168	1120
Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)	2993	2956	2664	2628	2738	2409	1971



Şekil 3.1. Batman İli Güneş Potansiyeli Haritası (Anonim, 2020a)

Şekil 3.2.'de ise Batman ili ve Türkiye'nin global ışıınım değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) gösterilmiştir. Bu grafiğe göre Batman ilinde Haziran ve Temmuz aylarında en yüksek global radyasyon ve güneşlenme süreleri görülmüştür (Anonim, 2020a).



Şekil 3.2. Batman İli ve Türkiye'nin Global Işınım Değeri ve Güneşlenme Süresi

3.1.2. Güneş Bacası Prototipinin Kurulumu

Prototip kurulmadan önce ortalama türbin giriş hızının 2 m/s ve Batman iklim koşulları için kolektör girişinden bacaya doğru sıcaklık farkının 7-10 °C değerlerinde olabilmesi için sayısal çözümlemeye ihtiyaç duyulmuştur. Ön sayısal çözümlemeler sonucunda sistemin ana elemanlarından olan bacanın uzunluğu ve çapı sırasıyla 11,5 metre ve 1 metre, kolektör çapı ise 12,6 metre olarak seçilmiştir. Bu değerler literatürde varolan baca-kolektör uzunluk oranları ile uyumluluk göstermektedir.

Batman İlinde güneş bacası sistemini deneysel olarak analiz etmek için Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) koordinatörlüğünün desteği ile prototip kurulumu 2017 yılında gerçekleştirilmiştir. Sistem Batman Üniversitesi'nin Batı Raman yerleşkesinde geniş ve düz bir araziye inşa edilmiştir.

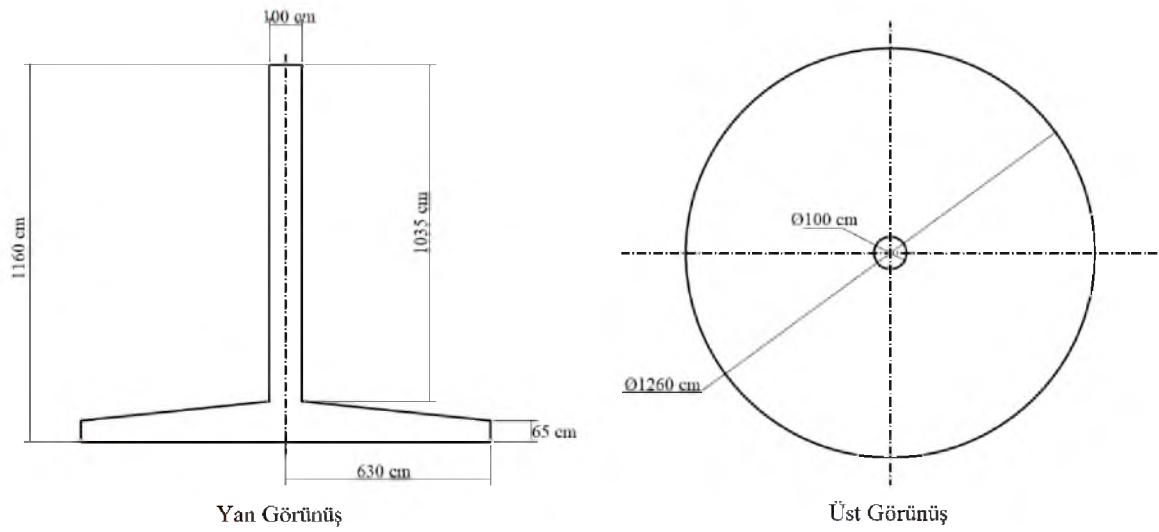
Güneş ısınım emilimini artırması için beton zemin üzerine kurulmuştur Rüzgârdan etkilenmemesi için baca üst noktasından zemine 3 adet çelik halat ile sabitlenmiştir. Baca, tabanında yukarı yönlü güçlü bir hava akışı yaratması için kolektörün merkezine yerleştirilmiş ve çelik malzemeden yapılmış 4 ayaklı bir huni üzerine 10 mm kalınlığında sac metal bir flanş ile monte edilmiştir. Ayrıca baca 8 mm kalınlığında sac malzemeden imal edilmiştir. Baca içerisine ise 0,9 m çapında, 22 kanata sahip bir adet türbin yerleştirilmiştir.

Kolektör çelik çerçeveli panellerin üzerine montelenmiştir. Kolektör yukarı yönlü eğimlidir ve giriş ağzı 0,65 m yüksekliğindedir bu değer kolektör merkezine doğru baca kısmında 1 m yüksekliğe çıkmaktadır. Böylece kolektör alanı içerisinde ısınan havanın yukarı yönlü hareketinde radyal oluşarak sürtünme kayıpları minimize edilmiş olacaktır.

Güneş bacası prototipinin, uzun yıllar boyunca kullanılabilmesi ve güneş ısınımını geçirgenliğinin yüksek olması nedeniyle, kolektör örtü malzemesi olarak 2 mm kalınlığında şeffaf cam kullanılmıştır. Cam kolektör panel üzerine silikon malzeme ile sabitlenmiştir. Böylece kolektör altından ısınan havanın ortam havasına sızması engellenmiştir. Prototipe ait fiziksel büyüklükler Çizelge 3.3.'te, teknik resimi ise Şekil 3.3.'te verilmiştir. Ayrıca Batı Raman yerleşkesine kurulan güneş bacası prototipinin inşa edilme süreci Şekil 3.4., 3.5., 3.6., 3.7., 3.8., 3.9., 3.10. ve 3.11.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Prototipe ait fiziksel büyüklükler

Sistem Elemanları	Parametreler	Semboller	Boyutlar
Kolektör	Ortalama kolektör çapı	D_{kol}	12,6 [m]
	Ortalama kolektör yüksekliği	h_{ort}	0,8 [m]
	Kolektör yüzey alanı	A_{kol}	124 [m ²]
	Kolektör giriş ağız açıklığı	h_a	0,65 [m]
	Giriş ağız çevresel kesit alanı	A_t	24 [m ²]
Baca	Baca yüksekliği	H_{baca}	11,5 [m]
	Baca çapı	D_{baca}	1 [m]
	Baca kesit alanı	A_{baca}	0,78 [m ²]



Şekil 3.3. Kurulan Güneş Bacasına ait ölçüler



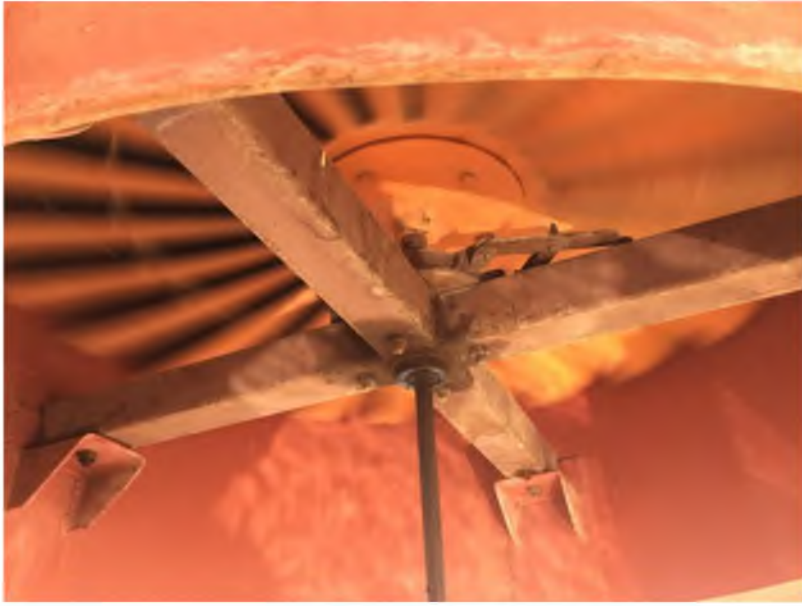
Şekil 3.4. Baca tabanının zemine kurulumu



Şekil 3.5. Prototipin kurulacağı zeminin düzenlemesi



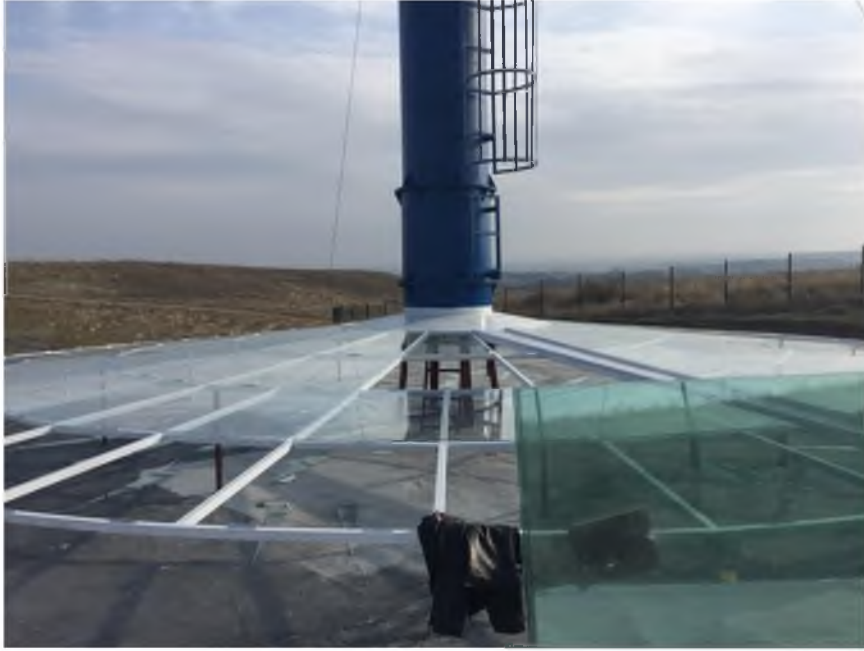
Şekil 3.6. Prototipin ana elemanlarının montaj öncesi durumları



Şekil 3.7. Türbinin bacaya montajı



Şekil 3.8. Kolektörün bacaya montajı



Şekil 3.9. Kolektör cam örtü malzemesinin yerleştirilmesi



Şekil 3.10. Prototipin son hali

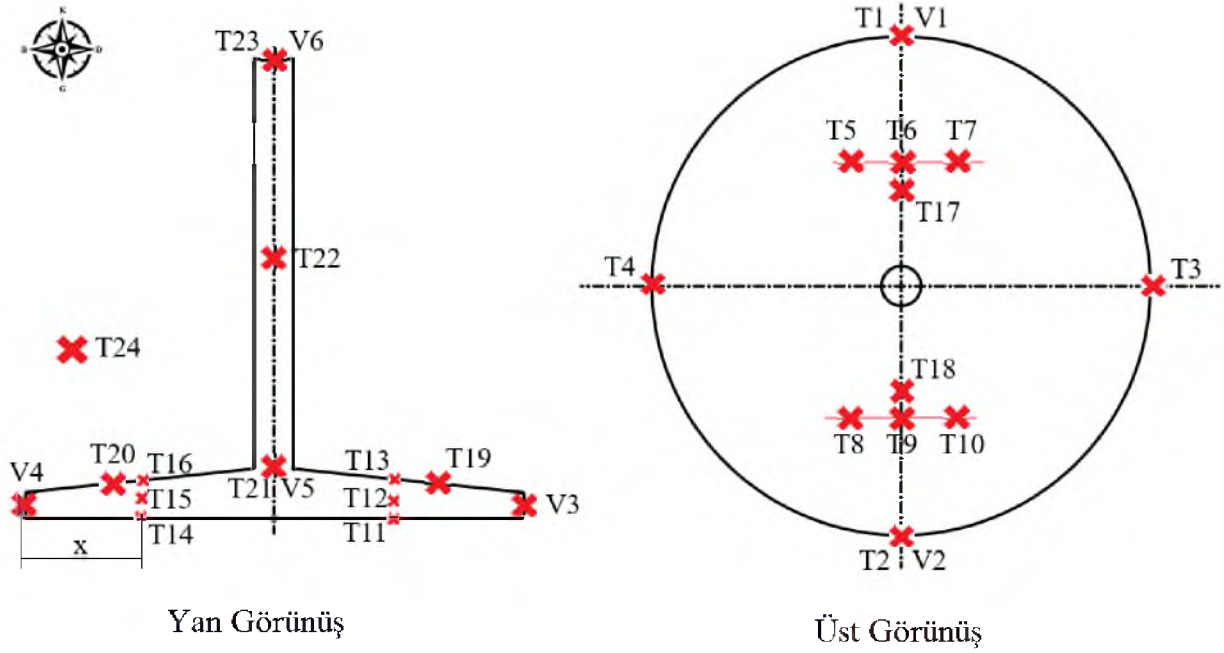


Şekil 3.11. Prototipin üstten görünüşü

3.1.3. Ölçüm Parametreleri ve Deney Sistemi

Güneş bacası prototipinin deneysel ölçümleri ile sistem performansı analiz edilmiştir. Ölçümler 2018 tarihinin Ağustos ayı boyunca 24 saat tam gün olarak yapılmıştır. Ölçüm parametreleri olarak; sıcaklık, nem, hava hızı, güneş ışınlamı ve türbin devir sayısı ele alınmıştır.

Sistem performansının en doğru sonucu verebilmesi için veriler kuzey, güney, doğu ve batı cephelerinden eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Deney sabah 08.00'da başlayıp ertesi günün aynı saatine kadar devam etmiştir. Sistem analizi için farklı günlerde alınan veriler birbirleriyle uyumluluk gösterdiği için Ağustos ayının ortalama verileri kullanılmıştır. Ölçüm noktaları Şekil 3.12.'de ve bu noktalara ait tanımlayıcı ifadeler Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir. 24 noktada sıcaklık ve 6 noktada hız ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.12. Sıcaklık ve hız ölçüm noktaları

Çizelge 3.4. Sıcaklık ve hız ölçüm noktalarının tanımı

T1: Kuzey Bölgesi Giriş Sıcaklığı	T2: Güney Bölgesi Giriş Sıcaklığı
T3: Doğu Bölgesi Giriş Sıcaklığı	T4: Batı Bölgesi Giriş Sıcaklığı
T5: Kuzey Bölgesi x Mesafede Zemin Sıcaklığı	T6: Kuzey Bölgesi x Mesafede Hava Sıcaklığı
T7: Kuzey Bölgesi x Mesafede Kolektör Alt Yüzey Sıcaklığı	T8: Güney Bölgesi x Mesafede Zemin Sıcaklığı
T9: Güney Bölgesi x Mesafede Hava Sıcaklığı	T10: Güney Bölgesi x Mesafede Kolektör Alt Yüzey Sıcaklığı
T11: Doğu Bölgesi x Mesafede Zemin Sıcaklığı	T12: Doğu Bölgesi x Mesafede Hava Sıcaklığı
T13: Doğu Bölgesi x Mesafede Kolektör Alt Yüzey Sıcaklığı	T14: Batı Bölgesi x Mesafede Zemin Sıcaklığı
T15: Batı Bölgesi x Mesafede Hava Sıcaklığı	T16: Batı Bölgesi x Mesafede Kolektör Alt Yüzey Sıcaklığı
T17: Kuzey Bölgesi Kolektör Üst Yüzey Sıcaklığı	T18: Güney Bölgesi Kolektör Üst Yüzey Sıcaklığı
T19: Doğu Bölgesi Kolektör Üst Yüzey Sıcaklığı	T20: Batı Bölgesi Kolektör Üst Yüzey Sıcaklığı
T21: Türbin Giriş Sıcaklığı	T22: Baca 5 m Yukarı Mesafe Sıcaklığı
T23: Baca Çıkış Sıcaklığı	T24: Ortam Sıcaklığı
V1: Kuzey Bölgesi Giriş Hızı	V2: Güney Bölgesi Giriş Hızı
V3: Doğu Bölgesi Giriş Hızı	V4: Batı Bölgesi Giriş Hızı
V5: Türbin Giriş Hızı	V6: Baca Çıkış Hızı

*x: Kolektör girişinden bacaya doğru 3 metre ileri

Batı Raman yerleşkesine kurulan prototipin, kampüs alanına uzak bir mesafede olması sebebiyle elektrik ihtiyacı fotovoltaik (PV) sistem ile karşılanmıştır. Fotovoltaik panel olarak 250 Watt gücünden monokristal hücreli malzeme kullanılmıştır (Şekil 3.13). PV sistem elektriği doğru akımda (DC) üretmektedir. Deneyde kullanılan cihazlar ise alternatif akımla (AC) çalışmaktadır. Bu nedenle DC'yi AC'ye dönüştürmek için 1000 watt gücünde “pure sine wave” invertör kullanılmıştır. Gece boyunca devam eden ölçümler ve yaşanabilecek güç kayıpları nedeniyle iki adet seri bağlı 60 amper gücünde akü sisteme dâhil edilmiştir. Ayrıca gün içerisinde değişen ışıınım şiddetine bağlı olarak sistemin doğru işleyebilmesi için, güç değerlerinin evrilip düzenli ve verimli bir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sistemde akü şarj kontrol cihazı MPPT (Maksimum Güç Noktası Takipçisi) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Elektrik ihtiyacı için kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistem

Sıcaklık ölçümü: Sistem performansını belirleyen en önemli parametrelerinden biri olan sıcaklık ölçümleri K-tipi termokupllar kullanılarak, kuzey güney, doğu ve batı bölgelerini kapsayacak şekilde toplamda 24 noktada eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Bu noktalar arasında, baca girişi, baca çıkışı, dış ortam havası ve kolektör giriş sıcaklıkları ile kolektör giriş mesafesinden bacaya doğru 3 metre ileri mesafede 3 noktada; zemin, kolektör yüzeyi ve arada kalan havanın (orta) sıcaklıkları ölçülmüştür (Şekil 3.15., 3.16., 3.17., 3.18. ve 3.19.). Termokupllarda ölçülen sıcaklık değerleri anlık olarak veri toplayıcısına (datalogger) oradan da bilgisayara (PC) aktarılmıştır. Veri toplayıcı PC'ye RS485 USB çevirici ile bağlanmaktadır. Veri toplayıcı cihazın kendi yazılım programı ile PC'de anlık sıcaklık değerleri görünmekte ve kayıt altına alınmaktadır (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Veri kaydedicinin bilgisayara bağlantısı



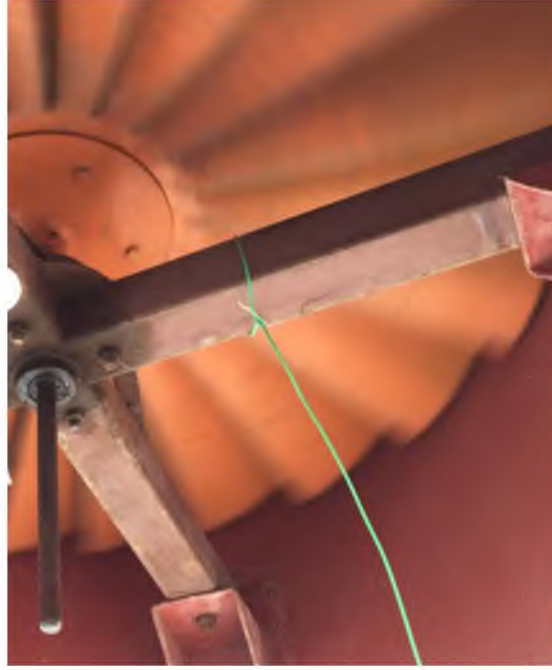
Şekil 3.15. Kolektör giriş ağzındaki sıcaklık ölçümü



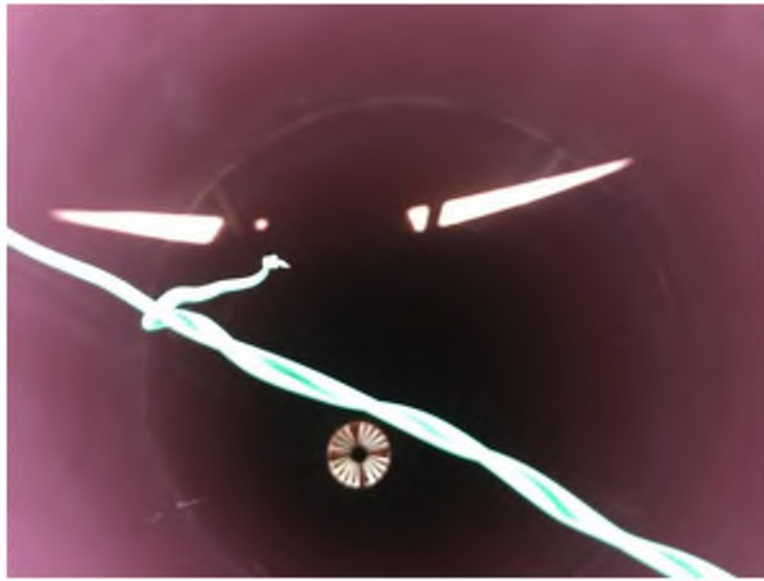
Şekil 3.16. Kolektör üst yüzeyi sıcaklık ölçümü



Şekil 3.17. Kolektör giriş ağzından bacaya doğru 3 metre ileri mesafede sıcaklık ölçümleri



Şekil 3.18. Türbib girişindeki sıcaklık ölçümü

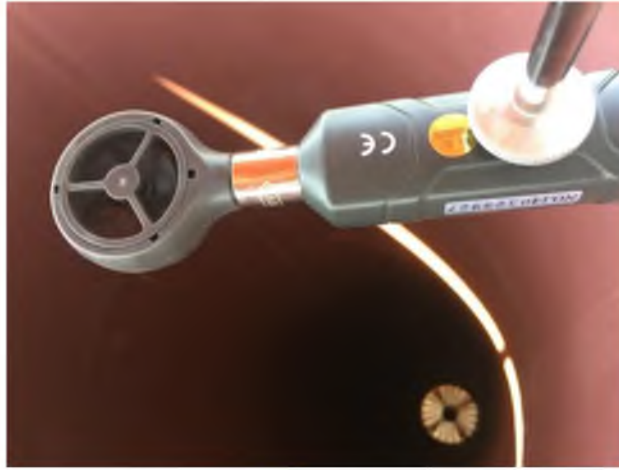


Şekil 3.19. Baca çıkışındaki sıcaklık ölçümü

Hava hızı ölçümleri: Bacanın giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç değişimlerinin yarattığı yukarı doğru hava çekişi ile beraber kolektör ve zemin arasında ısınan hava bacanın merkezine doğru bir hava akışı oluşturmaktadır. Böylece kolektör giriş ağzlarında sürekli olarak merkeze doğru akan havanın oluşturmuş olduğu hız türbini döndürerek kinetik enerji elde edilmesini sağlar. Bu nedenle sistemde hava hızlarının bilinmesi önem arz etmektedir. Hava hızı ölçümleri kuzey, güney, doğu ve batı cephelerinin kolektör giriş ağzları ile beraber türbin girişi ile bacanın çıkış noktalarında ölçülmüştür. Şekil 3.20., 3.21., 3.22.'de hava hızı ölçüm noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Türbib girişindeki hava hızı ölçümü



Şekil 3.21. Baca çıkışındaki hava hızı ölçümü



Şekil 3.22. Kolektör ağız girişindeki hava hızı ölçümü

Isınım ve diğer ölçümler: Prototip üzerine gelen anlık güneş ısınım değerleri yarım saat aralıklarla Solar Meter cihazı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.23.). Ayrıca ortam havasındaki nem miktarı ile kolektör girişinden bacaya doğru bazı noktalarda hava hızları ve sıcaklık değerleri yarım saatlik periyotlarla Extech anemometre cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.24.).



Şekil 3.23. Prototip üzerine gelen anlık ısınım miktarı ölçümü



Şekil 3.24. Sistemin nem, hava hızı ve sıcaklık ölçümleri

3.1.4. Ölçüm Cihazlarının Özellikleri

Güneş bacası prototipinin deneysel ölçümlerinde; global güneş radyasyonunu ölçmek için bir adet Solar Meter ışıyım ölçer cihazı, sıcaklık, nem ve hız ölçümü için bir adet Extech Marka anemometre cihazı, sıcaklık ölçümleri için 24 adet K-Tipi termokupl, hava hızı ölçümleri için 6 adet Cem-DT-186 marka anemometre, türbinin devir sayısını ölçmek için bir adet Holdpeak marka takometre ve veri kaydedici olarak bir adet Elimko marka 32 kanala sahip Datalogger kullanılmıştır.

3.1.4.1. Solar Meter SM206 Güneş Işıyımı Ölçer

Global güneş radyasyonu ölçümü için kullanılan bu cihaz, fiziksel ve optik deneylerde, meteoroloji ve tarım alanlarında kullanılmaktadır (Şekil 3.25.). Veri ve maksimum değer saklayabilmektedir. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Solar Meter SM206 cihazına ait teknik özellikler

Ölçüm Menzili	0,1~399,9; 1~3999 W/m ²
Çözünürlük	±10W/m ²
Hassasiyet	ve ya ±5% okumada (25°C) ±0,38W/m ² /°C
Sıcaklık Hatası	±0,12 Btu/(ft ² -h)/°C
Yanıtlama Süresi	0,25 sn
Boyutlar	60x132x38 mm



Şekil 3.25. Solar Meter SM206

3.1.4.2. Extech Instruments EN300 Anemometre

Extech EN 300 modeli beş adet çevresel parametre (sıcaklık, nem, hava hızı, ışık ve gürültü) ölçümü yapabilen ve minimum, maksimum verileri görüntüleyebilen bir cihazdır. EN 300 (Şekil 3.26.); Ft/min, MPH, m/s, km/h, knots birimlerinde hava hızı ölçümü, kapasitif sensör ile nem ölçümü, termistör ile ortam-K tipi termokupl girişi sayesinde 1300 °C'ye kadar sıcaklık ölçümü yaparken, Photo diyod ile ışık şiddeti ölçümü ve Tip2 standartlarında gürültü ölçümü de yapabilmektedir. Cihaz, RS232 bağlantısı ile bilgisayara bağlanabilmektedir. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Extech EN 300 cihazına ait teknik özellikler

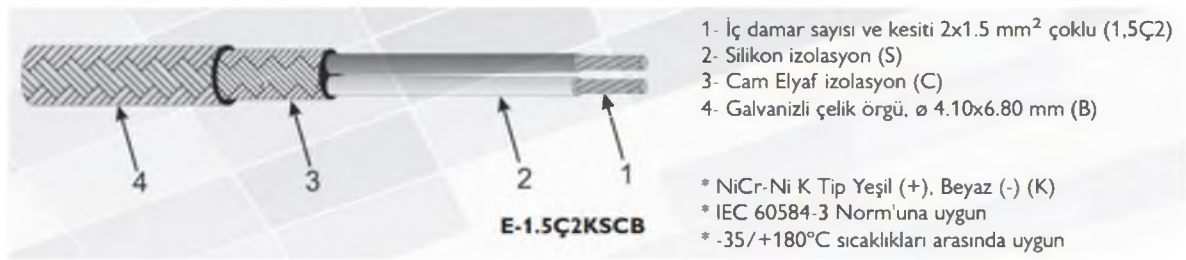
Hava Hızı	Ölçüm Aralığı; Hassasiyet;	4 ile 30m/s arası 0,1m/s $\pm 3\%$
Işık	Foot Candles Ölçüm aralığı; Lux ölçüm aralığı	0 ile 1860 Fc arası 0 ile 20000 Lux arası
Sıcaklık (Termistör)	Ölçüm Aralığı Hassasiyet	0 ile 50°C arası 0,1°C $\pm 1,2^\circ\text{C}$
Bağıl Nem	Ölçüm Aralığı Hassasiyet	10 ile 95%RH arası 0,1%RH $\pm$ ölçümün 4%RH
Sıcaklık (Type K)	Ölçüm Aralığı Hassasiyet	100°C ile 1300°C arası 0,1°C $\pm$ ölçümün (1%+1°C)
Cihaz Boyutları	248 x 70 x 34mm; Pervane: 31mm	



Şekil 3.26. Extech EN 300

3.1.4.3. K-Tipi Termokupl Sıcaklık Ölçer

Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturan basit bir sıcaklık ölçüm elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Termokupl ölçümü sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Termokuplun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orandır. Ölçümler sırasında kullanılan K-Tipi Termokupla ait teknik özellikler Şekil 3.27.'de verilmiştir.



Şekil 3.27. K-Tipi Termokupl

3.1.4.4. Cem-DT-186 Hava Hızı Ölçer

Cem DT 186 cihazı belirli bir yerde bulunan hava akımının hızını kayıt altına almak için kullanılan hassas bir hava hızı kayıt cihazıdır. Bu ürün bir Anemometre datalogger'dır (Şekil 3.28.). Belirli bir yerin hava hızını test eden ve 32000'e kadar veri kayıt edebilmektedir. Elde edilen veriler daha sonra USB arabirimi ile bilgisayara aktarılabilir. Cihazda 2 saniyeden 24 saate kadar belirlenmiş kayıt aralıkları bulunmaktadır. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Cem-DT-186 cihazına ait teknik özellikler

Rüzgar hızı ölçüm aralığı	0,03 . . . 30,0 m/s
Rüzgar hızı hassasiyeti	±3,5% / ±0,2 m/s
Rüzgar hızı çözünürlük	0,03 m/s
Kayıt periyodu	2 saniyeden 24 saate kadar
Kayıt aralığı	2 sn, 5 sn, 10 sn, 30 sn, 1 dk, 5 dk, 10 dk, 30 dk, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat, 24 saat
Kayıt hafızası	32.000
Cihazın kasa ebadı	145 x 35 x 30 mm
Ağırlık	49 gr.



Şekil 3.28. Cem-DT-186

3.1.4.5. Holdpeak 6234C Takometre

RPM birimi ile temassız/lazer ölçüm yapabilen bu cihaz üretiminde mikro-bilgisayar işlemci devresi ile kristal zaman tabanı kullanmıştır. Geniş ölçüm aralığına sahip bu cihaz, taşıyıcı bantlar, motorlar ve bantla çalışan mekanizmalar, motor devri, dönen tekerleğin devri gibi işlemlerde kullanılmaktadır (Şekil 3.29.). Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Holdpeak 6234C Takometre cihazına ait teknik özellikler

Ölçüm aralığı	2,5 ile 99.999 RPM (r/min)
Temassız ölçüm aralığı	0,5 ile 19.999 RPM (r/min)
Hassasiyet	$\pm(0,05\%+1d)$
Çözünürlük	0,1 RPM
Ölçüm mesafesi	50 mm-500 mm
Tepki süresi	0.8 saniye
Çalışma sıcaklık ve Nem aralığı	0°C . . . 50°C
Boyutları	210 x 74 x 37 mm



Şekil 3.29. Holdpeak 6234C Takometre

3.1.4.6. Elimko 680 Datalogger

E-680, yeni nesil mikro kontrolör kullanılarak tasarımılanmış 96x192 mm boyutlarında IEC/TR 60668 standardına uygun, universal girişli, giriş ve çıkışları kullanıcı tarafından programlanabilen endüstriyel bir cihazdır. E-680 cihazı, 32 farklı noktadan alınan ölçümleri göstergesinden gösterir ve ölçümleri her kanal için programlanabilen iki set noktasıyla karşılaştırabilmektedir (Şekil 3.30.). E-680 cihazının bilgileri RS-485 hattı yoluyla merkezi bir bilgisayarda toplanıp kaydedilebilir. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Elimko 680 Datalogger cihazına ait teknik özellikler

Giriş Tipleri	Termokupl: B, E, J, K, L, N, R, S, T, U Rezistans Termometre: Pt-100, CUST Gerilim: 0-50 mV, 0-1 V, 0,2-1 V, 0-10 V (Lineer) Akım: 0-20 mA, 4-20 mA (Lineer)
Doğruluk Sınıfı	Termokupl: (Gösterilen değerin $\pm 0,5$ 'i ya da $\pm 1^\circ\text{C}$) ± 1 dijit maks. Pt-100: (Gösterilen değerin $\pm 0,5$ 'i ya da $\pm 1^\circ\text{C}$) ± 1 dijit maks. Gerilim / Akım: $\pm 0,5$ FS ± 1 dijit maks.
T/C Ortam Sıcaklık Kompanzasyonu	0°C-50°C
Çalışma Gerilimi	85-265 V _{ac} / 85-375 V _{dc} 20-60 V _{ac} / 20-85 V _{dc}
Güç Tüketimi	4W (7VA)
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250 V _{ac} 3 A
Bellek	EEPROM maksimum 10 ⁵ yazma
Çalışma Ortam Sıcaklığı	-10°C, +55°C (Yoğunlaşma ve buzlanma olmadan)



Şekil 3.30. Elimko 680 Datalogger

3.1.4.7. Hata Analizi

Deneysel yöntemin doğruluğu, deney düzeneğinin tasarlanması, deneylerin yapılması ve deneysel verilerin değerlendirilmesi sırasında kişisel hataları içermektedir. Ölçümlerin doğruluğu ise deney setinin ve deneysel çalışmada kullanılan ölçü aletlerinin doğruluğunu kapsamaktadır. Hata analizi sadece deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların yorumlanmasında değil, aynı zamanda uygun ölçüm metodunun ve ölçü aracının seçiminde önemli rol oynamaktadır (Akpınar, 2002).

Tez çalışmasındaki deneysel bulguların hata analizi tespit etmek için Kline tarafından sunulan “belirsizlik analizi” hesaplama yöntemi kullanılmıştır (Kline, 1953). Farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan W_R belirsizliği aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir (Holman, 1971):

n adet bağımsız değişkeni olan bir ölçmede;

- R : Ölçülecek boyut
- $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$: ölçümü etkileyen değişkenler
- $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$: bağımsız değişkenle ilgili hata oranı ise
- Toplam hata oranı W_R :

$$W_R = [(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1)^2 + (\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2)^2 + (\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3)^2 + \dots + (\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial R}{R} = [(\frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} \frac{\partial x_1}{x_1})^2 + (\frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{x_2})^2 + \dots + (\frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} \frac{\partial x_n}{x_n})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.2)$$

$$U_R = [(\frac{x_1}{R} \frac{\partial R}{\partial x_1} U_1)^2 + (\frac{x_2}{R} \frac{\partial R}{\partial x_2} U_2)^2 + \dots + (\frac{x_n}{R} \frac{\partial R}{\partial x_n} U_n)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

Bu çalışmada ışıınım, sıcaklık ve hız ölçümleri deneysel olarak yapılmıştır. Rayleigh sayısının hesabındaki hata analizi parametreleri sırasıyla listelenmiştir.

Işıınım ölçümündeki belirsizlikler;

U_1 = Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %0,5

U_2 = Işıınım ölçer hatası %5

U_3 = Işıınım ölçer açısal konum ölçüm hatası %1

U_H = %5,12

Sıcaklık ölçümündeki belirsizlikler;

U_1 = Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %0,5

U_2 = Termokupl hatası %1

U_3 = Termokupl konum hatası %0,5

U_S = %1,22

Hız ölçümündeki belirsizlikler;

U_1 = Kalibrasyon işleminde oluşabilecek belirsizlik %0,2

U_2 = Hız ölçer hatası %3,5

U_3 = Hız ölçer konum hatası %1

U_4 = Hız ölçer sıcaklık değişim hatası %0,5

U_V = %3,67

Rayleigh sayısının hesaplanmasındaki belirsizlik

$Ra = f(\beta, \alpha, \nu, T_\infty, T_w, L)$

U_β = Isıl genişleme katsayısı $\approx$ sıcaklıkla aynı %1,22

U_α = Isıl yayılım katsayısı hatası %2

U_ν = kinematik viskozite hatası %2

U_{T_∞} = Sıcaklık hatası %1,22

U_{T_w} = Sıcaklık hatası %1,22

U_L = Uzunluk ölçüm hatası %0,01

U_{Ra} = %3,53

3.2. Hesaplama Yöntemi

3.2.1. Güneş Bacası Sisteminin Analitik Denklemleri

Güneş bacası sistemlerinin performansını değerlendirmek için matematiksel bir model gerekmektedir. Bu nedenle belirli bir yerde belirli bir boyutta bir güneş bacası sisteminin öngörülen performans profili oluşturulmalıdır. Bu bölüm, güneş bacasının temel çalışma mekanizmasını belirlemek ve sistemin farklı parametrelere (bileşen boyutları, ortam koşulları) bağımlılığının değerlendirilmesini sağlamak için analitik modelleri sunmaktadır.

Termodinamiğin birinci yasasının en genel haldeki formülü:

$$dq = \partial e + \partial w + \partial h + \partial u \quad (3.4)$$

Sistemin dâhili enerjisi sisteme yapılan net ısı transferi ile sistemin üzerine uygulanan net işin toplamıdır. Kontrol hacmi içinden akarken akışkanın enerjisinin hız değişimi, çevreden kontrol hacmi içindeki akışkana eklenen ısı oranı ile kontrol hacmi içindeki akışkan üzerinde yapılan işin hızı arasındaki toplamı olarak ifade edilebilir. Böylece,

$$dq = \partial h + \partial e \quad (3.5)$$

Termodinamiğin Birinci Yasasını kullanarak, enerji akışları için, eşzamanlı üç enerji akışı denklemi dizisi oluşturulur. Kolektör tarafından emilen güneş enerjisi ile zeminden yayılan ve yansıyan radyasyondan enerji girdileri alınır. Eşzamanlı olarak, cam gökyüzüne radyasyon yayar ve ortam havasına ve zemine konveksiyon ile enerji iletir.

Denklem modelinde Cottam (2018) tarafından geliştirilen güç hesaplama yöntemi kullanılarak kolektör boyunca tek boyutlu bir radyal akış ve baca içerisindeki tek boyutlu eksenel akış olduğu varsayılmıştır. Kolektör içindeki çalışma havasına aktarılan ısı, I ve sabit kolektör verimliliği η_k 'dir. Kolektör verimliliğine göre sistemdeki sıcaklık artışı ΔT ve kolektör alt yüzeyindeki hava hızında bir değişiklik oluşturmaktadır (Cottam, 2018).

$$IA_k\eta_k = \dot{m}_{cp}\Delta T + \frac{1}{2}\dot{m}\Delta v^2 \quad (3.6)$$

Burada $\dot{m}$ sistem üzerinden kütle akış hızıdır; c_p çalışma havasının sabit basınçta özgül ısı değeridir; ΔT , kolektör girişi ve çıkışı arasındaki hava sıcaklığı farkıdır; v ise kolektör girişi ve çıkışı arasındaki çalışma havası hızındaki değişimdir.

Kolektör alt yüzeyinde hava sıcaklığının yükselmesi ile beraber havanın yoğunluğunda meydana gelen değişiklikler basınç farklılıklarına neden olmaktadır. Bu nedenle basınç farkını belirlemek için Boussinesq yaklaşımı kullanılmaktadır.

Boussinesq yaklaşımı, genellikle yüzdürme kuvveti akımlarını simüle ederken modelde sıkıştırılamazlığı korumak için konvektif akışları (örneğin ısıtılmış bir yüzey üzerindeki konveksiyon hücreleri) simüle etmede sıklıkla kullanılır (Bejan, 1993; Cottam, 2018). Boussinesq yaklaşımı, bir başlangıç noktası olarak ideal gaz denklemini alır.

$$p = \rho RT \quad (3.7)$$

Burada R gaz için gaz sabiti ve p , ρ ve T sırasıyla gaz basıncı, yoğunluğu ve sıcaklığıdır. Yoğunluğun basınca bağlı durumu, sıcaklığa göre yoğunluğun kısmi türevi alınarak ortadan kalkmış olur.

$$\frac{\partial p}{\partial T} = \frac{-p}{RT^2} = \frac{-\rho}{T} \quad (3.8)$$

Denklemden birinci dereceden türev alındığında:

$$\rho_1 - \rho_2 = \rho_1 \frac{T_2 - T_1}{T_1} \quad (3.9)$$

Baca basınç farkı Δp_{baca} yoğunluğu farkından meydana gelmektedir. Böylece Boussinesq yaklaşımları kullanılarak,

$$\Delta p_{baca} = \rho_{\infty} g H_{baca} \frac{\Delta T}{T_{\infty}} \quad (3.10)$$

Burada; ρ_{∞} zemin seviyesindeki ortam hava yoğunluğudur; g yerçekimine bağlı ivmedir; H_{baca} , baca yüksekliğidir; ΔT kolektör tarafından üretilen hava sıcaklığı farkıdır ve T_{∞} zemin seviyesindeki ortam hava sıcaklığıdır. Baca basınç farkı Δp_{baca} güç çıkışının olduğu türbin basınç farkı Δp_t ve sistem üzerinden bir akış hızı oluşturmak için mevcut basınç farkı Δp_v 'dir (Cottam, 2018). Her basınç farkının büyüklüğü olarak x değeri, türbin basınç düşüşünün toplam basınç düşüşüne oranı ile belirlenir, böylece sistemdeki toplam basınç farkı:

$$\Delta p_{baca} = \frac{\Delta p_t}{x} = \frac{\Delta p_v}{1-x} \quad (3.11)$$

Baca tarafından üretilen kütle akış oranı, baca giriş hızı ile belirlenir:

$$\dot{m} = \rho_{\infty} A_{baca} v_{baca} \quad (3.12)$$

Burada A_{baca} , baca girişindeki akış alanıdır ve v_{baca} baca girişindeki hava hızıdır. White'a (2011) göre, basınç farklılıkları tarafından üretilen hava hızları aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\Delta p_v = \frac{1}{2} \rho_{\infty} v_{baca}^2 \quad (3.13)$$

Güneş bacasını kütleli debisi, hava akışı oluşturmak için mevcut olan basınç farkı cinsinden ifade edilir:

$$\dot{m} = \rho_{\infty} A_{baca} \sqrt{\frac{2\Delta p_v}{\rho_{\infty}}} \quad (3.14)$$

Denklem (3.10) ve (3.11) denklem (3.14)'te yazılırsa, sistem tarafından üretilen kütleli debi, kolektör tarafından üretilen hava sıcaklığının artışı olarak tanımlanabilir:

$$\dot{m} = \rho_{\infty} A_{baca} \sqrt{2(1-x)gH_{baca} \frac{\Delta T}{T_{\infty}}} \quad (3.15)$$

Bu, güç çıkışı için kolektör hava sıcaklığı artışı açısından bir ön ifadeye yol açar. Türbin tarafından meydana gelen hava akışı çıkarıldığında, güç, türbin verimliliğinin bir sonucudur. Buna ek olarak mevcut basınç farkı ve hacimsel debi ile ifade edilir:

$$P = \eta_t \Delta p_t \dot{V} \quad (3.16)$$

Denklemler (3.11), (3.12) ve (3.15), denklem (3.16)'da yazıldığında, güç çıkışı kolektör hava sıcaklığı artışı cinsinden ifade edilebilir:

$$P = \eta_t \pi R_{baca}^2 x \rho_{\infty} (2(1-x))^{1/2} \left(gH_{baca} \frac{\Delta T}{T_{\infty}} \right)^{3/2} \quad (3.17)$$

Kolektör hava sıcaklığının yükselmesi, sadece kolektör tarafından üretilen hava hızının da bilinmesi durumunda denklem (3.6)'dan bulunabilir. Hava akışının sıkıştırılmaz olduğu ve kütle korunumu varsayıldığında:

$$R_{baca}^2 v_{baca} = 2R_k H_{kg} v_{kg} = 2R_{baca} H_{kç} v_{kç} \quad (3.18)$$

Burada v_{baca} baca girişindeki hava hızıdır; H_{kg} , kolektör girişindeki cam yüksekliğidir; v_{kg} kolektör girişindeki hava hızıdır; R_{baca} baca iç akış yarıçapıdır; $H_{kç}$ kolektör çıkışındaki cam yüksekliğidir ve $v_{kç}$ kolektör çıkışındaki hava hızıdır. Denklem (3.18)'de, kolektör boyunca hava hızındaki değişim, baca girişindeki hava hızı açısından ifade edilebilir. Baca girişindeki hava hızı ise denklem (3.15)'te verildiği gibi kolektör sıcaklık farkı açısından bilinir (Cottam, 2018). Bu nedenle, kolektör boyunca hava hızındaki değişim, kolektör geometrisi ve kolektördeki hava sıcaklığı farkı açısından ifade edilebilir:

$$\Delta v = \left(\frac{R_{baca}}{2H_{kç}} - \frac{R_{baca}^2}{2R_k H_{kg}} \right) v_{baca} = \left(\frac{R_{baca}}{2H_{kç}} - \frac{R_{baca}^2}{2R_k H_{kg}} \right) \sqrt{2(1-x)gH_{baca} \frac{\Delta T}{T_\infty}} \quad (3.19)$$

Kolektör enerji dengesinin kinetik enerji terimi denklem (3.6), kolektör hava sıcaklığı farkı olarak yazılır:

$$\frac{1}{2} \dot{m} \Delta v^2 = \frac{1}{2} A_{baca} \rho_\infty \left(2(1-x)gH_{baca} \frac{\Delta T}{T_\infty} \right)^{3/2} \beta \quad (3.20)$$

β , tanımlanmış bir geometrik parametredir:

$$\beta = \frac{R_{baca}^2}{4H_{kç}^2} - \frac{R_{baca}^3}{2R_k H_{kg} H_{kç}} + \frac{R_{baca}^4}{4R_k^2 H_{kg}^2} \quad (3.21)$$

Kütlesel debi ve kolektör hava kinetik enerjisinden hem kolektör hava sıcaklığı, hem de kolektör için enerjinin korunumu (Denklem 3.6) sistemin boyutları ve kolektör hava sıcaklığı farkı açısından ifade edilebilir (Cottam, 2018). Kolektör hava sıcaklığı farkını yeniden düzenlemek için, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\Delta T^{3/2} = \frac{\eta_k I R_k^2}{\rho_\infty R_{baca}^2} \left[C_p \left(\frac{2(1-x)gH_{baca}}{T_\infty} \right)^{1/2} + \left(\frac{2(1-x)gH_{baca}}{T_\infty} \right)^{3/2} \beta \right]^{-1} \quad (3.22)$$

Denklem (3.22), sadece çevresel ve geometrik parametreler açısından güç çıkışı için bir ifade vermek üzere denklem (3.17)'de yerine konulur. Türbin verimliliği daha önceki çalışma verilerinin optimizasyonu sonucu %80 olarak bulunmuştur (Gannon ve ark., 2004).

Maksimum güç elde etmek için ise tüm basınç farkının 2/3'ünün türbinde düşmesi gerekir. Böylece:

$$P = \frac{\eta_t \eta_k x I \pi R_k^2 g H_{baca}}{C_p T_\infty + (1-x)gH_{baca}\beta} \quad (3.23)$$

Ana bileşenlerin verimlilikleri bilinirse, tek bir denklem ile güneş bacası sisteminin güç çıkışı elde edilmiş olur.

$$P = \frac{2}{3} \eta_t \eta_{baca} \eta_k A_k I \quad (3.24)$$

Sistem kütleli debisinin, baca yüksekliğine bağlı olduğu bilinmektedir ve termal enerji girdisini (kolektör alanı ile orantılı) arttırmadan kütleli debiyi arttırmak, daha düşük bir kolektör sıcaklığı artışına yol açacaktır. Denklem (3.23), ilk tasarım ve planlama aşamalarında bir güneş bacasının olası güç çıkışının hızlı bir tahmini için kullanışlıdır (Cottam, 2018).

3.2.2. Türbin Denklemleri

Güneş bacası prototipinin deneysel olarak güç değerinin belirlenebilmesi için türbine bağlı bir dinamo motor bağlanmıştır. Güç hesabı için rüzgâr türbinin performansına etki eden baca giriş hızı ve kanatçıların çapına bağlı süpürme alanı ele alınmıştır. Rüzgâr gücü, rüzgâr hızı arttıkça hızın küpüyle ve çarkın alanıyla doğru orantılı olarak artacaktır. Maksimum enerjiyi sağlayan bağıntı aşağıdaki gibidir;

Rüzgâr içerisindeki kinetik enerji;

$$P_{rüzgar} = \frac{1}{2} \dot{m} v_{rüzgar}^2 \quad (3.25)$$

Denklem (3.25)'te $\dot{m} = \rho A v$ formülü yerine yazılırsa:

$$P_{rüzgar} = \frac{1}{2} \rho A v_{rüzgar}^3 \quad (3.26)$$

Ancak bu enerjinin belirli bir kısmından kanatçıklar faydalanmaktadır. Türbine bağlı dinamo motoru 6 volt ve 0,17 amper değerindedir. Buradan elde edilen güç $P_{türbin}=V \times I$ formülü ile 3,5 W'lık güç değerine sahiptir. Bu iki denklemden;

$$C_{pBetz} = \frac{P_t}{P_r} = \frac{3,5}{6,76} = 0,517 \quad (3.27)$$

Kurulan prototip için maksimum güç değeri %51,71 olarak hesaplanmıştır. Bu güç değeri Lanchester-Betz limit olarak adlandırılır. Betz Katsayısı (C_{pBetz}) güç faktörüdür. Baca içerisinde bulunan türbininin en fazla %51,71 verime sahip olabileceğini göstermektedir.

3.3. Sayısal Modelleme

Sayısal yöntemler, matematik problemlerinin, aritmetik işlemlerle çözülebilmelerine olanak sağlayarak formüle edilen tekniklerdir. Bu yöntemler mühendislik probleminin gereksinimlerini karşılamaya yetecek kadar doğru olmalıdır. Aynı zamanda, iyi bir mühendislik tasarımı için de yeterince hassas olmalıdır. Bu çalışmada sayısal yöntemlerden biri olan sonlu hacim metodu kullanılmıştır. Bu metot kısmi diferansiyel denklemlerin cebirsel denklemler ile çözülmesidir. Sonlu hacimler yönteminde, kısmi diferansiyel denklemlerde sapma terimini kapsayan hacim integralleri, sapma teoremi ile yüzey integrallerine dönüştürülmektedir. Bu terimler, her bir sonlu hacmin yüzeydeki akışı olarak incelenmektedir. Bu yöntem, özellikle hesaplamalı akışkanlar mekaniği (HAD) problemlerinde kullanılmaktadır. Sayısal analiz yöntemlerinin adımlarını şöyle sıralayabiliriz (Bardakçı, 2018).

Sayısal Yöntemlerin Temeli

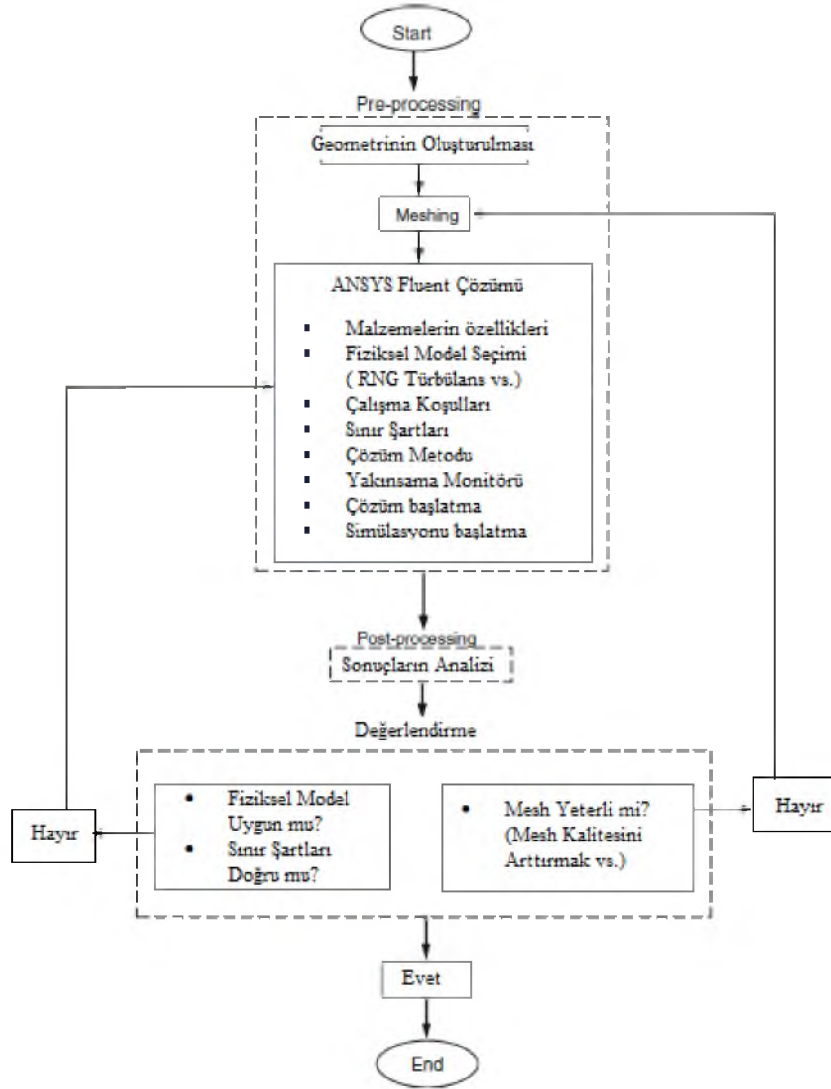
- Modelin oluşturulması; çözülmek istenen sistem veya cihaza ait hesaplama alanının katı veya fluid olarak en doğru ve en az bilgisayar gücü kullanacak şekilde geometrinin çizilmesi
- Çözüm ağını oluşturma (mesh); Seçilen modelin sonlu sayıda kontrol hacmine (alt bölgelere) bölünmesi

- Ayırıklaştırma; Çözülecek korunum denklemlerinin doğrusal denklem sistemine dönüştürülmesi
- Ayırıklaştırılmış doğrusal denklemlerin çözülmesi
- Analiz sonuçlarının akış fiziği açısından uyumlu olup olmadığının değerlendirilmesi

3.3.1 Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği (HAD) Yöntemi

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) akışkan hareketlerini tanımlayan kısmi diferansiyel korunum denklemlerinin sayısal yöntemler kullanılarak çözümlenmesini içermektedir. Günümüzde HAD iç ve dış akışların modellenmesi ve akış özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanımı hızla artan bir yöntemdir. Akış analizleri, ısı transferi ve bunlarla ilgili fiziksel olaylar HAD'ın konuları arasına girer. Bu yöntem süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin diferansiyel formlarının analitik veya sayısal çözümlenmesidir. Bu teknik çok güçlü olup endüstride ve endüstriyel olmayan sahalarda geniş uygulama alanına sahiptir. Yüksek kapasiteli bilgisayarların geliştirilmesiyle deneysel ve analitik çalışmalar yerini HAD yöntemine bırakmıştır, deneysel yöntemlerle çözümü belki de yıllarca süren mühendislik problemlerini, saatler mertebesine düşürerek hızlı, düşük maliyetli ve güvenilir sonuçlar vermektedir.

Bu sayısal çalışmada ticari bir yazılım olan ANSYS FLUENT 18.1 paket programı kullanılmıştır. ANSYS FLUENT sonlu hacimler yöntemini kullanan bir HAD yazılımıdır. ANSYS FLUENT, çok fonksiyonlu bir HAD yazılımı olarak, beyaz eşya, otomotiv ve havacılık endüstrisi ile turbo makinelerde ve gıda-kimya endüstrisi gibi birçok alanın ısı transferi ve akışkanlar mekaniği problem çözümlerinde kullanılabilir. ANSYS FLUENT, ileri çözücü teknolojisi ve sahip olduğu farklı fiziksel modeller sebebiyle laminar, geçişli ve türbülanslı akışlara, iletim, taşınım ve ışıma ile ısı transferini kapsayan problemlere, yakıt pillerine, kimyasal tepkimelere, akış kaynaklı gürültü ve çok fazlı akışları içeren problemlere güvenilir ve hızlı çözümler üretebilen bir simülasyon programıdır. HAD simülasyonunda, Şekil 3.31.'de verilen akış şeması ile çözümle sürecinden sonra model doğrulanmış olur (Das ve Chandramohan, 2018).



Şekil 3.31. HAD simülasyon yöntemi şablonu (Das ve Chandramohan, 2018)

3.3.1.1 Yönetici Denklemler

Bir akışın değerlendirilebilmesi için temel olarak süreklilik, momentum (Navier Stokes denklemleri) ve enerji denklemlerinin, uygun başlangıç ve sınır koşulları ile beraber çözülmesi gerekir. Üç boyutlu baca akışı için genel korunum denklemleri aşağıda verilmiştir.

Süreklilik Denklemi:

u, v ve w hızlar olmak üzere, üç boyutlu kartezyen koordinatlarda sıkıştırılamayan akışlar için;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.28)$$

Momentum Denklemi (Navier-Stokes):

$$\rho \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x \quad (3.29)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y \quad (3.30)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z \quad (3.31)$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğu, t zaman ve p ise basıncı belirtmektedir.

Enerji Korunumu Denklemi:

T sıcaklık olmak üzere, termodinamiğin I. Yasası bir kontrol hacmi için yazıldığında;

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho C_p T_u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho C_p T_v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho C_p T_w) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \Phi \quad (3.32)$$

C_p ve k sırasıyla akışkanın sabit basınçta özgül ısı ve ısı iletim katsayısı değerleridir. Φ ise disipasyon terimidir.

3.3.1.2 Türbülans Modelleri

Akışlar, laminar ve türbülanslı olmak üzere ikiye ayrılır. Akış tipi ise, boyutsuz bir sayı olan Reynolds değerine bağlıdır. Reynolds sayısının değeri ise akışkanın fiziksel özelliği olan akış hızı, viskozite ve akış ortamını belirleyen karakteristik uzunluğun fonksiyonudur. Laminar akış, çizgisel bir akıştır ve akım iplikciği süresince akış katmanlarının birbirlerinden tümüyle ayrı ve karışmaksızın durdukları düzgün bir akımdır.

Türbülans akımda ise akışkan yörüngeleri karıştığı için akış çalkantılı bir şekilde oluşmaktadır. Türbülanslı akışların değerlendirilmesi laminar akışlara göre oldukça zordur. Bu tip akışlarda türbülansın etkisini hesaplamalara katmak için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Doğal konveksiyonda, buoyancy kaynaklı akışın gücü Rayleigh ve Grashof numarası ile ölçülür. Kolektör girişinde seçilen bir sıcaklık noktasına ait boyutsuz sayıların hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\alpha\nu} \quad (3.33)$$

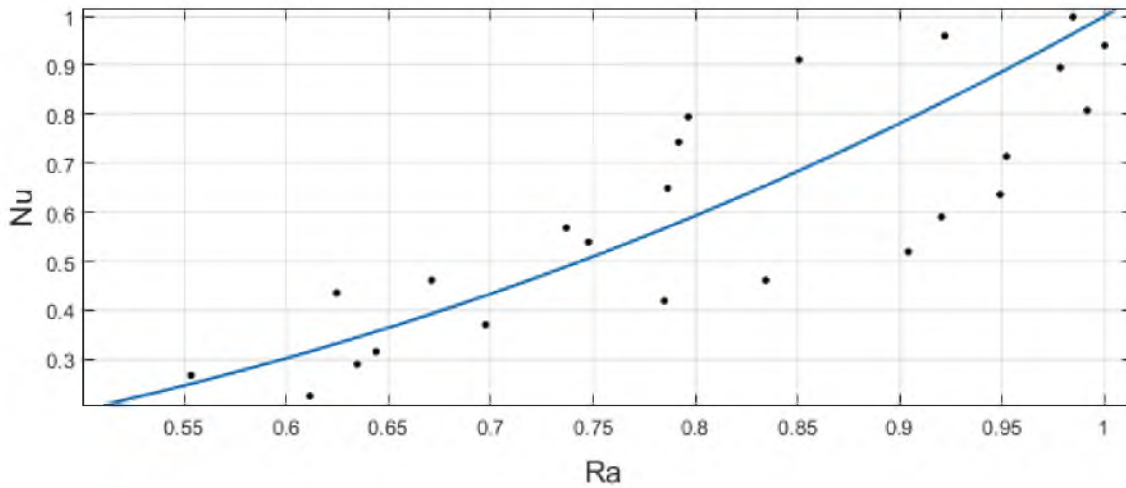
$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2} \quad (3.34)$$

$$Ra = GrPr \quad (3.35)$$

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (3.36)$$

Burada ΔT , Güneş bacası içerisinde maksimum sıcaklık artışıdır. α , β ve L sırasıyla termal yayılma, termal genleşme katsayısı ve kolektör yüksekliğidir. Ön hesaplamadan sonra Ra sayısının 10^9 'dan daha yüksek olduğunu bulunmuştur. Bu nedenle türbülanslı matematiksel modelin prototip içindeki akış için uygun olacağı düşünülmüştür. Nu ve Ra sayıları için oluşturulan eğri denklemi (3.37)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,91$ 'dir. Ayrıca Şekil 3.32.'de bu parametreler arasındaki eğim grafiği verilmiştir.

$$Nu = Ra^{2,34} \quad (3.37)$$



Şekil 3.32. Nu - Ra değerleri ile arasındaki eğim çizgisi

Türbülanslı bir akışı modellemek için farklı tipte sayısal yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlar, DNS (Direct Numerical Simulation), LES (Large Eddy Simulation) ve RANS (Reynold Averaged Navier Stokes) çözümleridir. DNS yönteminde temel taşınma denklemleri kullanılarak çözüm ağı ve zaman çözünürlüğü herhangi bir modellemeye ihtiyaç duyulmadan çözdürülür. DNS yaklaşımının maliyeti Re^3 ile orantılı olarak değişim gösterdiği için, özellikle uygulamadaki karmaşık türbülanslı akışlar için uygun değildir. Bu yöntem, günümüz bilgisayar teknolojisinin çözümlene kapasitesi için oldukça fazla zaman adımı ve hesaplama hücresi gerektirmektedir (Poinsot ve Veynante, 2005).

LES yönteminde ise burgaçlar, lineer bir karakteristik sergileyen basamaklı enerji aktarım aralığında izotropik ve geometriden bağımsız bir davranış sergiler. Bu nedenle davranışları oldukça deterministik olan küçük ölçekteki burgaçlar ağ altı türbülans modelleriyle simüle edilirken, büyük ölçekteki burgaçlar için bir takım filtreleme yöntemleri kullanılarak çözümlene başlatılır (Sagaut ve Germano, 2004). Ayrıca Reynolds sayısının artmasıyla beraber çözüm ağının sıklık düzeyinde de artırılması gerekmektedir. Bu nedenle birçok uygulamalı problemde, hesaplama kaynağı ihtiyacı nisbeten artırmakta ve bu durum LES yöntemini pratik olmaktan uzaklaştırmaktadır (Fureby, 2008).

RANS yöntemi, DNS ve LES modellerine göre daha az hesaplama maliyeti gerektirir ve daha düşük zorluk derecesi olan akışlar için uygun bir yöntemdir. RANS modelleriyle hiçbir girdabın hatta en büyüklerinin bile daimi olmayan özellikleri için girişimde bulunulmaz, türbülans girdaplarının yol açtığı artan karışım ve difüzyonu dikkate almak için matematiksel modeller kullanılır. Literatürde (Bölüm 2) çalışmalar dikkate alınarak, güneş bacası içerisindeki akışlarda RANS denklemlerinin çözümü için önerilen iki denklemlili RNG $k - \epsilon$ türbülans modeli kullanılacaktır.

3.3.1.3 RANS (Reynold-Ortalama Navier-Stokes) Denklemleri

Bu yöntemde türbülans girdapları çözülmez, matematiksel olarak modellenir. RANS yöntemi, Reynolds ortalaması prensibine dayanıyor olup ortalama akış özellikleri hakkında bilgi sağlar. Reynolds ortalaması akışa ait herhangi bir özelliğin (hız, sıcaklık, basınç), $\phi(x,t)$ ortalama ve çalkantı değeri cinsinden ayrıştırılmasıyla elde edilir (Celik, 1999).

$$\phi(x,y,z,t)=\bar{\phi}(x,y,z)+\phi'(x,y,z,t) \quad (3.38)$$

Burada ortalama değer daimi türbülans durumunda,

$$\bar{\phi}(x,y,z) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} \phi(x,y,z) dt \quad (3.39)$$

Çalkantı değerinin ortalaması ise,

$$\overline{\Phi'} = 0 \quad (3.40)$$

Akışa ait u , T , p özelliklerinin ortalama ve çalkantı değerleri süreklilik, momentum ve enerji denklemlerine yerleştirilip ortalaması alınırsa RANS denklemleri elde edilir.

Reynolds Ortalamalı Süreklilik;

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.41)$$

Reynolds Ortalamalı Momentum:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (3.42)$$

Reynolds Ortalamalı Enerji:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho C_p \bar{T} \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \rho C_p \overline{T' u'_j} \right) + \Phi \quad (3.43)$$

Günümüzde cebirsel, tek-denklemlilik, iki-denklemlilik ve Reynolds gerilme modelleri olmak üzere pek çok türbülans modeli olup, bunlardan en yaygın kullanılanı k - ε ve k - ω gibi iki-denklemlilik türbülans modelleridir. Bu modeller süreklilik, momentum ve enerji denklemlerine ilave olarak aynı anda çözülmesi gereken iki transport denklemi getirir (Çengel ve Cimbala, 2006).

3.3.1.4 k - ε Türbülans Modelleri

Standart, RNG ve Realizable olmak üzere k - ε modelleri üçe ayrılır. Üç modelde k (türbülans kinetik enerjisi) ve ε (türbülans kinetik enerjinin yutulması) için aktarım denklemleri benzer formattadır. Üç model arasındaki temel farklar ise türbülans viskozitesini hesaplama metodu, k ve ε 'un türbülans yayılmasını etkileyen Prandtl sayıları ve epsilon denkleminde kullanılan ve kullanılmayan terimlerdir. Türbülans viskozitesini hesaplama yöntemi, aktarım denklemleri ve model sabitleri her model için farklılık göstermektedir.

Ancak itme kuvvetinin neden olduğu türbülanslı akışlarda sıkıştırılabilirliğin etkileri, ısı ve kütle transferinin modellenmesi için her modelde ortaktır (Versteeg, 1995).

Standart k-ε türbülans modeli

Standart k-ε türbülans modeli, Launder ve Spalding, 1972 tarafından iki ayrı taşınım denkleminin çözümlmek için türbülans hız ve uzunluk ölçeğini belirlemeye izin veren en temel türbülans modelidir. Pratik mühendislik ve endüstriyel uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modelde akış tamamen türbülanslı olarak kabul edilir. Ayrıca moleküler viskozitenin etkisi ihmal edilmektedir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisinin yutulması (ε) için ilgili taşınım ifadeleri denklem (3.44) ve (3.45)'te verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (3.44)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.45)$$

Bu denklemlerde G_k ortalama hız gradyanlarından dolayı türbülans kinetik enerji üretimini, G_b sıcaklık farklarından dolayı oluşan yoğunluk değişimlerine bağlı olarak türbülans kinetik enerji üretimini göstermektedir.

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.46)$$

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3.47)$$

Standart k-ε türbülans modelinde türbülans veya girdap viskozitesi μ_t , k ve ε'nun beraber göz önüne alınmasıyla şu şekilde hesaplanır: $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$. Burada C_μ bir katsayıdır. Bu sabitin ve diğer katsayıların değerleri deneysel çalışmalardan elde edilmiştir.

$$C_{1\varepsilon} = 1,44 \quad C_{2\varepsilon} = 1,92 \quad C_\mu = 0,09 \quad \sigma_k = 1 \quad \sigma_\varepsilon = 1,3$$

Denklem (3.48)'de görülen Pr_t enerji için türbülans Prandtl sayısı, g_i i-yönündeki yerçekimi vektör bileşenidir. Standart k-ε ve Realizable k-ε türbülans modellerinde Prandtl sayısının değeri sabit olup 0,85'tir.

$$Pr_t = \frac{v_t}{a_t} \quad (3.48)$$

Denklem (3.47)'de görülen termal genişleme katsayısı β denklem (3.49)'da verilmiştir.

$$\beta = -\frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right) \quad (3.49)$$

RNG k-ε türbülans modeli

Bu türbülans modeli oldukça geniş istatistiksel teknikler kullanılarak çıkarılmıştır. Temelde standart k-ε türbülans modeline benzemekle beraber RNG (Renormalized) k-ε türbülans modeli (Yakhot ve Orszag, 1986) aşağıdaki iyileştirmeleri içermektedir:

- Türbülans kinetik enerjisi denkleminde hızlı değişen akışlarda daha fazla doğruluk sağlayan ilave terimler içerir.
- Dönmenin türbülans üzerindeki etkisi RNG modelinde göz önüne alınmıştır. Bu özellikle dönen akışlarda RNG modelini daha uygun kılar.
- Standart k-ε türbülans modeli yüksek Reynolds sayılı türbülans modeli iken, RNG k-ε türbülans modeli düşük Reynolds sayılı akışlarda söz konusu olan efektif viskozite için analitik olarak çıkarılmış diferansiyel formüller sağlar. Ancak bu özelliğin verimli olarak kullanılması uygun yakın-çeper bölgesinin seçimine bağlıdır.

Yukarıdaki bu özellikler RNG k-ε türbülans modelini standart k-ε türbülans modeline göre daha doğru ve güvenilir kılar. RNG k-ε türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisi ve kayıp oranı aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{ef} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (3.50)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{ef} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.51)$$

Burada α_k ve α_ε sırasıyla k ve ε için ters efektif Prandtl sayılarıdır.

$$\sigma_k = 0,85; \sigma_\varepsilon = 0,85; C_\mu = 0,0845; c_1 = 1,42; c_2 = 1,68; c_3 = \tanh(v/u)$$

Realizable k-ε türbülans modeli

Realizable terimi modelin Reynolds gerilmeleri üzerindeki matematiksel kısıtları türbülanslı akışların fiziğine uygun olarak sağlamasından ileri gelmektedir. Realizable k-ε modelinin, Standart k-ε modelinden farkı ise C_μ ve $C_{1\varepsilon}$ parametrelerinin gerinim hızı ve vortisite tensörlerine bağlı olarak dinamik bir biçimde hesaplanmasıdır:

$$C_\mu = \left(A_0 + A_S V^* \frac{k}{\varepsilon} \right)^{-1} \quad (3.52)$$

$$A_S = \sqrt{6} \cos \left(\frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\sqrt{6} \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{|S_{ij}|^3} \right) \right) \quad (3.53)$$

$$V^* = (S_{ij} S_{ij} + W_{ij} W_{ij})^{0,5} \quad (3.54)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.55)$$

$$W_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.56)$$

$$C_{\varepsilon 1} = \max \left(0,43 \frac{\eta_\varepsilon}{5 + \eta_\varepsilon} \right) \quad (3.57)$$

$$\eta_\varepsilon = \frac{|S_{ij}|^k}{\varepsilon} \quad (3.58)$$

Burada, A_0 deneysel bir sabiti; A_S , V^* ve η_ε modele ait değişken parametreleri; S_{ij} gerinim hızı tensörünü; W_{ij} ise vortisite tensörünü ifade etmektedir. Realizable k-ε modeline ait deneysel sabitlerin sayısal değerleri aşağıda verilmiştir.

$$C_{\varepsilon 2} = 1,9; \quad A_0 = 4; \quad \sigma_k = 1; \quad \sigma_\varepsilon = 1,2$$

Standart k-ω Türbülans Modeli

Kolmogorov tarafından geliştirildikten sonra, Wilcox (1998) tarafından daha sade bir denkleme dönüştürülen bu modelde türbülans viskozitesi denklem (3.59) ile hesaplanmaktadır.

$$\mu_t = \frac{\bar{\rho}k}{\tilde{\omega}} \quad (3.59)$$

$$\tilde{\omega} = \max \left[\omega, 0,875 \left(\frac{2\bar{S}_{ij}\bar{S}_{ij}}{\beta^*} \right)^{0.5} \right] \quad (3.60)$$

$$\bar{S}_{ij} = S_{ij} - \frac{1}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (3.61)$$

Türbülans kinetik enerjisi, ve özgül türbülans yitimi, sırasıyla denklem (3.62) ve (3.63) ile hesaplanır.

$$\frac{\partial(\bar{\rho}k)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{u}_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \sigma^* \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \bar{\rho} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \bar{\rho} \beta^* \omega k \quad (3.62)$$

$$\frac{\partial(\bar{\rho}\omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{\rho}\tilde{u}_j \omega)}{\partial x_j} = a \frac{\omega}{k} \bar{\rho} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \sigma \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + \sigma_d \frac{\bar{\rho}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} - \bar{\rho} \beta \omega^2 \quad (3.63)$$

Özgül Reynolds gerilim tensörü, τ_{ij} aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\tau_{ij} = 2 \frac{\mu_t}{\bar{\rho}} \bar{S}_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \quad (3.64)$$

Standart k- ω denklemlerinde yer alan deneysel sabitler aşağıda gösterilmektedir.

$$\beta^* = 0,09; \beta = 0,07; a = 0,52; \sigma^* = 0,6; \sigma_d = 0,125; \sigma = 0,5$$

3.3.1.5 Reynolds Gerilme Türbülans Modeli (RSTM)

Reynolds gerilme türbülans modeli en açık ve ayrıntılı türbülans modelidir. RSTM türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı ile beraber Reynolds gerilmeleri için taşınım denklemlerini çözerek Reynolds-ortalamalı Navier-Stokes denklemlerini kapar. Bu ise iki-boyutlu (2D) akışlarda 5, üç-boyutlu (3D) akışlarda ise 7 ilave denklemin çözülmesini gerektirir. Dönme ve girdapdaki hızlı değişimler için daha kapsamlı bilgiler vermesinden dolayı bir ve iki-denklemlili türbülans modellerine nazaran özellikle karmaşık problemlerin çözümünde daha iyi sonuçlar verir. RSTM diferansiyel taşınım denklemlerini kullanarak Reynolds gerilmelerinin her birini çözer (Gibson ve Launder, 1978; Launder, 1989; Launder ve ark.,

1975). Ayrı ayrı çözülen bu Reynolds gerilmeleri daha sonra Reynolds ortalama momentum denklemlerinin kapamasında kullanılır.

RSTM türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisi k 'nın da ayrıca modellenmesi gerekmektedir. Bu ise Reynolds gerilmelerinin bulunmasıyla gerçekleşir.

$$k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i} \quad (3.65)$$

Ancak Reynolds gerilmelerinin hesaplanması için aşağıdaki taşınım denklemi uygun sınır şartlarının tanımlanmasıyla da türbülans kinetik enerjisi hesaplanabilir:

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{2} (P_{ii} + G_{ii}) - \rho \varepsilon (1 + 2M_t^2) \quad (3.66)$$

Burada $\sigma_k = 0,82$ olarak alınmıştır (Fluent 6.3 User's Guide, 2006). Denklem (3.66) her ne kadar bütün akış boyunca çözülüyorsa da k değeri yalnızca sınır şartları için kullanılır. Diğer bütün durumlarda türbülans kinetik enerjisi denklem (3.65) kullanılarak bulunur. Türbülans kinetik enerjisinin yutulması ise denklem (3.67)'deki gibi hesaplanır:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{2}{3} \delta_{ij} (\rho \varepsilon) \quad (3.67)$$

Skalar kayıp oranı ε ise standart k- ε türbülans modelindeki gibi bulunur. RSTM türbülans modelinde türbülans viskozitesi μ_t ise:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.68)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem (3.68)'deki C_μ Standart k- ε türbülans modelinde olduğu gibi bir katsayıdır ($C_\mu = 0,09$).

3.3.1.6 Radyasyon Modeli

Güneş baca simülasyonunda radyasyonlu ısı transferini doğru bir şekilde hesaplamak için bir radyasyon modeli kullanılır. FLUENT'te sunulan beş farklı radyasyon modeli vardır, ancak malzemenin saydamlığını hesaba katan model; ayrık ordinatlar (DO) modelidir. Güneş kolektörünün saydam niteliğinden dolayı bu model seçilmiştir.

DO modeli, radyasyon transfer denklemini kullanarak bir malzemeden ne kadar enerjinin emildiğini, yansıtıldığını ve iletildiğini hesaplar:

$$\nabla \cdot (I_{\lambda}(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a_{\lambda} + \delta_s) I_{\lambda}(\vec{r}, \vec{s}) = a_{\lambda} n^2 I_{b\lambda} + \frac{\delta_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I_{\lambda}(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad (3.69)$$

Burada, λ , dalga numarasıdır; a_{λ} , spektral soğurma katsayısıdır; δ_s saçılma katsayısıdır; $I_{b\lambda}$ siyah gövde yoğunluğudur. Ayrıca, sırasıyla $\vec{r}$ ve $\vec{s}$ konum vektörünü ve yön vektörünü temsil eder. Φ ve Ω' sırasıyla faz işlevini ve düz açıyı gösterir. Radyasyon modeli, her bir dalga boyu aralığına entegre edilmiştir, ayrıca $\Delta\lambda$, dalga boyu bandındaki aydınlık enerji miktarı için denklemlerle sonuçlandırılmaktadır. Buna göre, $\vec{s}$ ve $\vec{r}$ konumlarındaki duyuların her birinde toplam yoğunluk $I(\vec{r}, \vec{s})$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

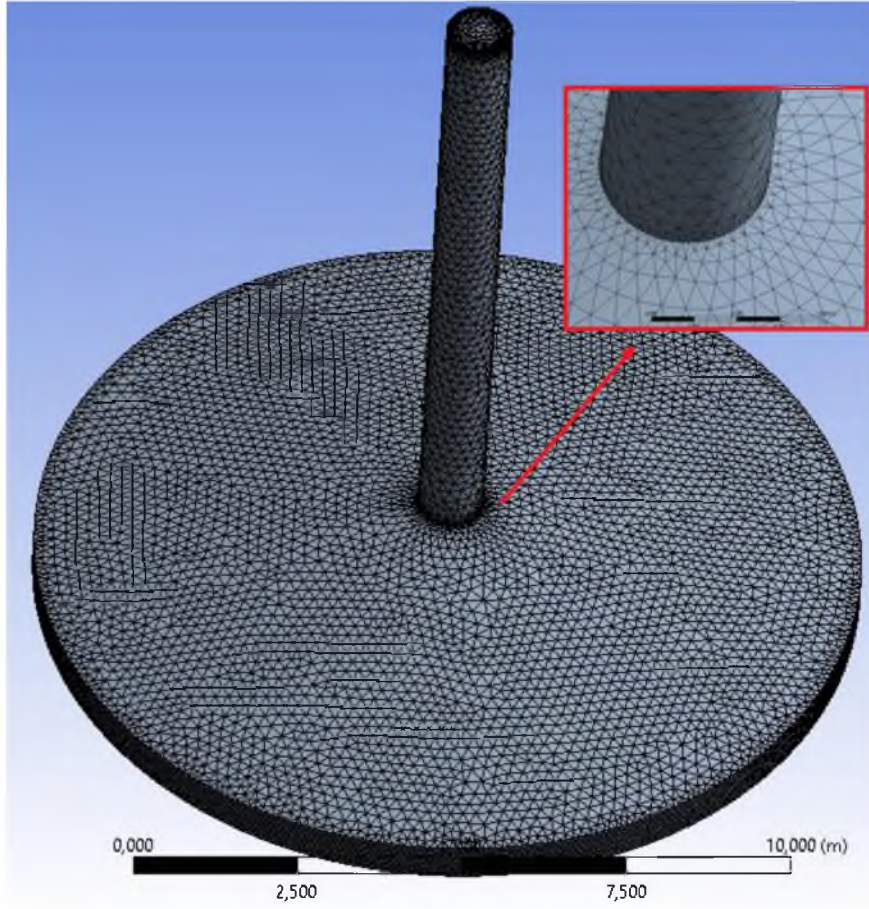
$$I(\vec{r}, \vec{s}) = \sum_k I_{\lambda}(\vec{r}, \vec{s}) \Delta\lambda_k \quad (3.70)$$

3.3.2. Modelleme Yöntemi

3.3.2.1. Geometri ve Çözüm ağı (Mesh) Oluşturma

Güneş Bacası prototipinin fiziksel büyüklükleri ele alınarak 3 boyutlu bir tasarım oluşturulmuştur. Geometri oluşturulduktan sonraki ikinci adım çözüm ağı oluşturmaktır. Çözüm ağı üretimi ve kalitesi HAD simülasyonlarında analiz sonucunun doğruluğunu etkileyen en önemli adımlardan biridir. Üçboyutlu (3D) simülasyonlarda yüzey çözüm ağına ölçüsü ve sayıları çözüm ağı kalitesini belirler. Geometrinin meshlenmesi, sonlu sayıda çok kenarlı hacimlere ayrılmasıdır. Böylelikle korunum denklemleri, sonlu sayıdaki bu küçük hacimler için ayrı ayrı çözülerek toplam akış alanı için genel çözüme ulaşılır. Bu küçük çözüm ağı (grid) en küçük elamanına hücre, hücreyi çeviren bölge yüzey, yüzeylerin ortak noktalarında düğüm (nod) denir. Bu çalışmada ANSYS FLUENT 18.1 sonlu hacimler çözücüsünde yapılmıştır.

Çözüm ağı oluşturulurken otomatik yöntem kullanılmıştır. Fakat bu yöntem ile birlikte bazı iyileştirmeler de yapılmıştır. Yüzeylerdeki hücre büyüklükleri (surface sizing) küçük tutularak, sınır tabakalarında çok katmanlı hücreler (boundary layer) kullanılarak, akışın çok hızlanabileceği ve akış hacmindeki keskin bölgelerde (inflation) yoğun hücreler kullanılarak sonucun doğruluğunun yükseltilmesi hedeflenmiştir. Çözüm ağı için 31895 düğüm noktası (nodes) ve 151146 hacim elemanı (elements) kullanılmıştır. Şekil 3.33.'te güneş bacasına ait çözüm ağı gösterilmiştir.



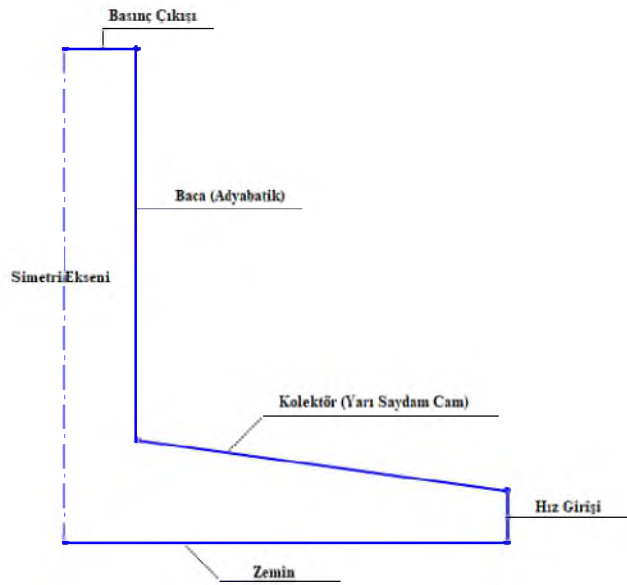
Şekil 3.33. Güneş Bacası Geometrinin Çözüm ağı

Duvar yakınındaki hız ve sıcaklık profilini çözmek için akış sınırlarında daha ince bir mesh kullanılır. Makul sayıda mesh elemanı bulmak için "Mesh Bağımsızlığı" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, kabadan ince mesh'e farklı örgü yapılarını deneyerek doğru miktarda elementi belirlemek için kullanılır. Çizelge 3.10.'da, 151146 element sayısından sonra maksimum sıcaklık ve maksimum hız değerinin çok fazla değişmediği gözlenmiştir.

Çizelge 3.10. Element numarasına karşılık gelen maksimum hız ve sıcaklık değerleri

Element sayısı	Maks. Sıcaklık	Maks. Hız
110205	334 K	1,51 m/s
122405	333 K	1,58 m/s
131930	331 K	1,67 m/s
151146	331 K	1,87 m/s
160875	331 K	1,88 m/s

ANSYS programının Mesh Metrics bölümünde meshin kalitesinin kontrolü yapılabilir. Burada Skewness değeri meshin çarpıklık ölçüsü olup 0 ile 1 arasında değişir. Bu kontrol panelinde o geometriye uygulanan mesh yapısı 0 ise mükemmel, 1 ise kabul edilemez olarak değerlendirilir. Doğru sonuca yakın sonuçlar veren bir analiz için iki ve üç boyutlu tüm çalışmalarda Skewness değerinin 0,5'i geçmemesi tavsiye edilmektedir (Canbaz, 2011). Oluşturulan meshin skewness ortalama değeri 0,2454'tür (Çizelge 3.11.). Ayrıca giriş, çıkış ve duvar; geometride bu aşamada tanımlanmaktadır (Şekil 3.34.).



Şekil 3.34. Sınır Şartları

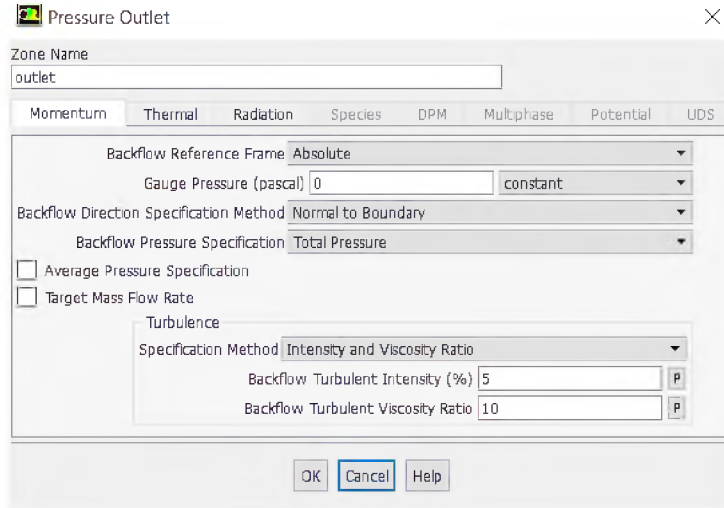
Çizelge 3.11. Güneş Bacası modeline ait mesh bilgileri

Düğüm (node) noktası sayısı		31895
Element (mesh) sayısı		151146
Skewness	Minumum	4,2531e-005
	Maksimum	0,84677
	Ortalama	0,2454

3.3.2.2. Sınır Değerleri

Modellenen geometriyi kapsayan hesaplama alanına akış girer ve çıkar. Hesaplama alanına giriş-çıkış sınır şartları için akışın hız veya basınç şartları olarak iki seçenek vardır. Hız giriş şartı (velocity inlet condition) kullanılacaksa, hesaplama alanı ön yüzünden giren akışın üniform olduğu kabulüyle, akışın hızı belirlenir. Akışkan akış özelliklerinin yanı sıra ısı transferi de hesaplanacaksa akışın sıcaklık, ısı akısı ve türbülans özellikleri de programa girilir.

Basıncı bilinen bir ortamdan hesaplama alanına akan akışın basıncı bilindiği durumlarda ise giriş yüzü boyunca basınç giriş şartı (pressure boundary condition) uygulanabilir. Genelde çıkış basıncı ise atmosferik basınca açıktır ve etkin basınç sıfır girilir, böylelikle hesaplama alanına giriş ve çıkışta basınç farkı hesaplanmış olur. Giriş şartında akışa ait hız, çıkış sınır şartı da etkin basınç sıfır pascal girilmiştir (Şekil 3.35.).



Şekil 3.35. Sınır Değerler (Outlet > Pressure Boundary Condition)

Analiz sonuçlarının doğruluğunu etkileyen bir diğer etmen de sınır koşullarının doğru girilmesidir. Sayısal modelde kullanılan sınır şartları güneş bacası deney düzeneğinde yapılan deneylerde elde edilen değerlerdir. Sınır koşulları (boundary conditions) sekmesinden giriş ve çıkış için sınır koşulları girilebilmektedir. Bu çalışmada kolektör giriş hızlarının ortalaması 1,1 m/s'lik değer ile giriş türü ve çıkış kısmında basınç çıkışı türü seçilmiştir. Basınç değerleri sisteme, atmosfere açık olduğu için sıfır olarak belirlenmiştir. Prototip üzerinde alınan deney sonuçlarında ışıınım yoğunluğunun en fazla olduğu saat: 13:00 seçilmiştir. Buna göre; ortam havası sıcaklığı, $T_0 = 309$ K olarak belirlenmiştir. Baca duvarının yalıtıldığı varsayıldığı için bacaya, sıfıra eşit bir değere sahip bir ısı akısı ile duvar sınırı uygulanmıştır.

Kolektör cam yüzeyi yarı saydam seçilerek ortam havası ile arasındaki konveksiyon sınırı dikkate alınmış ve ısı transfer katsayısı $9,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak seçilmiştir. Zeminin yüzeyinde ise güneş ışıının absorpsiyonu için güneş ışıınım değeri 1013 W/m^2 olarak girilmiştir.

Giriş, çıkış ve duvarlarda uygulanan sınır şartı değerleri ile programda tanımlanan zemin ve kolektör cam yüzeyine ait malzeme özellikleri Çizelge 3.12. ve 3.13.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Tanımlanan sınır şartı değerleri

Kenar Parametreleri	Tip	Değer
Baca Yüzeyi	Duvar (Wall)	Adyabatik
Kolektör Yüzeyi (Cam)	Duvar (Semi-Transparent)	$h= 9,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T_o= 309 \text{ K}$
Kolektör Girişi	Hız Girişi (Velocity inlet)	$V=1,1 \text{ m/s}$, $T_o= 309 \text{ K}$
Baca Çıkışı	Basınç Çıkışı (Pressure outlet)	$P_o= 0 \text{ Pa}$,
Zemin	Duvar (Wall)	$I=1013 \text{ W/m}^2$

Çizelge 3.13. Kolektör cam yüzeyi ve toprak malzemelerinin özellikleri (Gholamalizadeh ve Kim, 2014)

Malzeme Özellikleri	Kolektör Cam Yüzeyi	Zemin
Emilim katsayısı	0,04	0,8
İletim katsayısı	0,92	-
Yoğunluk (kg / m^3)	2700	1900
Özgül ısı (J / kgK)	840	2200
Isı iletkenliği (W / mK)	0,78	1,83
Emissivite	0,9	0,89

3.3.2.3. Çözüm Metodu

Çözüm ağı üretildikten sonra sayısal çözümler, ANSYS FLUENT 18.1 sonlu hacimler çözücüsünde yapılmıştır. Bölüm 3.3.1.1’de verilen denklemlere göre sıkıştırılamaz RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) denklemleri çözdürülmüştür. Dikkate alınan uygulama 3D simetrik bir sistemdir.

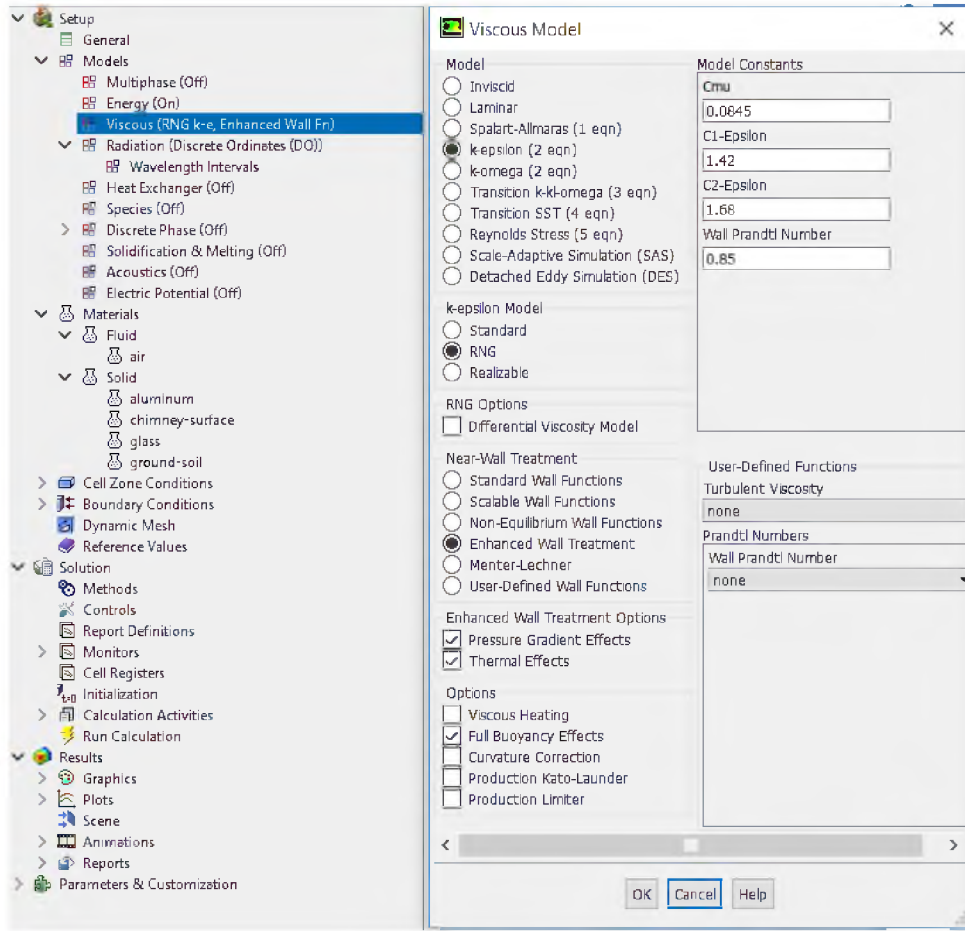
Analizin başlatılabilmesi için “setup” sekmesinden gerekli seçimler yapılmalıdır. “General” sekmesi altında “Check” butonuna basılarak mesh yapısı ve koordinatlarda kayma olup olmadığı kontrol edilir. Daha sonra çözücünün basınç tabanlı (pressure-based) ya da yoğunluk tabanlı (density-based), zamanın ise kararlı (steady) ya da geçici (transient) olacağı seçilir (Şekil 3.36.). Akışkanın yoğunluğu sabit olacağı durumlarda basınç tabanlı çözücü, ideal gaz ya da gerçek gaz olacağı durumlarda da yoğunluk tabanlı çözücünün kullanılması gerekmektedir. General modülünde Solver tipi tüm analizlerde akış sıkıştırılamaz olduğu için Pressure-based ve Transient seçilmiştir. Ayrıca y eksenini (baca) boyunca yerçekimi ivmesi sisteme eklenmiştir.



Şekil 3.36. Ansys Fluent Setup > General Ekranı

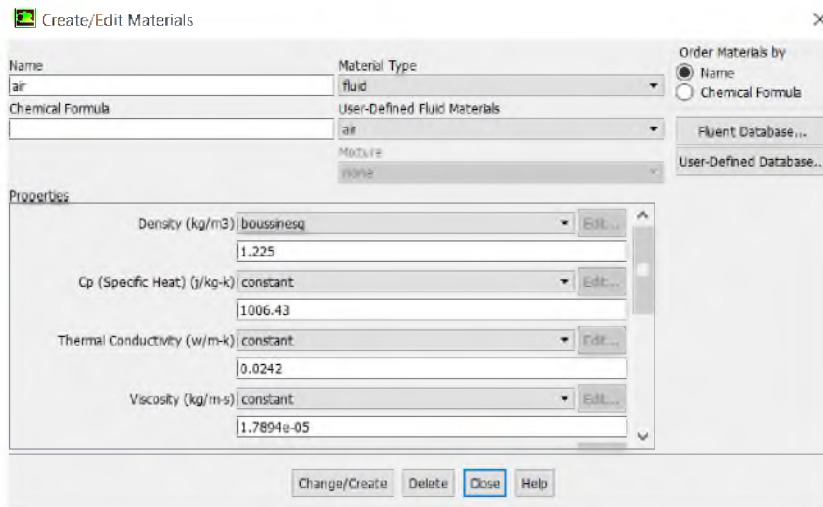
“Models” sekmesi ile Türbülanslı akışları çözmek için ise düşük Reynolds sayılarında ve sınır tabaka akışlarında başarılı sonuçlar veren “*RNG k-ε türbülans modeli*” seçilmiştir. Bu aşamada “Energy on” sekmesi ile beraber kolektör girişinden baca çıkışına kadar geçen hava arasındaki konjuge ısı transferinin hesaplanması için enerji modülü aktifleştirilmiştir. Ayrıca sistemdeki sera etkisini simüle etmek için radyasyon modeli olarak ayırık ordinatlar (DO) yöntemi kullanılmıştır. Bu modele göre kolektör cam kaplaması yarı saydam bir duvar olarak kabul edilmiştir. Global güneş ışıması yoğunluğu 1013 W/m^2 olarak seçilmiştir.

Daha sonra “Near-Wall Treatment” sekmesinin altında “*Standart Wall Function, Non-equilibrium Wall Function ve Enhanced Wall Treatment*” gibi seçeneklerin arasından problemin hassasiyetine göre seçim yapılır. Standart Duvar Fonksiyonu, literatürde yaygın olarak kullanılan ve çoğunlukla uyumlu sonuçlar veren bir fonksiyondur. Ancak cidara yakın yüksek hız ve basınç değişimlerinin olduğu akışlarda ise elde edilen veriler doğru sonuçları göstermekten oldukça uzaklaşmaktadır. Non-equilibrium Duvar Fonksiyonu, duvara yakın bölgeyi iki tabakaya ayırarak geliştirilmiştir. Standart Wall Function’da ihmal edilen yüksek hız ve basınç gradyenlerinin de etkisini hesaplar. Enhanced Duvar Fonksiyonu ise daha ince meshler için iki tabakalı modelin doğruluğunu pekiştirmek için kullanılır. Bu çalışmada Enhanced Wall Function seçeneği kullanılmıştır (Şekil 3.37.).

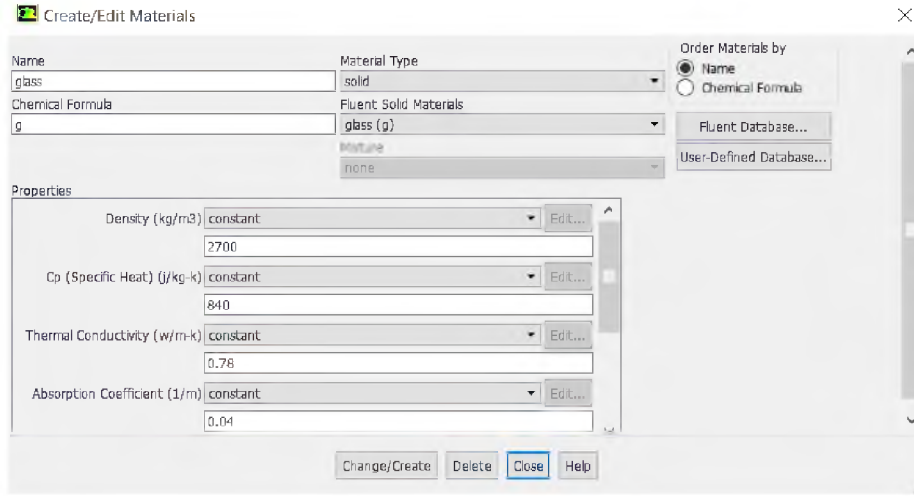


Şekil 3.37. Ansys Fluent Setup > Model Oluşturma Ekranı

Malzeme seçiminde sistemde akışkan olarak hava seçilmiştir. Havanın yoğunluğunun değiştiği kabul edilerek Boussinesq yaklaşımı ele alınmıştır. Akışkan olarak verilen hava ile kolektör cam yüzeyi için malzeme özellikleri Şekil 3.38. ve 3.39.'da verilmiştir.



Şekil 3.38. Ansys Fluent Setup > Materials Havanın Özellikleri



Şekil 3.39. Ansys Fluent Setup > Materials Kolektör Camının Özellikleri

“Solutions Method” hangi methodun kullanılacağını seçileceği sekmedir. Couple ve Simple benzer özellikte gösterir. Simple seçilirse, çözümün yakınsaması için daha fazla iterasyon yapılır. Couple ise daha az sayıda iterasyonla sonuca ulaşır. Prototipin akış analizlerinde, SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, kütle korunumunu uygulayarak basınç alanını hesaplamak için, hız ve basınç düzeltmeleri arasında bağlantı kurmaktadır. Bu algoritma öncelikle süreklilik ve momentum denklemlerini hesaplayarak enerji ve molekül taşınım denklemleri ile türbülans modeli denklemlerini aynı anda çözdürür.

“Solution initialization” sekmesinde Hybrid ve Standart olmak üzere iki seçenek mevcuttur. Standart Initialization seçilirse, FLUENT çözücüsü her bir hücreye aynı değerleri vererek çözümü başlatır. Hybrid Initialization’da ise her bir hücreye, olması gereken değeri program kendisi atayarak çözümü başlatır. Initialization önemi, sayısal HAD çözümlerinde iterasyon yapılırken başlangıç koşulları ne kadar mantıklı seçilirse sonuca o kadar hızlı ulaşır, bu nedenle programın her bir hücre için hesaplama yapması tercih edilerek, tüm modellerin çözümünde Hybrid Initiazation seçilmiştir.

Son olarak “Run Calculation” sekmesi ile iterasyon, yaklaşık sayısal çözümlerden kesin matematiksel problemler elde etmek için kullanılan tekrarlama işlemi başlatılmış olur. İterasyonlar, sonuca tamamen ulaşıldığında biter, ama sayısal çözümlerde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözülürken yapılan modellemelerde residualslar 10^{-7} ’ye ulaştığında hesaplama durur.

3.4. Yapay Sinir Ağları

Geleneksel yöntemler sadece algoritmaya dayalı kesin aritmetik işlemlerde verimli bir çözüm yöntemi olup, aralarında doğrusal olmayan ilişkilerin ve sonucu etkileyen birçok parametrenin bulunduğu karmaşık problemlerin çözümü konusunda yetersiz kalabilmektedirler. Bu gibi karmaşık problemlerin çözümü için akıllı sistemler (genetik algoritma, yapay sinir ağları vb.) geliştirilmiştir (Khandelwal ve Singh, 2006; Elmas, 2011).

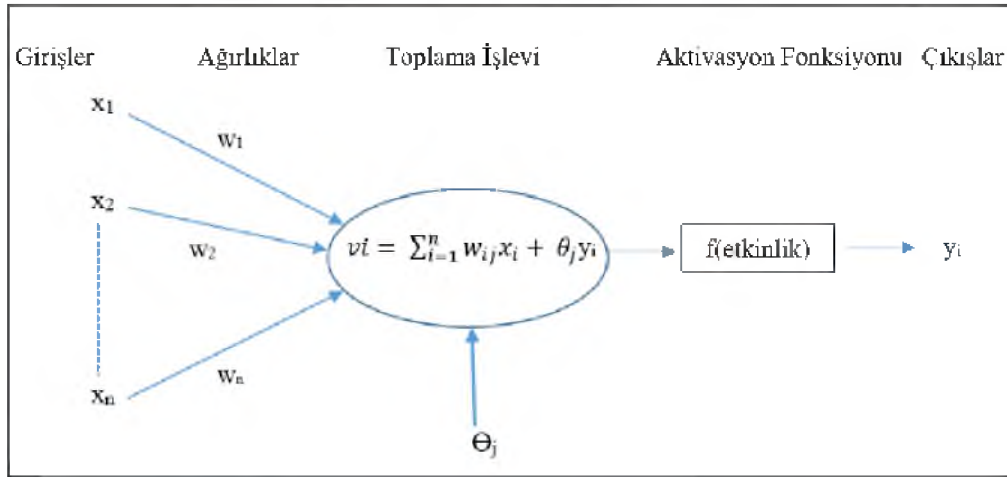
Yapay sinir ağları (YSA) insan beyninin çalışma yapısını tüm fonksiyonlarıyla beraber taklit ederek geliştiren yapay zeka tekniklerinden yalnızca biridir. Bir başka deyişle insan beyninin çalışma ve öğrenebilme kabiliyetinden yola çıkılarak elde edilen bir bilgi işlem teknolojisidir. Yapay sinir ağları hem donanımsal hem de yazılım ile modellenenlerdir. Yapay sinir ağları ilk olarak elektronik devreler yardımıyla oluşturulmaya çalışılmış zamanla kendini yazılım alanına bırakmıştır (Tosun, 2004).

Yapay sinir ağları aynı zamanda, “bağlantılı ağlar (connectionist networks)”, “paralel dağıtılmış ağlar (parallel distributed networks)”, gibi farklı isimlerle de adlandırılmaktadır. YSA, diğer zeki teknikler gibi algoritmik olmayan, adaptif, paralel programlama gibi tekniklerin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Örneklerin bulunduğu fakat olaylar hakkında bilgilerin bulunmadığı veya eksik bilginin söz konusu olduğu durumlarda etkin bir karar verme yöntemidir. YSA, aynı zamanda bu tip durumlarda önemli bir hesaplama yöntemidir (Öztemel, 2016).

3.4.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay Sinir Ağ modelinde en küçük bilgi işleme birimi nöron adı verilen yapay sinir hücreleridir. Genellikle birden fazla giriş ve çıkışa sahip bir bilgi işleme birimi olan nöron YSA'nın temel yapı taşıdır. Hücre modellerine göre bazı farklılıklar olmasıyla birlikte, bir yapay sinir ağı modeli beş bileşenden meydana gelir (Sönmez, 2017) (Şekil 3.40.). Bunlar aşağıdaki şekildedir:

- Girdi,
- Ağırlıklar,
- Toplama fonksiyonu
- Aktivasyon fonksiyonu
- Çıktılar



Şekil 3.40. Yapay nöron temel yapısı (Elmas, 2011)

Girdiler (x_n), yapay sinir hücresine bir başka yapay sinir hücresinden veya dış dünyadan toplanan bilgilerden oluşur.

Ağırlıklar (w_n), girdinin önemini ve hücre üzerinde etkisi gösteren katsayılarıdır. Her bir giriş için bir ağırlık vardır. YSA'nın ayarlanabilir parametreleridir. Ağırlıklar değişken ya da sabit olabilirler (Öztemel, 2003).

Toplama işlemi, en basit şekilde yapay sinire alınan giriş değeri ile o girişe ait olan ağırlığın çarpılması ile elde edilir.

$$\sum_i^n x_i w_i \quad (3.71)$$

Çoğu uygulamada eşik değeri olarak tanımlanan θ toplamaya katılmaktadır. Burada amaç, nöronların aktif olmasını sağlamaktır. Eşik değeri (θ) toplama fonksiyonuna +1 veya -1 değeri ile bağlanır. Böylece toplama işleminin 0 olmasını engeller.

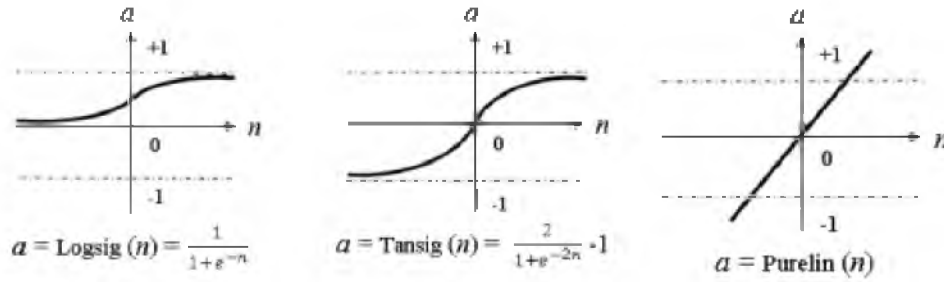
$$\sum_i^n x_i w_i \pm \theta \quad (3.72)$$

Aynı tip problemler için kullanılan yapay sinir hücrelerinin tümü aynı toplama fonksiyonunu kullanabileceği gibi her biri için farklı toplama fonksiyonunu da kullanılabilir (Öztemel, 2003).

Aktivasyon Fonksiyonu, yapay nöron tarafından bilginin işlendiği birimdir. Net girdinin hesaplanmasının ardından hücre içerisinde ileri doğru ilerleyen işlem akışında net girdiye karşılık oluşturulacak çıktı değeri aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenir.

Aktivasyon fonksiyonları; Tek yönlü (unipolar) basamak, doğrusal, çift yönlü (bipolar) basamak, pozitif doğrusal, tanjant hiperbolik ve logaritmik sigmoid fonksiyonlarını içermektedir. YSA çalışmalarında kullanılan birkaç aktivasyon fonksiyonunun gösterimi Şekil 3.41.'de verilmiştir.

Çıkışlar ise, problemin çözümünü temsil eder.

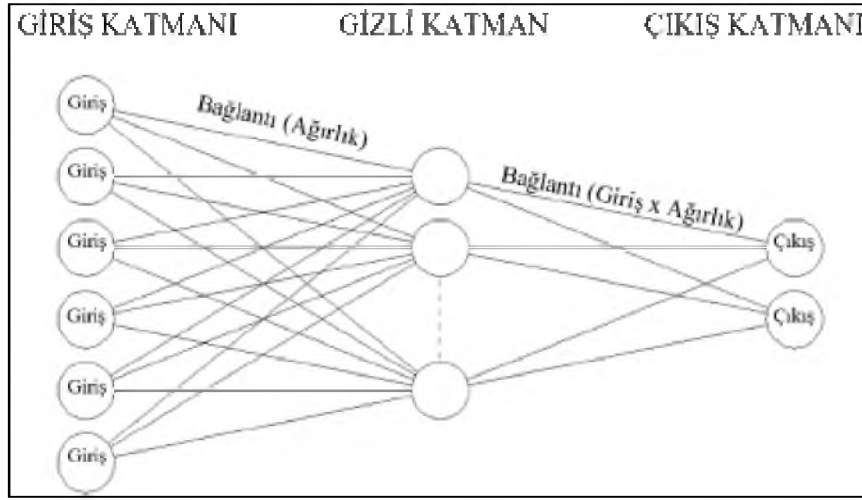


Şekil 3.41. Logsig, Tansig ve Purelin (İlker, 2018)

Ağın performansını etkileyen ve yapay sinir ağlarının sınıflandırılmasındaki ölçütlerden bir tanesi de ağı oluşturan katmanların durumudur. Buna göre yapay sinir ağları tek katmanlı ve çok katmanlı olarak iki şekilde değerlendirilir.

3.4.2. Çok katmanlı Yapay Sinir Ağları

Yapılarına göre birçok YSA türü mevcuttur. Literatürde kullanılan en yaygın YSA çeşidi çok katmanlı algılayıcılardır (Haykin, 2009). Çok katmanlı algılayıcılar bir ağda yer alan tüm nöronların doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonuna sahip olduğu, bir veya daha fazla gizli katmanın bulunduğu ve katmanlar arasındaki tüm nöronların tamamen birbirine bağlandığı YSA çeşididir. Çok katmanlı algılayıcılar, danışmanlı öğrenme gerçekleştirir. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmektedir (Öztemel, 2016). Çok katmanlı algılayıcının yapısı Şekil 3.42.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.42. Çok katmanlı yapay sinir ağlarının yapısı (Elmas, 2011)

Girdi katmanı, ağa gösterilen her bir örneğin girdilerini alır ve olduğu gibi bir sonraki katmana gönderir. Girdi katmanındaki proses elemanlarının her birisi, bir sonraki katmandaki proses elemanlarının her birisine bağlıdır. Gizli katman (ara katman) ise girdi katmanından ve eşik değerinden gelen bilgileri, her bir proses elemanında toplama fonksiyonu ile toplar ve aktivasyon fonksiyonu ile çıktıya dönüştürür. Bir adet çok katmanlı algılayıcıda birden fazla ara katman olabilir. Her bir ara katmandaki proses elemanı sayısı birbirinden farklı olabilir (Haykin, 2009; Midilli, 2018).

3.4.3 Yapay Sinir Ağlarında Eğitim Kuralları

Yapay sinir ağlarında eğitim, optimal ağırlıkları ve bias değerini belirleme sürecidir. Bu da, ağırlık çıktıları ile hedefleri arasındaki hatanın minimize edilmesi ile sağlanır (Baghirli, 2015). YSA'da kullanılan eğitim algoritmaları, danışmanlı öğrenme ve danışmansız öğrenme başlıkları altında 2 ana grupta incelenir. Danışmanlı öğrenme kuralları en uygun değeri bulma (eğri uydurma) ve sınıflandırma problemlerinde, danışmansız öğrenme kuralları ise kümeleme problemlerinde tercih edilmektedir (Mathworks, 2017). Bu çalışmada parametreler için karşılaşılan problemlerin eğri uydurma ve sınıflandırma olmasından dolayı danışmanlı öğrenme kuralları, bu kurallardan da hatayı minimize etmede en etkili çözümleri sunan geri yayılım öğrenme kuralları kullanılmıştır.

Geri yayımlı öğrenen ağlar hiyerarşik yapılı, geri beslemeli çok katmanlı ağlardır. Her bir katmanın ağırlıkları, bir sonraki ağda ortaya çıkan hataya bağlı olarak güncellenir. Bir başka deyişle, hatalar, en uygun ağırlıkları belirlemek üzere geri beslenir. Bu da hatanın minimize edilmesini sağlar (Rumelhart ve ark., 1986).

Geri yayılım öğrenme kuralları ile hem doğrusal, hem de doğrusal olmayan problemler çözülebilmektedir. Levenberg-Marquadt (LM), Bayes (BR) ve ölçekli eşlenik indirgeme (SCG) algoritmaları bu kurallara girer. Genellikle sigmoid veya tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu ile beraber tercih edilirler (Özyurt, 2018).

3.4.4. Levenberg-Marquadt Geriyayılım Algoritması (LM)

Yapay sinir ağlarında öğrenme algoritmaları hız ve iyi performans değerleri bakımından genel olarak deneme yanılma tekniklerini kullanan ve standart sayısal optimizasyon teknikleri kullanan algoritmalar olmak üzere iki gruba ayrılır. Deneme-yanılma tekniklerini kullanan algoritmalar kendi içinde momentum terimli, öğrenme hızı değişen ve esnek olmak üzere üçe, standart sayısal optimizasyon teknikleri kullanan algoritmalar ise yine kendi içinde eşlenik Gradient Descent, Gauss Newton ve Levenberg Marquardt olmak üzere yine üç bölüme ayrılır. Bu algoritmalar içerisinde Levenberg Marquardt (LM) öğrenme algoritması son zamanlarda YSA da diğer öğrenme algoritmalarına kıyasla daha çok tercih edilen ve diğer yöntemlerin yerine kullanılan bir algoritma olarak yer almaktadır. Uzman tarafından ağda belirlenen performans değerini en küçük yapacak şekilde, maksimum komşuluk anlayışıyla oluşturulmuş en küçük kareler yöntemidir.

Ağda hata değeri bulunduktan sonra ağı oluşturan her nöron, kendi ağırlığını optimize ederek hata oranını azaltma yoluna gider (Bolat ve Kalenderli, 2003).

Geri yayılım ağlarında uygun ağırlıkların daha çabuk belirlenebilmesi için, eğim düşüm ve Newton algoritmaları türetilerek, Levenberg-Marquadt Geriyayılım Algoritması geliştirilmiştir (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963). Levenberg-Marquardt algoritması Jacobian matrisinin hesabına ve bununla ilişkili olarak Hessian matrisine yeni bir yaklaşım getirmektedir. Hessian matrisine getirilen bu yeni yaklaşım denklem (3.73) ile ifade edilebilir.

$$HM = J^T J + \mu I \quad (3.73)$$

Bu denklemde J Jacobian matrisi, μ kombinasyon katsayısı, I ise birim matristir. Levenberg-Marquardt algoritması Hessian matrisinide ekleyerek denklem (3.74) ile hesaplanabilir.

$$w_{k+1} = w_k (J^T J + \mu I)^{-1} J_k e_k \quad (3.74)$$

Denklem (3.74)'te w ağırlık değerini k iterasyon sayısını, e ise istenen çıktı değerinin gerçek çıktı değerinden farkı olan hata değerini ifade etmektedir.

Jacobian Matrisi, hataların birinci türevlerinden oluşan bir matristir ve bu matris denklem (3.75)'te verilmiştir (Yu ve Willamowski, 2011).

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_{11}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{11}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{11}}{\partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{1n}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1n}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{1n}}{\partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{p1}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{p1}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{p1}}{\partial w_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{pn}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{pn}}{\partial w_2} & \dots & \frac{\partial e_{pn}}{\partial w_n} \end{bmatrix} \quad (3.75)$$

3.4.5. Kullanılan Yazılım Programı ve Yöntem

Elde edilen verilerin analizi, ticari yazılım programı MATLAB (The Mathworks) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MATLAB, temelde matematiksel hesaplamalarda, verilerin grafiksel gösteriminde ve programlamada bilimsel ve teknik hesaplamalar için yazılmış bir yazılım programıdır. MATLAB programının kullanım alanları arasında: Algoritma geliştirme, modelleme, simülasyon ve öntipleme, matematik ve hesaplama işlemleri, veri analizi, bilimsel ve mühendislik grafikleri ve uygulama geliştirme şeklinde örnekler verilebilir.

MATLAB programı, bünyesinde bulunan uygulama özellikleri ve yerleşik kütüphanesi ile matematik ve mühendislik bilim dalları ile sanayi alanında araştırma, geliştirme ve analiz yöntemlerinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Buna ek olarak işaret işleme, kontrol, fuzzy, sinir ağları, wavelet analiz gibi çoğu alanda ortaya koyduğu toolbox adı verilen yardımcı alt programları da bulunmaktadır (Sarıkaya, 2018).

Yapılan çalışma ile elde edilen parametrelerden giriş verileri olarak; güney bölgesi giriş hızı (V_2), ortam sıcaklığı (T_{24}) ve ışıınım değerleri ile çıkış değeri olarak türbin devir sayısı (RPM) veri setleri belirlenmiştir. Çapraz doğrulama sayısı 2 olarak tayin edilmiş, 3 farklı transfer fonksiyonu (TANSİG, PURELİN ve LOGSİG) ve 5 farklı gizli nöron sayısı (5, 10, 15, 20, 25) ile bu veriler test edilerek (R) regresyon oranları belirlenmiştir.

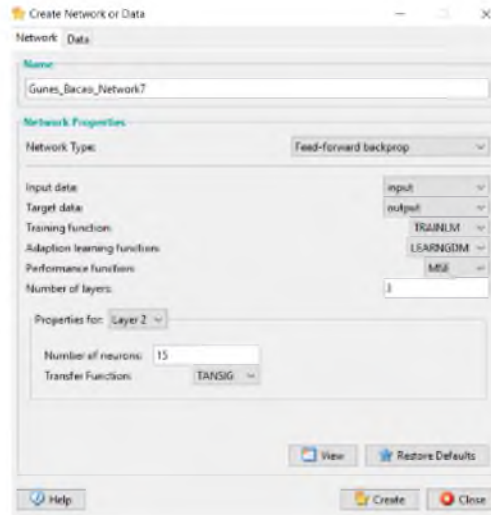
Güneş bacası sisteminde elde edilen deneysel verilerin matematiksel olarak modellenmesinde farklı ağ yapıları ile alternatif çözümler sunularak bunların arasından en uygun ağ modeli seçilmiştir. YSA modeli olarak mühendislik uygulamaları alanında da en çok kullanılan geriye yayımlı ileri beslemeli, çok katmanlı öğrenme mekanizması seçilmiştir.

Yapay Sinir Ağ giriş bilgileri için; Eğitim fonksiyonu olarak TRAINLM, öğrenme adaptasyon fonksiyonu olarak LEARNGD, performans fonksiyonu olarak MSE seçilmiştir. Transfer fonksiyonu olarak TANSİG, PURELİN ve LOGSİG transfer fonksiyonları belirlenmiştir. YSA modelde ağın eğitimi için elde edilen verilerin tamamının kullanılmaması gerekmektedir. Bu çalışmada 49 verinin 39'u eğitim ve 10'u test ağında kullanılmıştır. Ayrıca verilerin daha iyi değerlendirilmesi için normalizasyon işlemi (Denklem (3.76)) yapılmıştır. Normalizasyon, veri tabanlarında çok fazla sütun ve satırdan oluşan bir tabloyu tekrarlardan arındırmak için daha az satır ve sütun içeren alt kümelerine ayrıştırma işlemidir. YSA'da normalizasyon işlemi genelde (0,1) veya (1,-1) aralığında gerçekleştirilir. Çalışma kapsamında giriş ve çıkış katmanındaki verilerin normalizasyonu (0,1) aralığında gerçekleştirilmiştir.

$$S_n = \frac{S_{deneysel} - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \quad (3.76)$$

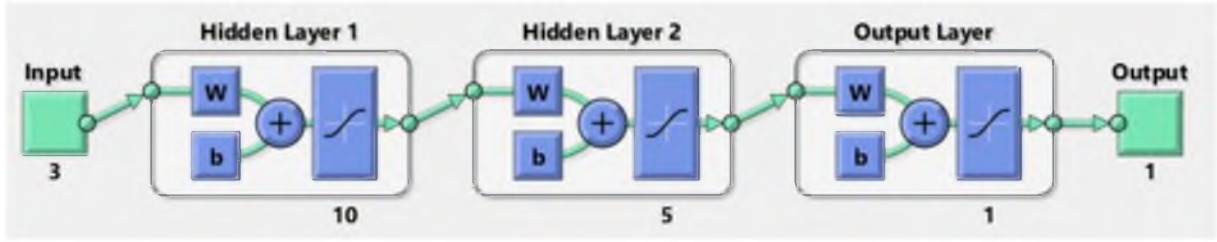
Burada $S_{deneysel}$ deneysel çıktı, S_{max} verinin aldığı en büyük değer, S_{min} verinin aldığı en küçük değer çıktısı ve n veri numarasıdır

Nöron sayısı ise her bir ara katman için deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Program ait girdiler Şekil 3.43.'te verilmiştir.



Şekil 3.43. Feed-forward backpropagation ağ giriş bilgileri

Input değeri için 3 adet parametre girilmiştir. Gizli katman (kohonen) nöron sayıları 5 ile 25 arasında değerler almıştır, Output katmanı olarak ise güneş bacası sisteminde güç çıkışını belirleyen en önemli parametrelerden, türbin devir sayısına (RPM) ait tek kanallı veri sayısı olarak 1 düğüm kullanılmıştır. Şekil 3.44.'te ağın genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.44. Feed-forward backpropagation ağ şeması

3.5. SPSS (Statistical Package for the Social Sciens) İstatistik Programı

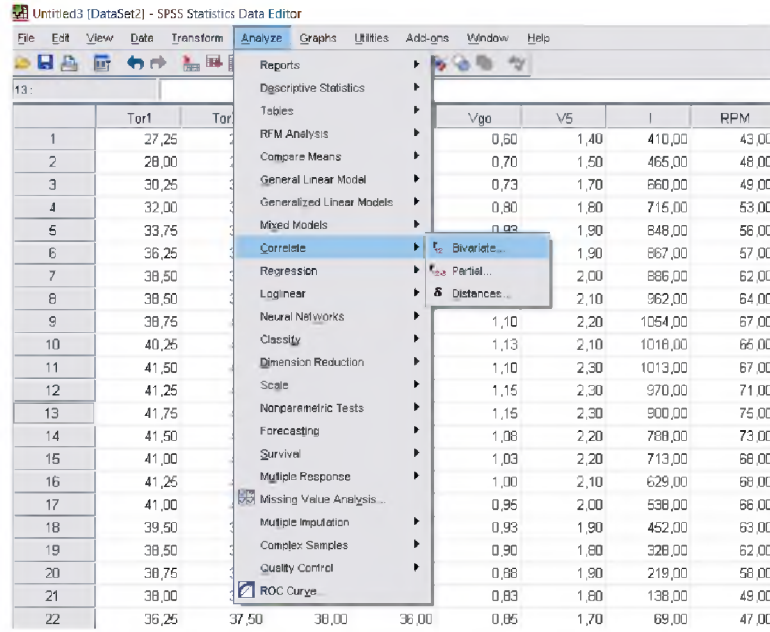
Ölçüm sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS 17 ticari yazılım paket programı ile istatistik programı kullanılmıştır. Bu program ile medyan, ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerlerler hesaplanmıştır. Buna ek olarak güneş bacası performans değerlendirmesi için ele alınan parametreler arasındaki ilişki, korelasyon katsayıları hesaplanarak değerlendirilmiştir. Korelasyon katsayısı, bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal bağlantıyı gösteren bir katsayıdır ve -1 ile +1 arasında bir değer alır. Burada pozitif değerler direkt yönlü doğrusal ilişkiyi, negatif değerler direkt yönlü zıt ilişkiyi, sıfır değeri ise bu değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmadığını gösterir. Bu ilişkinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı seçilen önem seviyesi (genellikle $\alpha=0.01$ seçilir) ile hesaplanan önem seviyesi (p değeri) karşılaştırılarak belirlenir. Çift kuyruklu test sonucuna göre eğer p değeri, $\alpha=0.01$ değerinden küçükse ilişki istatistiksel olarak önemlidir. Şekil 3.45. ve 3.46.'da SPSS 17 istatistik programının korelasyon analizi gösterilmiştir.

Ayrıca MATLAB > Curve fitting sekmesi ile Güneş bacası parametrelerinin arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için belirlilik katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Parametreler boyutsuzlaştırılıp amprik formüller türetilmiştir.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (ci - ca) \times (mi - ma)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ci - ca)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (mi - ma)^2}} \quad (3.77)$$

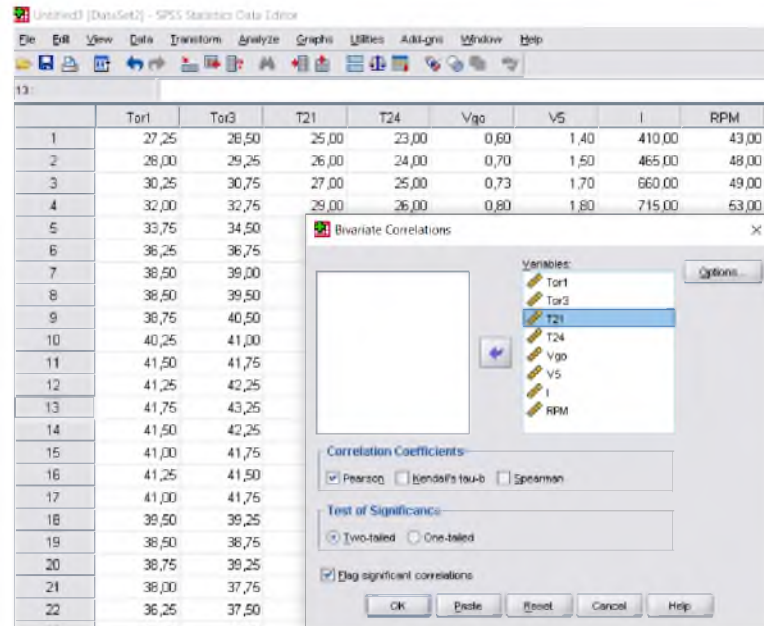
Burada, ci (calculated) hesaplanan değeri gösterirken mi (measured) de ölçülen değeri belirtmektedir. ca ve ma ise sırasıyla hesaplanan ve ölçülen değerlerin ortalamasıdır

“SPSS > Analyze > Correlation > Bivariate ”



Şekil 3.45. SPSS 17 istatistik programının korelasyon ekranı

Burada iki değişken arasındaki korelasyon katsayısını bulmak için Bivariate kullanılır.



Şekil 3.46. SPSS 17 istatistik programının korelasyon seçim ekranı

Verilerin normal dağılıma sahip olması durumunda Pearson korelasyon katsayısı, verilerin normal dağılmadığı durumda ise Spearman Rank korelasyon katsayısı tercih edilir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde güneş bacası prototipinin performans sonuçları deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneysel bölümde elde edilen veriler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Teorik bölümde ise güneş bacası prototipinin sayısal çözümlemesi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi ile ele alınmıştır. Sayısal modele ait sonuçlar deneysel verilerle mukayese edilmiştir. Ayrıca sisteme ait parametreler yapay sinir ağlarında analiz edilmiştir.

4.1. Güneş Bacası Prototipinin Deneysel Sonuçları

Bu çalışma ile detaylı bir değerlendirme yapabilmek için prototip içindeki hava akışını belirleyen parametrelerden; sıcaklık ve hız değişkenleri, kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinden analiz edilmiştir. Ölçümler, 2018 yılının Ağustos ayı boyunca 24 saat ölçülmüştür. Ölçüm parametreleri olarak; sıcaklık, nem, hava hızı, güneş ışıınımı ve türbin devir sayıları ele alınmıştır. Deney sabah 08.00'da başlayıp ertesi günün aynı saatine kadar devam etmiştir. Güneş ışıınımı ve RPM ile beraber 24 noktada sıcaklık ve 6 noktada hız ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca MATLAB Curve Fitting ve SPSS 17 paket programı yardımı ile tüm bu parametrelere ait tanımlayıcı istatistiksel veriler ele alınarak ampririk bağıntılar türetilmiş ve aralarındaki korelasyon katsayıları değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'de elde edilen tüm ölçüm sonuçlarının istatistiksel değerleri verilmiştir. Tanımlayıcı istatistiksel parametreler; ölçüm sayısı, ortalama, medyan, standart sapma, minimum ve maksimum olarak belirlenmiştir.

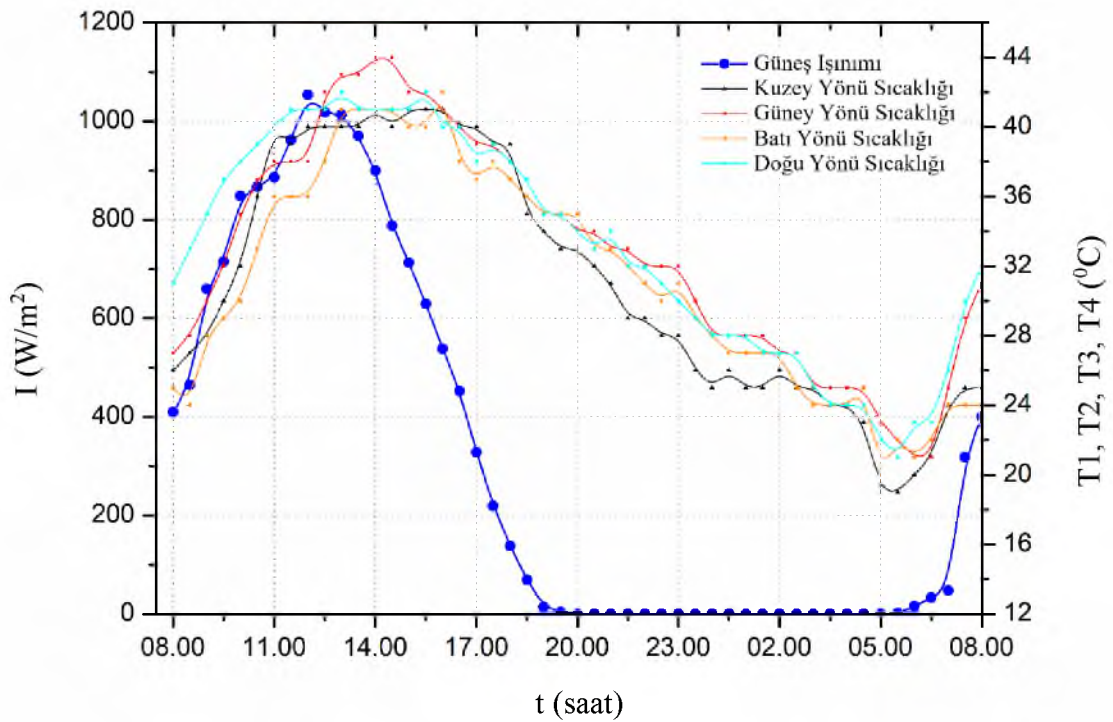
Çizelge 4.1. Sıcaklık verilerinin istatistiksel değerleri

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24
Parametre	Giren Havanın Sıcaklığı				3 Metre ileride												Kolektör Yüzey Sıc.				Türbi n Giriş Sıc.	Baca		Ortam Sıc.
					K				G				D											
	K	G	D	B	Z	O	Kol. Alt Yüz eyi	Z	O	Kol. Alt Yüz eyi	Z	O	Kol. Alt Yüz eyi	Z	O	Kol. Alt Yüz eyi	K	G	D	B		5 m Yukarıda	Çıkış	
	Ölçüm Sayısı(N)	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49		49	49	
Ortalama	31	32,7	33	31,1	36,1	30	30,4	41,6	33,6	33,4	42,4	34,7	34,4	37,9	32,1	31,9	31,3	34,9	31,6	30,6	32	31,3	31	29
Medyan	29	32	33	31	35	30	30	40	33	33	40	34	34	37	32	32	31	35	32	27	32	31	30	29
Standart Sapma	7,1	6,6	6,4	6,4	7,2	6,8	6,8	6,8	6,2	6,7	7,3	6,9	7,1	6,3	6,8	6,5	7,8	8,4	7,6	9,4	5,8	6,1	6,3	6,53
Minimum	19	21	21	20	25	17	17	32	23	22	32	23	22	29	21	21	19	21	19	18	21	20	19	17
Maksimu m	41	44	42	42	49	40	40	55	45	45	56	46	46	50	44	43	44	48	44	48	41	40	40	40

Çizelge 4.2. Hız, Işınım ve RPM verilerinin istatistiksel değerleri

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Işınım	RPM
Parametre	Giren Havanın Hızı				Türbin Giriş Hızı	Baca Çıkış Hızı	(I)	(n)
	Kuzey	Güney	Doğu	Batı				
Ölçüm Sayısı(N)	49	49	49	49	49	49	49	49
Ortalama	0,65	0,82	0,69	0,75	1,46	0,41	315,83	39,1
Medyan	0,7	0,9	0,7	0,7	1,5	0,4	47,5	46
Standart Sapma	0,27	0,31	0,3	0,25	0,55	0,15	382,2	23,2
Minimum	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2	0	4
Maksimum	1,1	1,3	1,2	1,2	2,3	0,7	1054	75

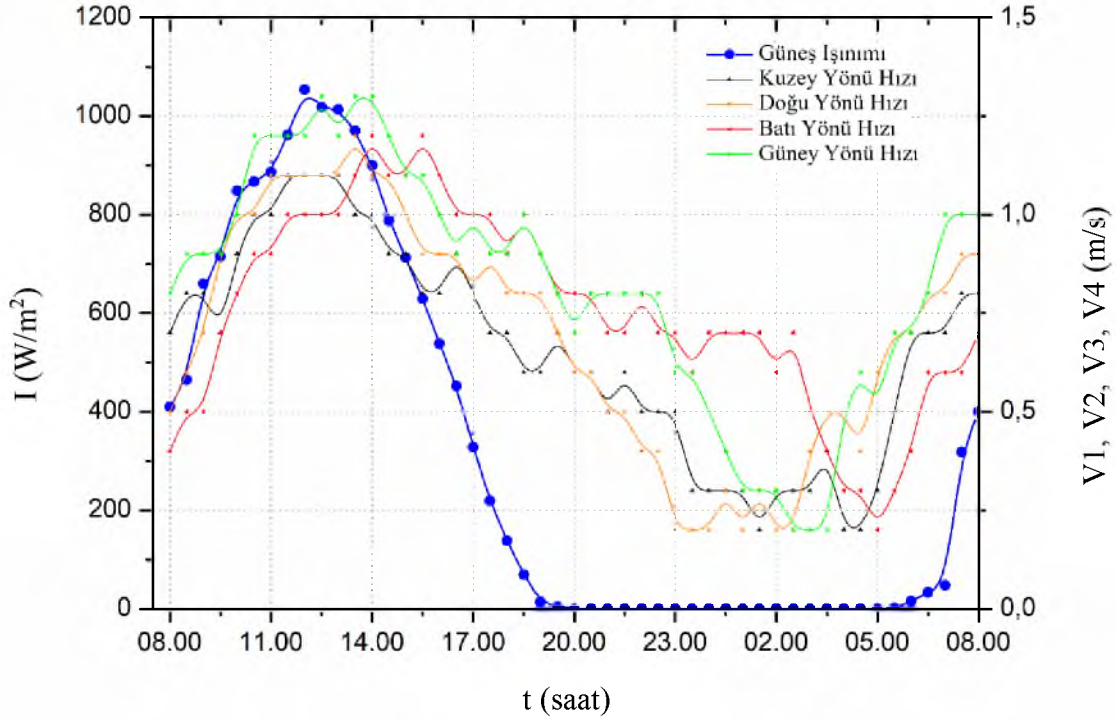
Güneş bacası güneş enerjisinden yararlanarak enerji elde ettiği için güneş ışıınım oranı en önemli parametrelerden biri olmaktadır. Işınım, kolektörün cam yüzeyinden geçerek akışkan olarak havayı etkiler böylece meydana gelen itme gücü sistemin performansını belirlemektedir. Şekil 4.1.'de güneş ışıınım değerleri ile kolektör giriş ağız sıcaklıkları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikte güneş ışıınım değerleri ile giriş sıcaklıkları arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca kuzey, güney, doğu ve batı kısımlarında sıcaklık değerleri birbirine yakındır. Ancak güney bölgesinde sıcaklığın bir miktar daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni güneşin doğma ve batma açılarından kaynaklı en fazla ışıınımın güney bölgesine aktarılmasıdır. Kuzey bölgesinde ise sıcaklık bir miktar daha düşüktür. Giriş sıcaklıkları saat 12:30 itibariyle artışa geçmiştir. Sıcaklık saat 14:00'da güney bölgesinde 44°C'lik maksimum değere ulaşmıştır. En düşük sıcaklık ise güneş ışıınımının olmadığı saat 05:00'da kuzey bölgesinde 19°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Güneş ışıınımı ile giren hava sıcaklıkları arasındaki ilişki

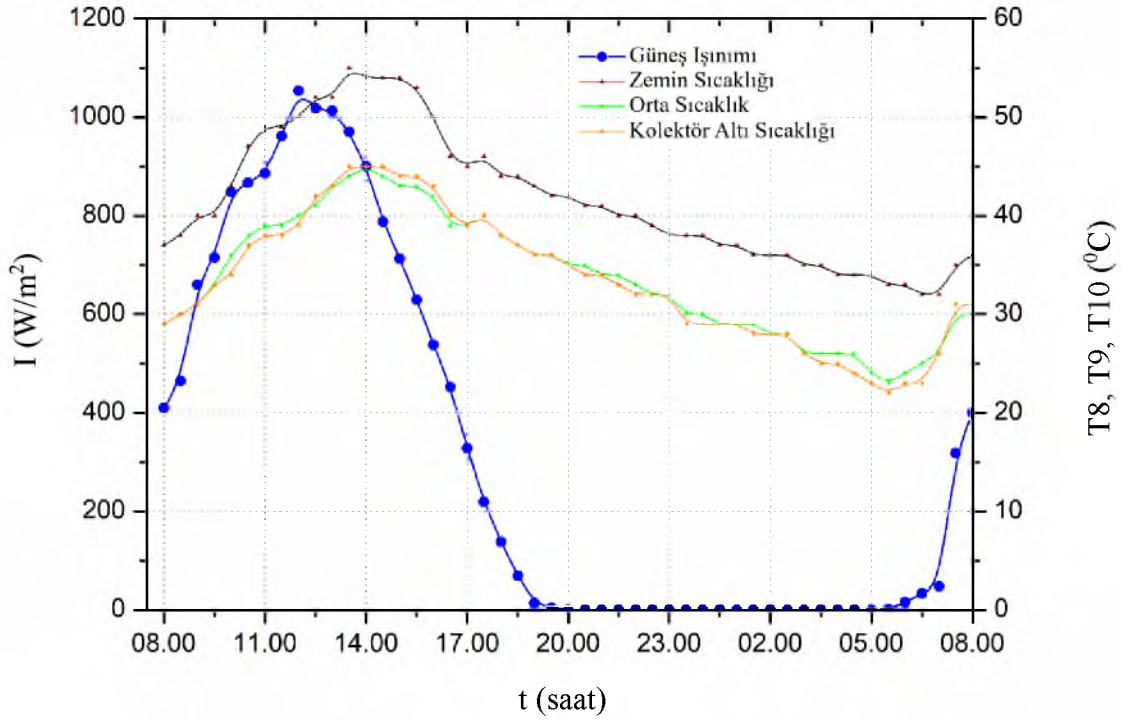
Şekil 4.2.'de güneş ışıınım değerleri ile kolektör giriş ağız hızları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Güney bölgesinde saat 13:30'da ışıınım değeri 970 W/m²'lik bir değerde iken kolektör giriş hızının 1,3 m/s'lik değeri ile sistemde ölçülen maksimum hız değerinde olduğu görülmektedir.

Ancak giriş hızlarındaki düşüş, saat 16:30'da ışıınım değerlerinin de azalmaya başladığı akşam saatlerinde giderek artmaktadır. Minimum hızların ise dört bölge için gece saatlerinde 0,2 m/s mertebelerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir.



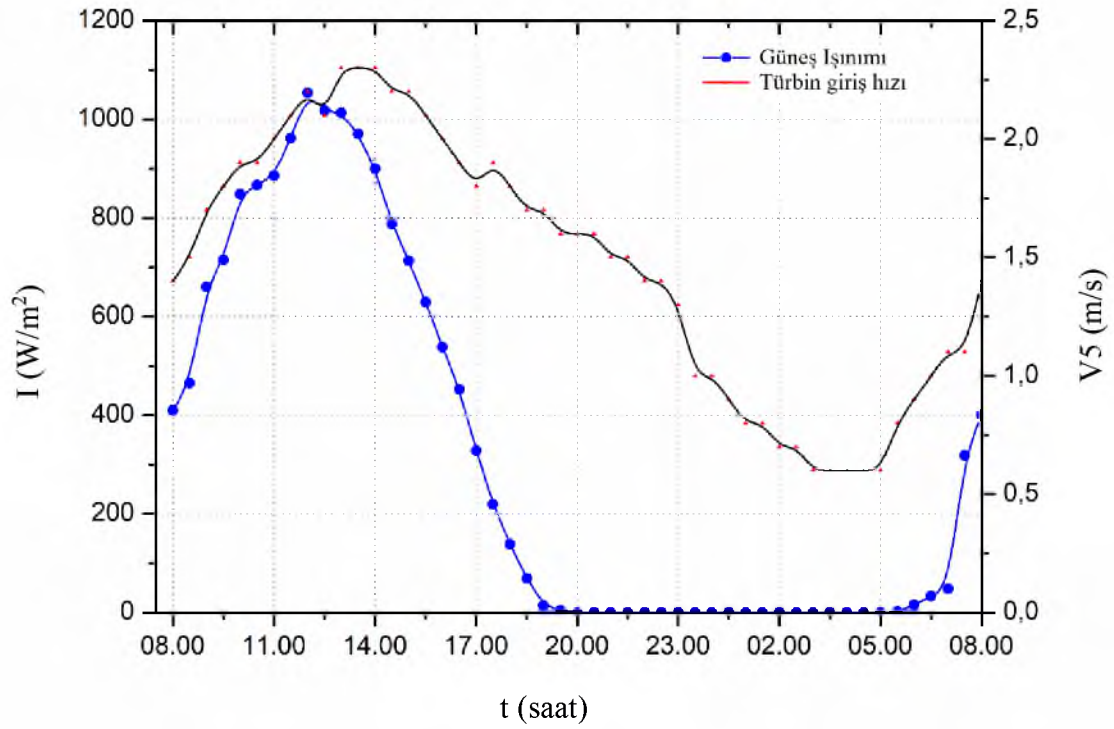
Şekil 4.2. Güneş ışıınımı ile giren hava hızı arasındaki ilişki

Şekil 4.3.'te güneş ışıınım değerleri ile güney bölgesine ait orta (kolektörden bacaya doğru 3 metre ileri) mesafede; zemin, orta ve kolektör altı yüzeylerde sıcaklık değerleri arasındaki ilişki verilmiştir. Grafikte güneş ışıınım değerleri ile sistemde yüksek sıcaklıklara sahip güney bölgesindeki sıcaklık değerleri arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir. En yüksek ışıınım değerinin saat 12:00'da gerçekleşmiş olmasına rağmen sıcaklık değerlerinin saat 13:30'da maksimum değerlere çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni kolektör altında ısınan hava ile zeminde absorbe edilen sıcaklıkların sisteme gecikmeli olarak yansmasıdır. Kolektör altındaki en yüksek sıcaklık zeminde 55°C olarak ölçülmüştür. En düşük sıcaklık ise kolektör alt yüzeyinde gece saatlerinde 22°C'dir.



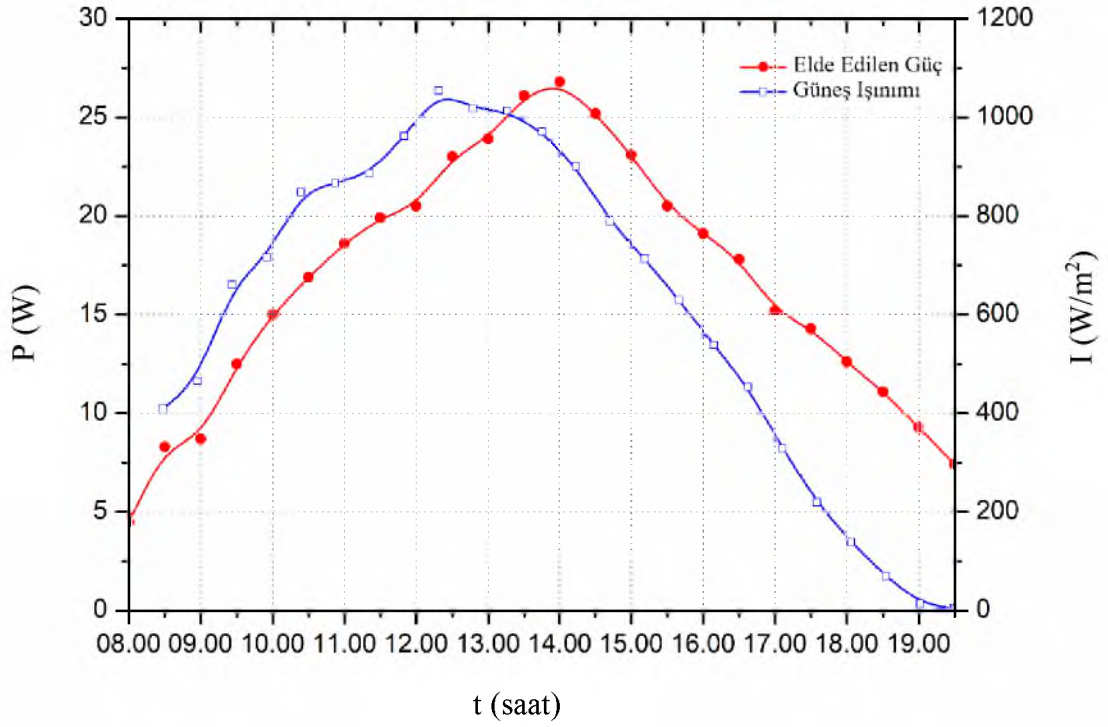
Şekil 4.3. Güneş ışıınımı ile kolektör orta mesafede hava sıcaklıkları

Şekil 4.4.'te güneş ışıınım değeri ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikte ışıınım değeriindeki artış ile beraber türbin giriş hızının da arttığı görülmektedir. Hava akımlarının kolektör merkezine doğru yarattığı akım kolektör giriş alanında sürekli olarak giren farklı yönlü başka bir hava akımından etkilenmektedir. Ölçümlerde en yüksek türbin giriş hızının 2,3 m/s ile saat 13:00'da gerçekleştiği görülmektedir. En düşük hız ise 0,6 m/s saat ile gece 03:00-05:00 arasında gözlemlenmiştir.



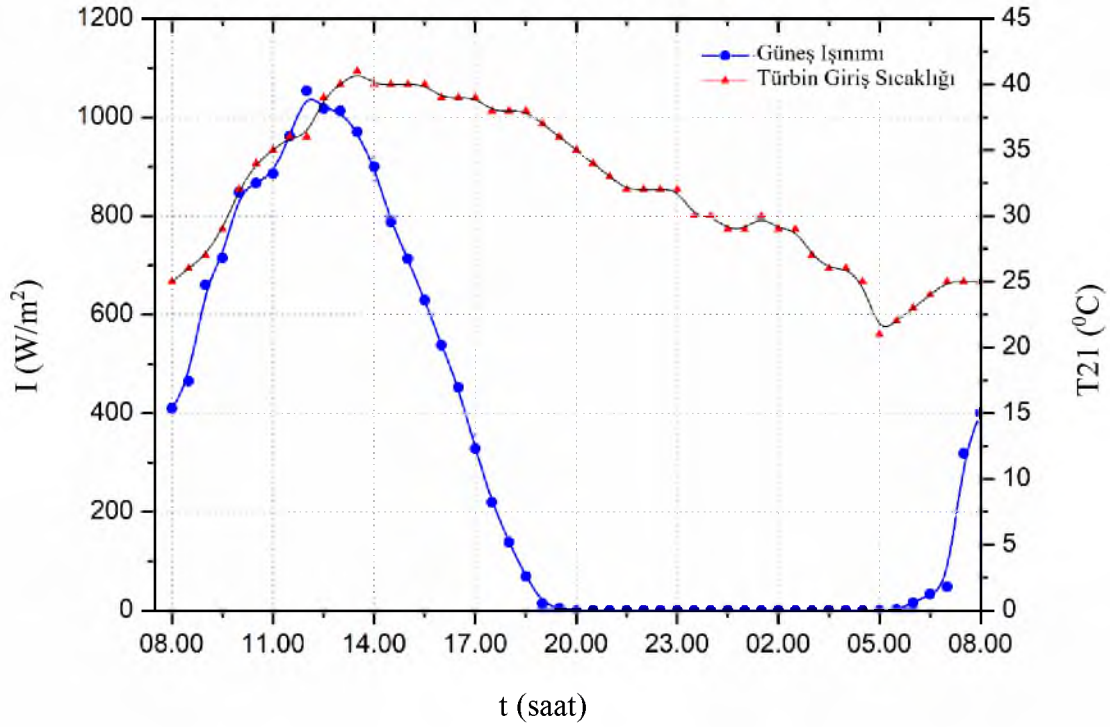
Şekil 4.4. Güneş ışınlamı ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki

Şekil 4.5.'te güneş ışınlamı değerleri ile elde edilebilecek elektrik gücü arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu iki parametre arasında doğrusal yönde bir orantı vardır. Baca yüksekliği, kolektör yüzey alanı ile beraber kurulacak bölgenin güneş ışınlamı değeri bir güneş bacasının güç verimliliğini belirleyen en önemli etkidir. Bölüm 3.2 ile prototipten elde edilebilecek elektrik gücü miktarı belirlenmiştir. En yüksek güç değeri ışınlamının yüksek değerlerde olduğu saat 13:30'da 26,8 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Güneş ışınlamı ile elde edilebilecek elektrik gücü arasındaki ilişki

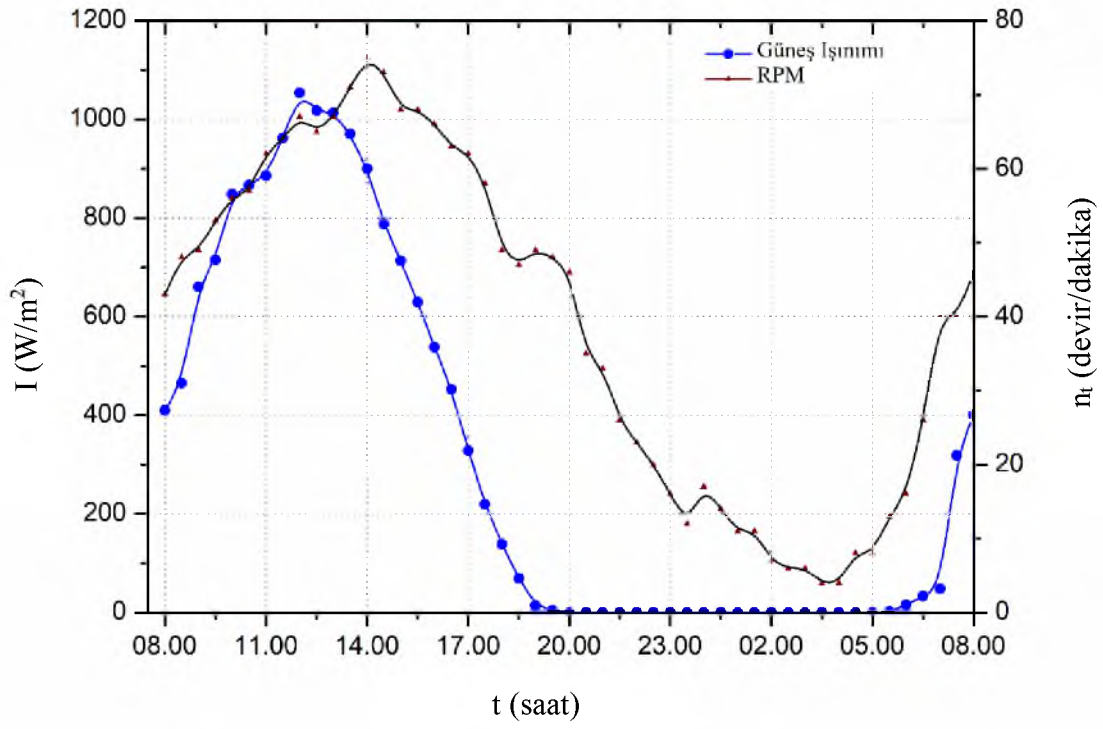
Şekil 4.6.'da güneş ışınlamı değerleri ile türbin giriş sıcaklığı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Işınım değerlerindeki artışın türbin giriş sıcaklığını etkilediği görülmektedir. Türbine giren hava sıcaklığının ölçüm noktası bacanın alt kısmıdır. Bu bölgenin gölgelik alanda olması nedeniyle sıcaklık ölçüm probu ışınlamı ile birebir temas halinde değildir. Sıcaklık verileri bacanın merkezine doğru akan havadan direk olarak ölçülmektedir. Bu nedenle gün içerisinde maksimum sıcaklık 41 °C ile saat 13:30'da ölçülmüştür. En düşük sıcaklık ise saat 05:00'da 21°C olarak ölçülmüştür.



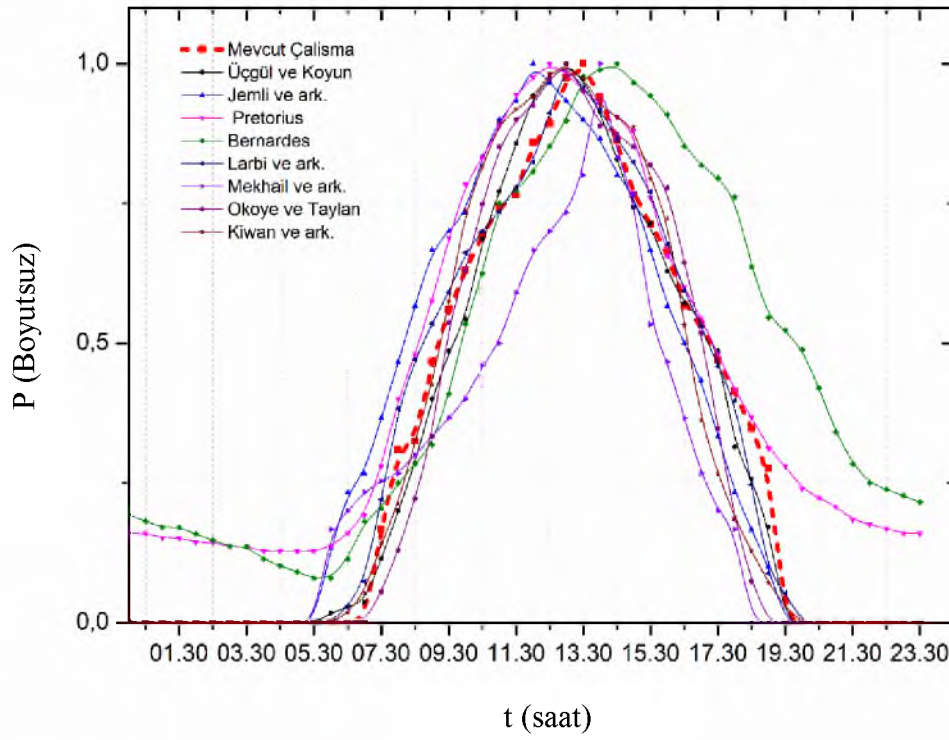
Şekil 4.6. Güneş ışıınımı ile türbin giriş sıcaklığı arasındaki ilişki

Şekil 4.7.'de güneş ışıınım değerleri ile türbin devir sayısı (RPM) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Güneş ışıınım değerleri ile türbin devir sayısı arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir. Türbin devir sayısı sistemin çıkış gücünü belirleyen ana parametredir.

Güneş ışıınımını ise sistem içerisinde kinetik enerjiyi yaratarak türbin devir sayısını etkileyen en önemli faktördür. Gün boyunca devir sayısındaki düşüş maksimum RPM'in 75 devir/dakika olduğu saat 14:00'dan sonra ışıınım değerlerinin de giderek azalmasıyla gerçekleşmiştir. Gece saatleri ile beraber ise RPM değeri giderek düşmüştür. En düşük türbin devir sayısı saat 03:30'da 4 devir/dakika'dır. Şekil 4.8.'de elde edilen güç değerinin gün içerisindeki değişimi literatürdeki diğer güneş bacası sistemleri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen güç miktarları boyutsuzlaştırılmıştır. Veriler incelendiğinde zaman ile değişen güç değer eğrilerinin birbirine benzer olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, değerlerdeki farklılıkların güneş baca boyutundaki farktan kaynaklandığı da dikkate alınmalıdır.

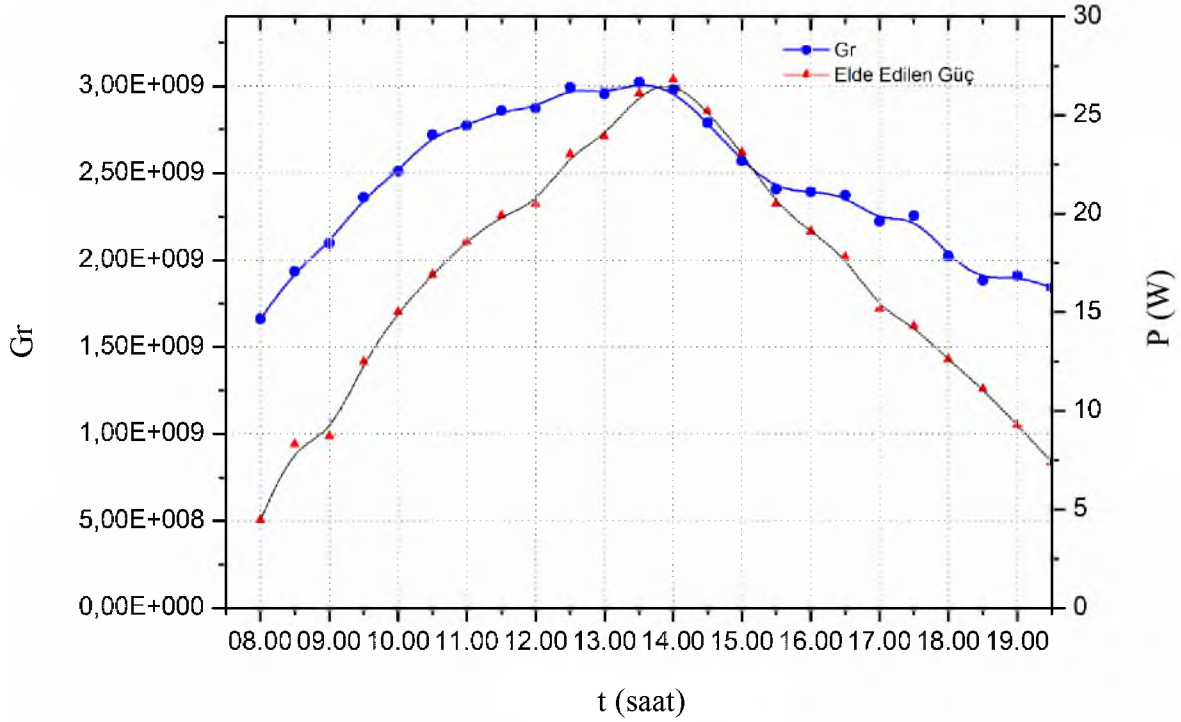


Şekil 4.7. Güneş ışınnımı ile türbin devir sayısı arasındaki ilişki



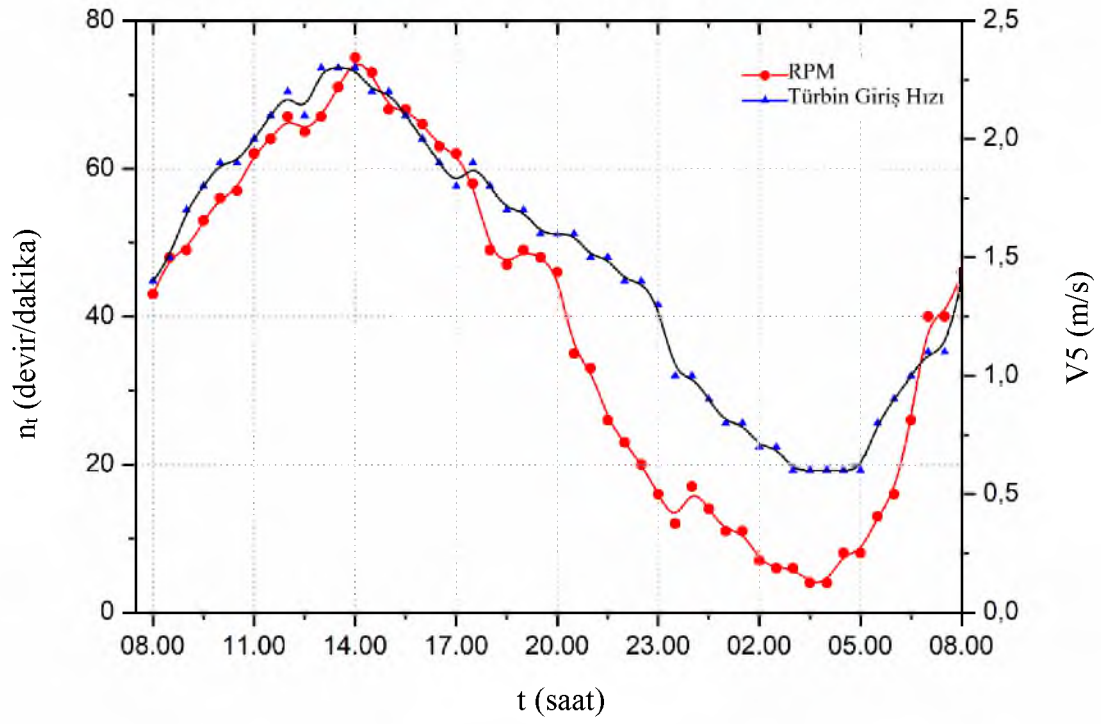
Şekil 4.8. Güneş ışınnımı ile elde edilebilecek elektrik gücü arasındaki ilişki

Şekil 4.9.'da Grashof sayısının elde edilebilecek güç miktarı ile değişimi verilmiştir. Grashof sayısının maksimum değerlerinde güç verilerinin yüksek olduğu görülmektedir. Sıcaklık değerleri ve türbülans şiddetine bağlı olarak elde edilebilecek güç değeri de artmaktadır.

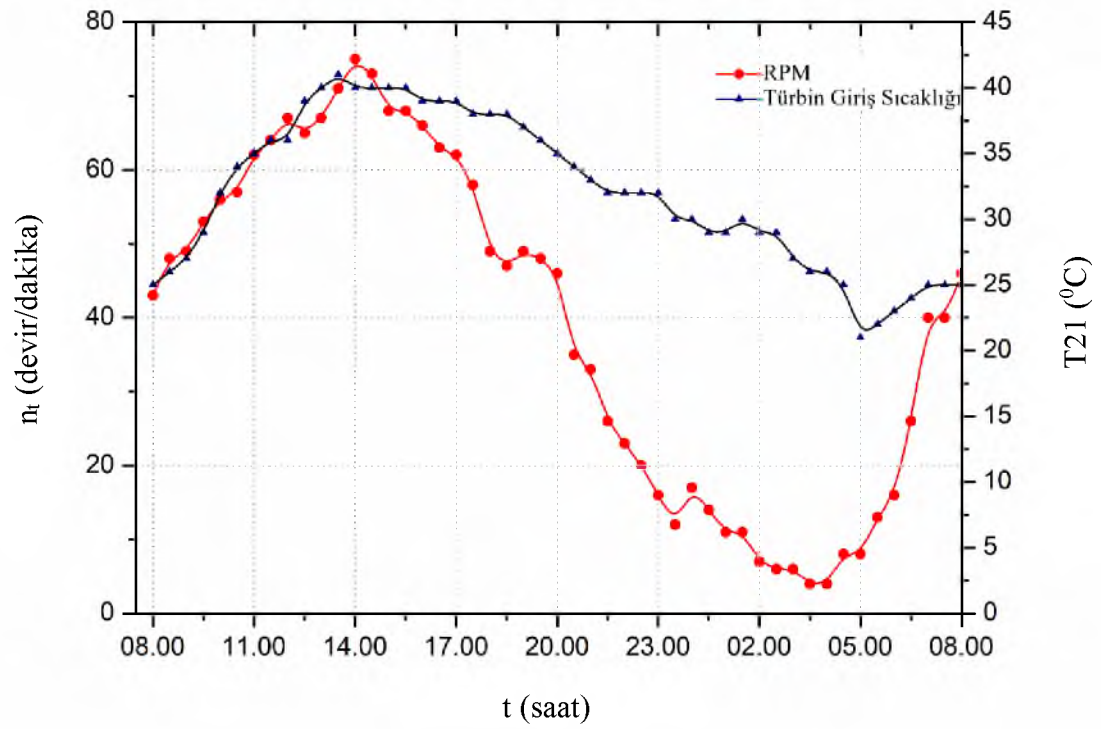


Şekil 4.9. Gr sayısı ile elde edilebilecek elektrik gücü arasındaki ilişki

Türbin devir sayısına etki eden en önemli faktörler; Türbin giriş hızı ve kanatçıkların çapına bağlı süpürme alanıdır. Sistemden elde edilecek elektrik gücü, türbin giriş hızı arttıkça hız ve çarkın alanıyla doğru orantılı şekilde artacaktır. Şekil 4.10.'da türbin devir sayısı (RPM) ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu parametreler arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Türbin devir sayısının maksimum değer aldığı saat aralıklarında türbin giriş hızları da en yüksek değerlerindedir. Bunlara ek olarak türbin devir sayısını belirleyen diğer bir önemli faktörde türbin giriş sıcaklığıdır. Baca girişinde havanın sıcaklık değerinin artması ile beraber yoğunluk değişmektedir. Bu yoğunluk değişimi bacada basınç farklılıkları yaratmaktadır. Bu nedenle baca girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkları bacanın emiş gücünü arttırmaktadır. Şekil 4.11.'de Türbin devir sayısı ile türbin giriş sıcaklıkları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Türbin giriş sıcaklığının en yüksek olduğu öğlen saatlerinde RPM değerinin maksimum noktaya ulaştığı gözlemlenmiştir.

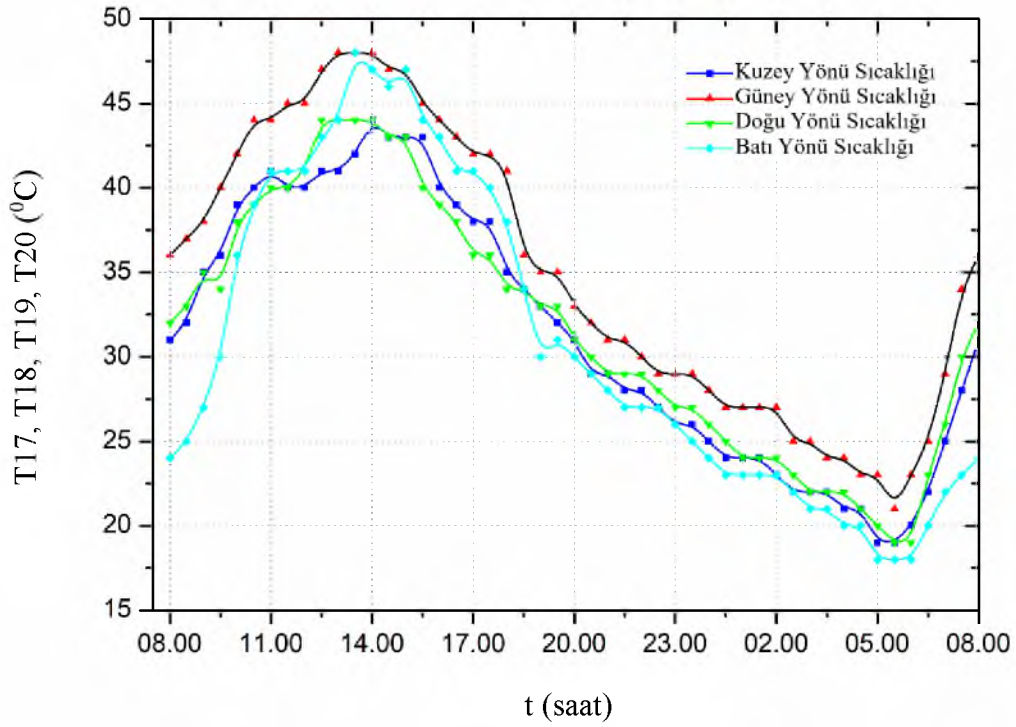


Şekil 4.10. Türbin devir sayısı ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki

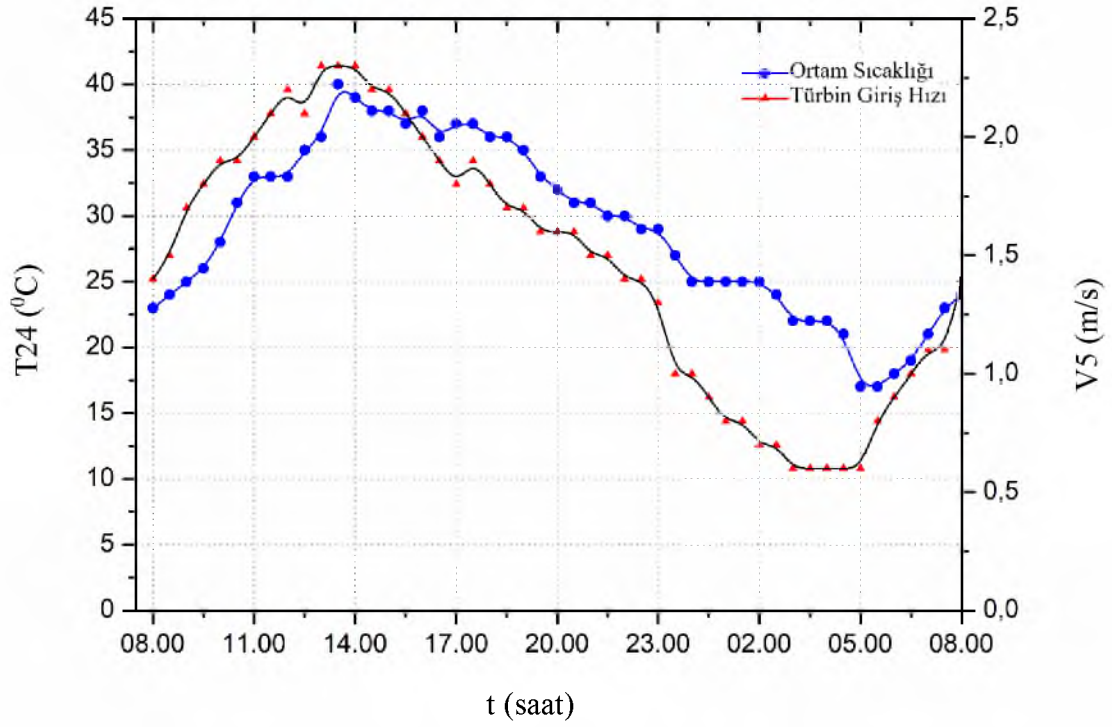


Şekil 4.11. Türbin devir sayısı ile türbin giriş sıcaklıkları arasındaki ilişki

Şekil 4.12.'de kuzey, güney, doğu ve batı bölgelerinde kolektör üst yüzey sıcaklıkları verilmiştir. Güney tarafı sıcaklık değerlerinin en yüksek olduğu bölgedir. Gün boyunca en yüksek sıcaklık saat 13:30'da güney ile batı bölgelerinde 48°C sıcaklığında ölçülmüştür. En düşük sıcaklık ise batı bölgesinde saat 05:00'da 18°C'dir. Ayrıca Şekil 4.13.'te ortam sıcaklığı ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Türbin giriş hızının ortam sıcaklığındaki artış ile yükseldiği gözlemlenmiştir.



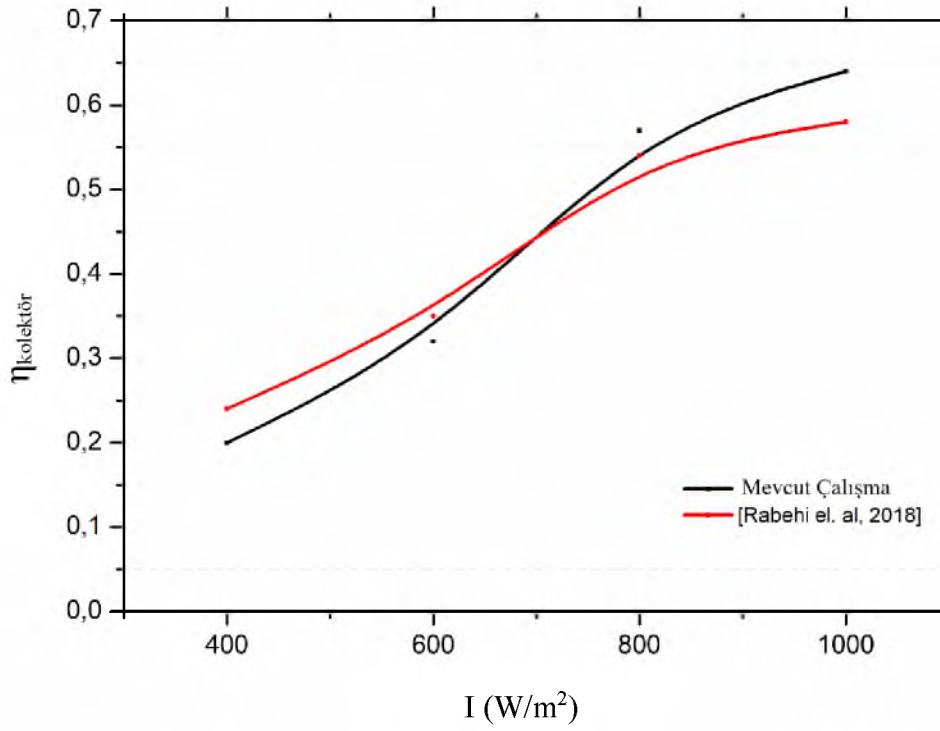
Şekil 4.12. Dört bölge için kolektör üst yüzey sıcaklıkları



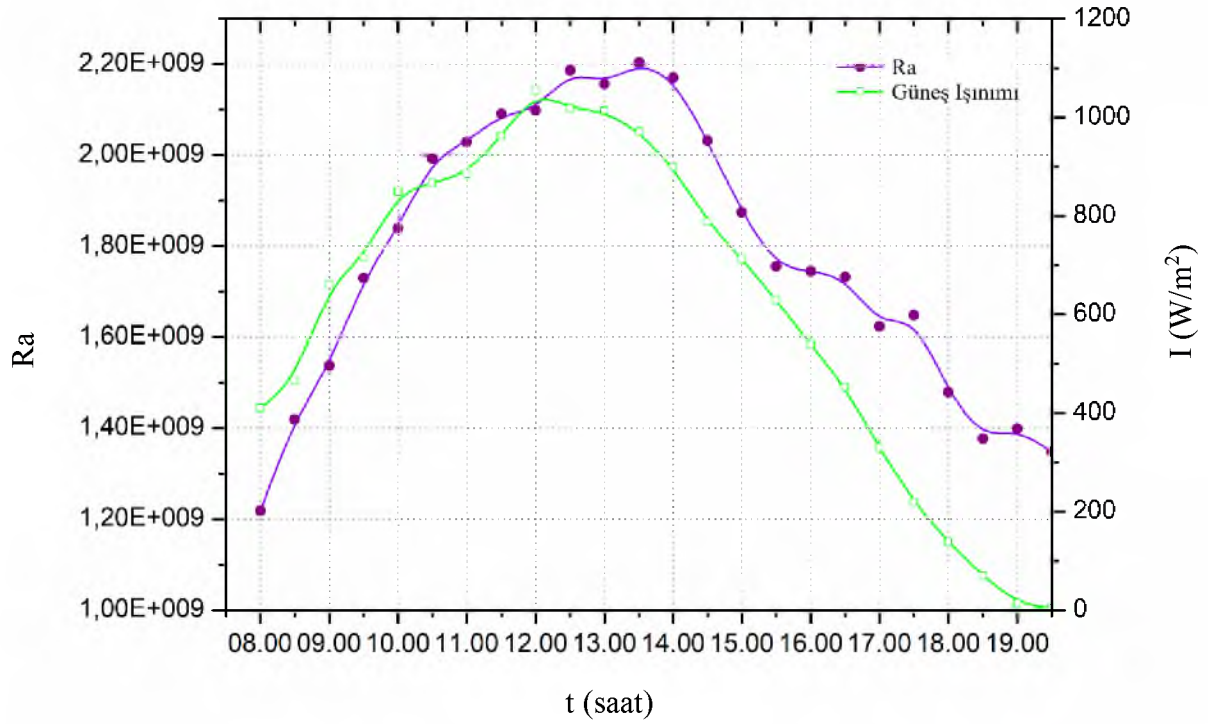
Şekil 4.13. Ortam sıcaklığı ile türbin giriş hızı arasındaki ilişki

Şekil 4.14.'te, mevcut çalışmanın güneş ışınlam değeri ile kolektör verimi arasındaki ilişki grafiği bir başka çalışma ile karşılaştırılarak verilmiştir (Rabehi ve ark., 2018).

Her iki çalışmada da ışınlam değeri arttıkça, kolektör verimliliği artmıştır; Ayrıca değerler birbirine yakın bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre, ışınlamın 400 W/m^2 'den 1000 W/m^2 'ye yükselmesinin kolektör verimliliğinin %44 oranında bir katkı sağladığını göstermektedir. Ayrıca Şekil 4.15.'te Rayleigh sayının güneş ışınlamı ile değişimi verilmiştir. Sıcaklık değerine bağlı bir parametre olan Rayleigh sayısı ışınlam değeri ile doğrusal bir ilişki içerisinde.



Şekil 4.14. Güneş ışınlam değerleri ile kolektör verimliliği arasındaki ilişki



Şekil 4.15. Ra sayısı ile güneş ışınlam arasındaki ilişki

4.2. Güneş Bacasının İstatistiksel Sonuçları

Çizelge 4.3.'te bu çalışmada ele alınan ölçüm parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren önem seviyeleri ve korelasyon katsayıları verilmiştir. Bu parametreler arasında güneş bacası prototipinin performansını önemli oranda etkileyen, ortalama giren havanın sıcaklığı (T_{or1}) ve kolektörden bacaya doğru 3 metre ileride ortalama ortam havasının sıcaklığı (T_{or3}), türbin giriş sıcaklığı (T_{21}), ortam sıcaklığı (T_{24}) ile ortalama giren hava hızları (V_{go}), türbin giriş hızı (V_5), ışıınım ve RPM (n_T) değerleri ele alınmıştır. Bu tabloda verilen ilk değer “Pearson” korelasyon katsayısını, ve “N” ölçüm sayısını belirtmektedir. Çizelgede önem seviyesi $\alpha=0,01$ olarak seçilmiştir. Eğer $\alpha=0,01$ değerinden küçükse ilişki istatistiksel olarak önemlidir.

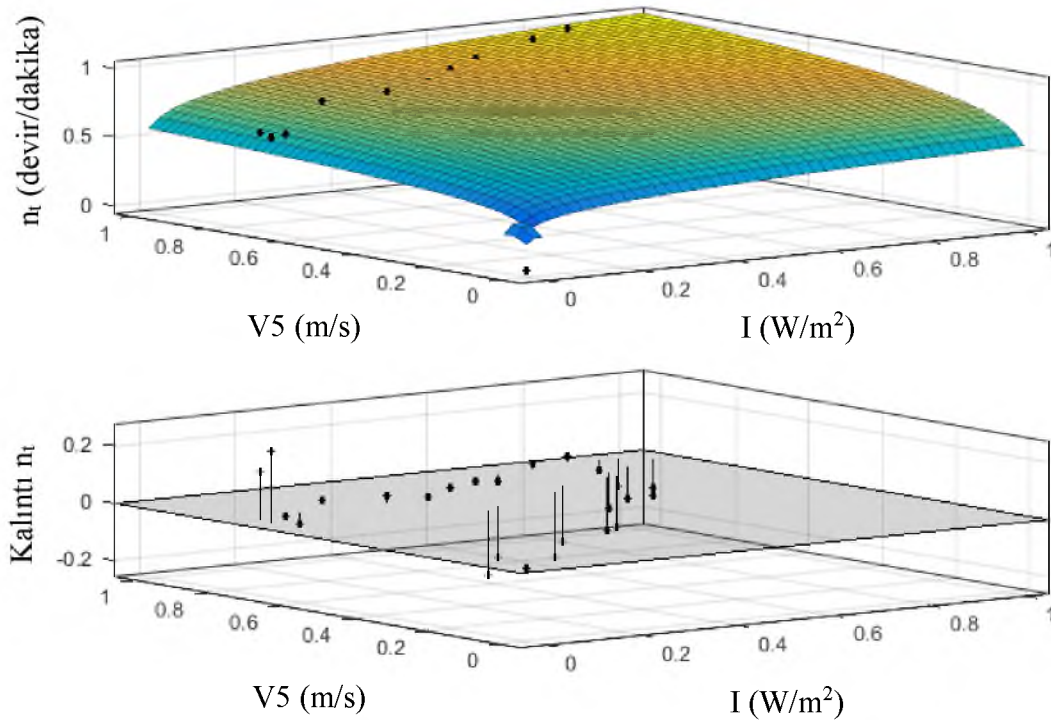
Çizelge 4.3. Ölçüm parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları ve önem dereceli

Parametre	Giren Havanın Ortalama Sıc.(T_{or1})	Kol. 3 m ileride ortalama orta Sıc. (T_{or3})	Türbin Giriş Sıc. (T_{21})	Ortam sıcaklığı (T_{24})	Giren Havanın ortalama Hızı (V_{go})	Türbin Giriş hızı (V_5)	İşınım (I)
Kol. 3 m ileride ortalama orta Sıc. (T_{or3})	0,997*						
	49						
Türbin Giriş Sıc. (T_{21})	0,959*	0,955*					
	49	49					
Ortam sıcaklığı (T_{24})	0,970*	0,968*	0,987*				
	49	49	49				
Giren Havanın ortalama Hızı (V_{go})	0,837*	0,852*	0,707*	0,735*			
	49	49	49	49			
Türbin Giriş hızı (V_5)	0,935*	0,948*	0,832*	0,862*	0,934*		
	49	49	49	49	49		
İşınım (I)	0,699*	0,706*	0,517*	0,529*	0,843*	0,797*	
	49	49	49	49	49	49	
RPM (n_T)	0,879*	0,888*	0,746*	0,785*	0,959*	0,957*	0,822*
	49	49	49	49	49	49	49

*Önem seviyesi $\alpha=0,01$ 'e göre anlamlı olan korelasyonlar (2-tailed)

Elde edilen parametreler arasında amprik bağıntılar boyutsuzlaştırma işlemi yapıldıktan sonra türetilmiştir. Boyutsuz veriler anlık verilerin maksimum veriye bölünmesi sonucu oluşturulmuştur. Çizelge 4.3.'te türbin devir sayısı (RPM) ile güneş ışınlam değeri arasında korelasyon katsayısı $r = 0,82$, RPM ile türbin giriş hızı (V_5) arasındaki korelasyon katsayısının ise $r = 0,95$ olduğu görülmektedir. Bu durumda parametreler arasında $\alpha = 0,01$ anlamlılık seviyesine göre pozitif yönlü yüksek düzeyde bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Regresyon analizinde RPM (n_T) değeri bağımlı değişken olarak, bu değere etki eden ışınlam ve türbin giriş hızı parametreleri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Bu sonuçlara göre oluşturulan eğri denklemi (4.1)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,94$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.16.'da ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

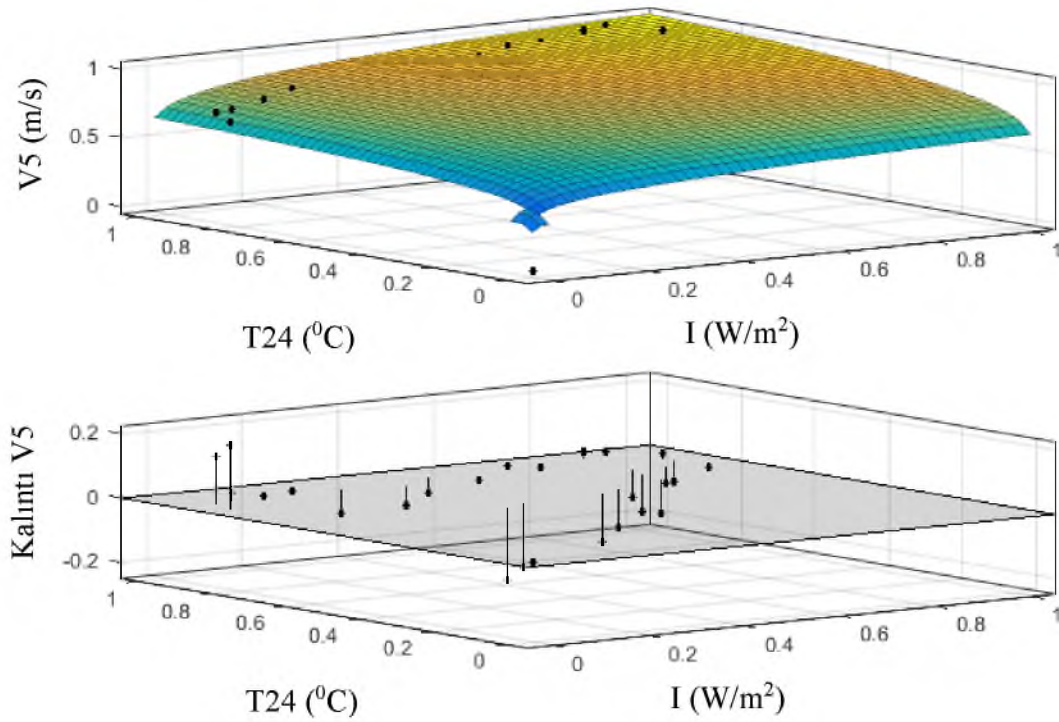
$$n_T = [I \times V_5]^{0,15} \quad (4.1)$$



Şekil 4.16. Türbin devir sayısının (RPM) güneş ışınlamı ve türbin girişi hız değerleri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Çizelge 4.3.'te $\alpha=0,01$ anlamlılık seviyesine göre türbin giriş hızı (V_5) ile ışıınım değeri arasında korelasyon katsayısı $r=0,79$, türbin giriş hızı (V_5) ile ortam sıcaklığı (T_{24}) arasında korelasyon katsayısı ise $r=0,86$ olduğu görülmüştür. Böylece parametreler arasında pozitif yönlü yüksek düzeyde bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Türbin giriş hızının ışıınım ve ortam sıcaklığı ile arasındaki ilişkiyi gösteren eğri denklemi (4.2)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2=0,97$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.17.'de ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

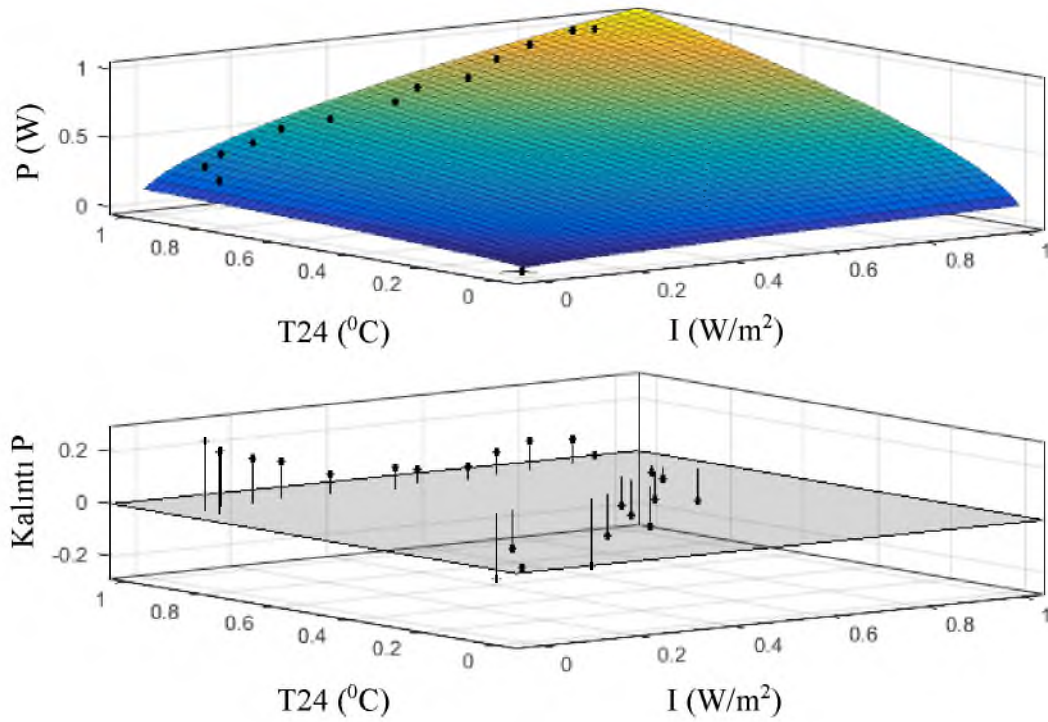
$$V_5 = [I \times T_{24}]^{0,12} \quad (4.2)$$



Şekil 4.17. Türbin giriş hızının güneş ışıınımı ve ortam sıcaklığı değerleri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Güneş bacasından elde edilen elektrik gücünün (P) güneş ışıınımı ile ortam sıcaklığı arasındaki eğri denklemi (4.3)'te verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2=0,90$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.18.'de ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

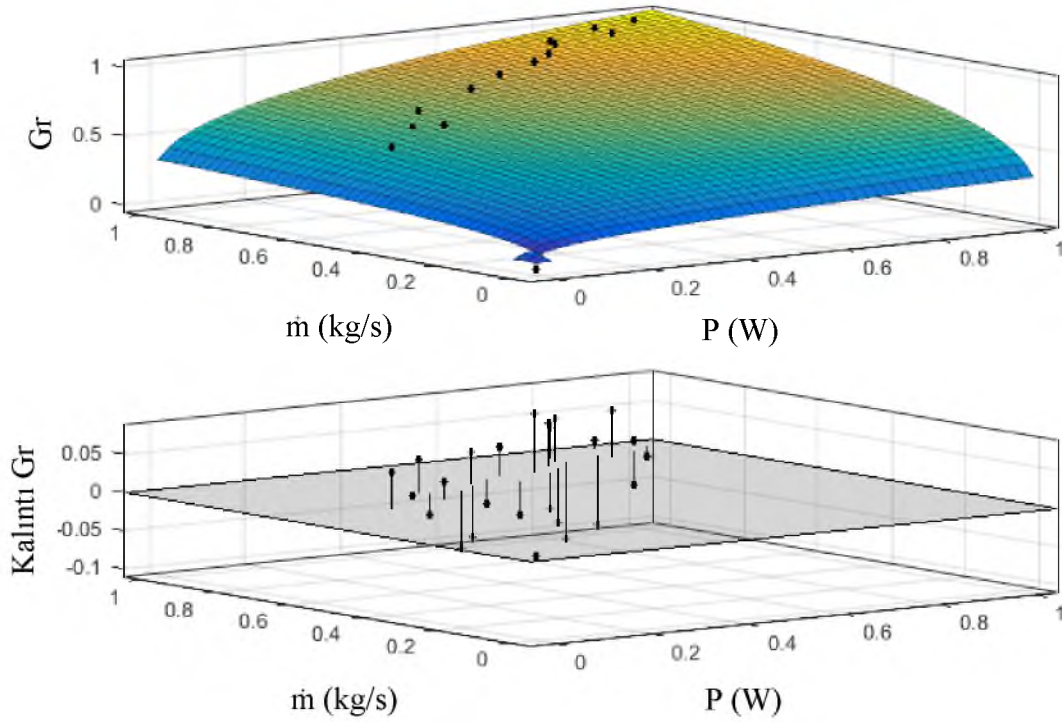
$$P = [I \times T_{24}]^{0,57} \quad (4.3)$$



Şekil 4.18. Hesaplanan elektrik gücünün güneş ışıını ve ortam sıcaklığı değerleri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Grashof sayısının (Gr) elektrik gücü (P) ile kütleli debi ($\dot{m}$) arasındaki eğri denklemi (4.4)'te verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,99$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.19.'da ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

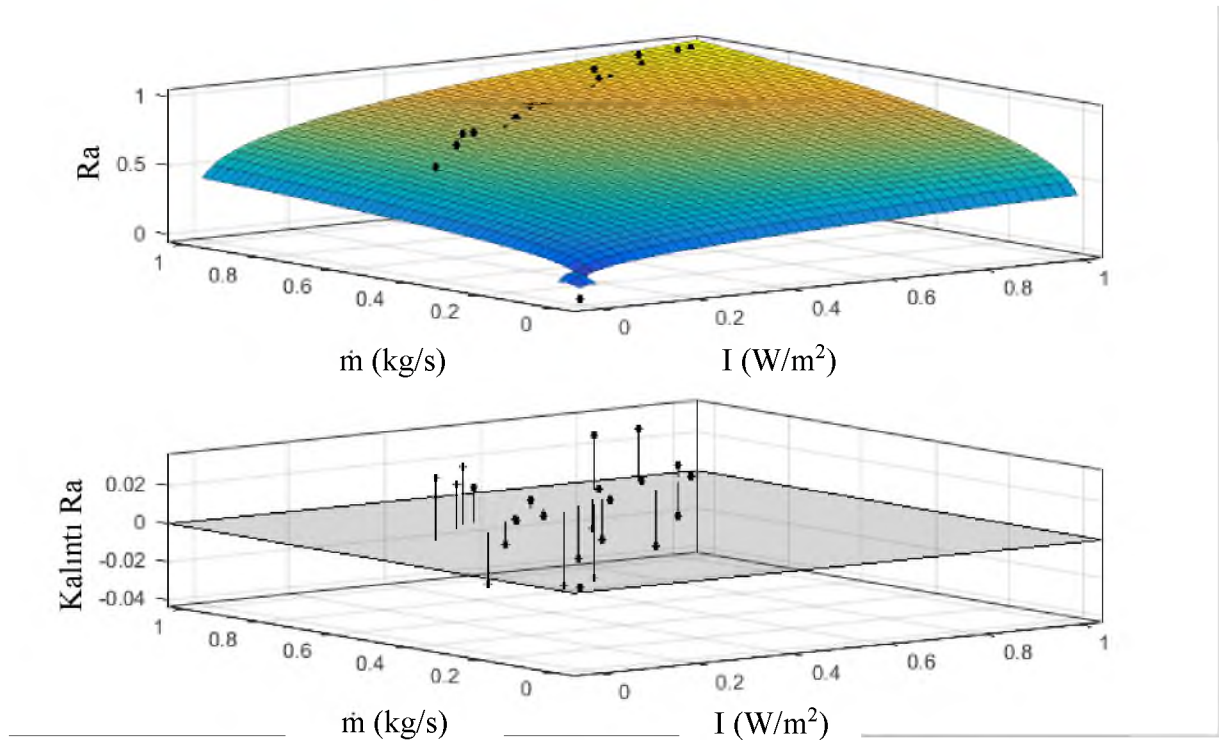
$$Gr = [P \times \dot{m}]^{0,3} \quad (4.4)$$



Şekil 4.19. Gr sayısının elektrik gücü ve kütleli debi değerleri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Rayleigh sayısının (Ra) güneş ışınlamı (I) ile kütleli debi ($\dot{m}$) arasındaki eğri denklemi (4.5)'te verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,99$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.20.'de ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

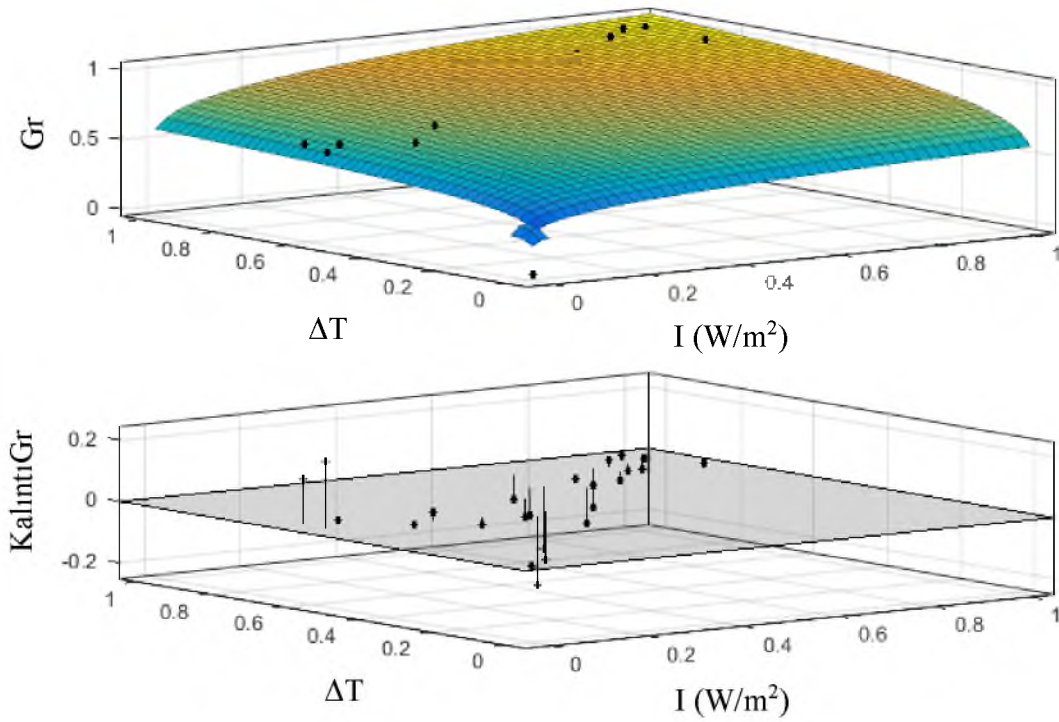
$$Ra = [I \times \dot{m}]^{0,24} \quad (4.5)$$



Şekil 4.20. Ra sayısının güneş ışınlamı ve kütleli debi değerleri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Grashof sayısının (Gr) güneş ışınlamı (I) ve kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı verileri (ΔT) ile arasındaki eğri denklemi (4.6)'da verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,97$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.21.'de ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

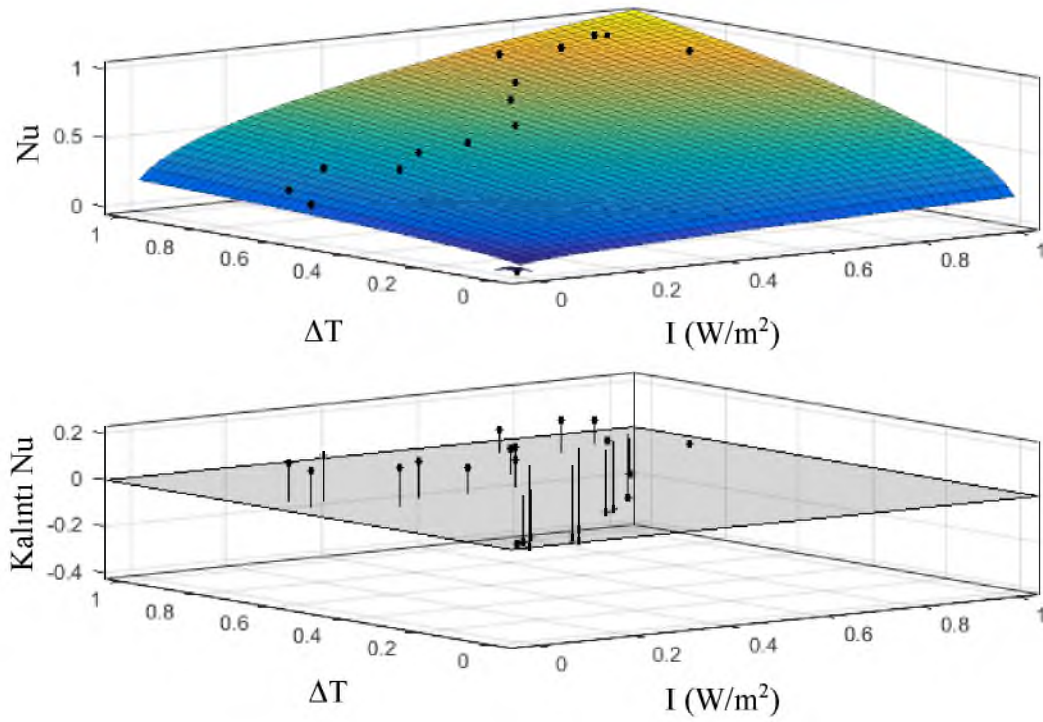
$$Gr = [\Delta T \times I]^{0,24} \quad (4.6)$$



Şekil 4.21. Gr sayısının güneş ışıını ve sıcaklık farkı verileri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Nusselt sayısının (Nu) güneş ışıını (I) ve kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı verileri (ΔT) ile arasındaki eğri denklemi (4.7)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,80$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.22.'de ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

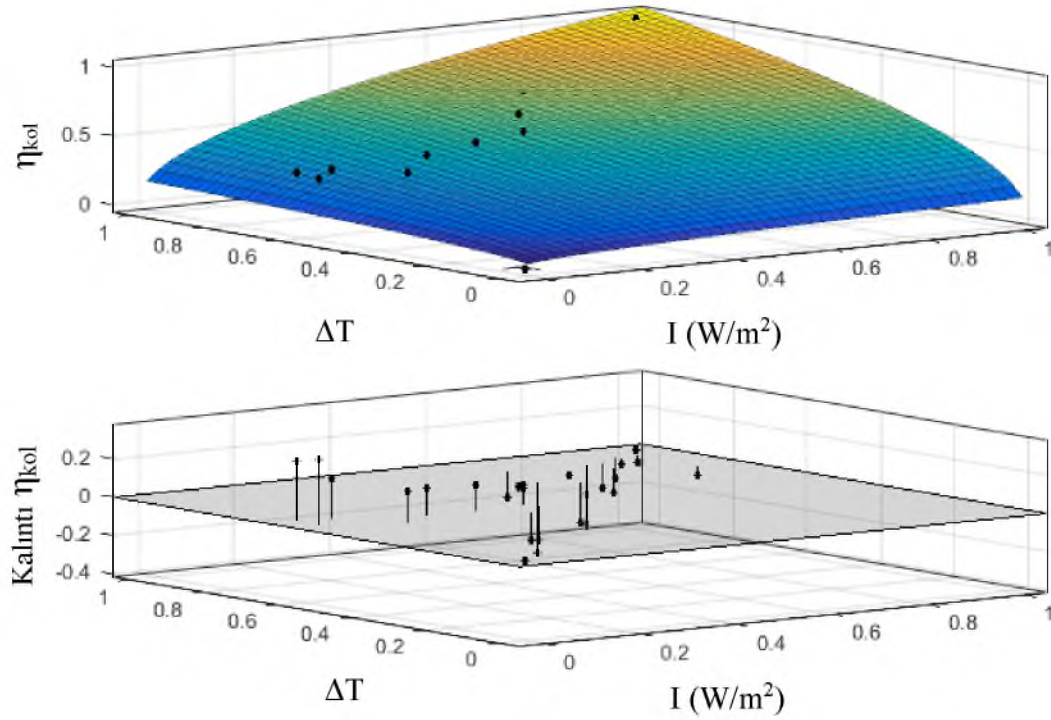
$$Nu = [\Delta T \times I]^{0,44} \quad (4.7)$$



Şekil 4.22. Nu sayısının güneş ışınlamı ve sıcaklık farkı verileri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Kolektör verimi (η_{kol}), güneş ışınlamı (I) ve kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı verileri (ΔT) ile arasındaki eğri denklemi (4.8)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,86$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.23.'te ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

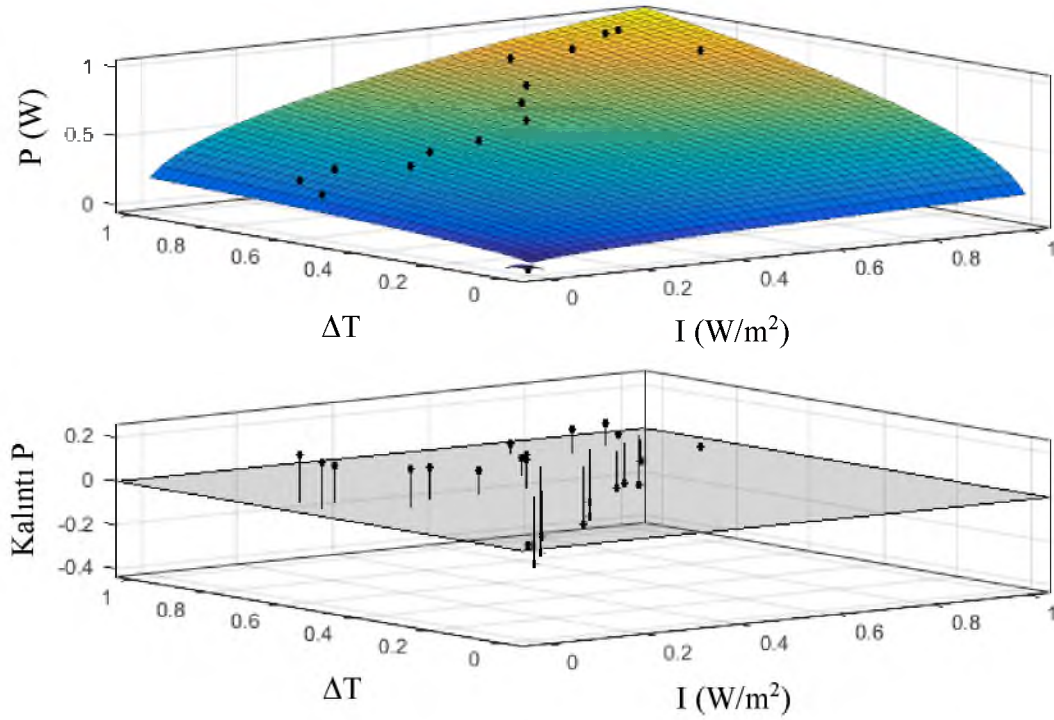
$$\eta_{kol} = [\Delta T \times I]^{0,48} \quad (4.8)$$



Şekil 4.23. Kolektör veriminin güneş ışıını ve sıcaklık farkı verileri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Elde edilen güç (P), güneş ışıını (I) ve kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı verileri (ΔT) ile arasındaki eğri denklemi (4.9)'da verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,84$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.24.'te ise bu parametreler arasındaki eğim ve kalıntı grafikleri verilmiştir.

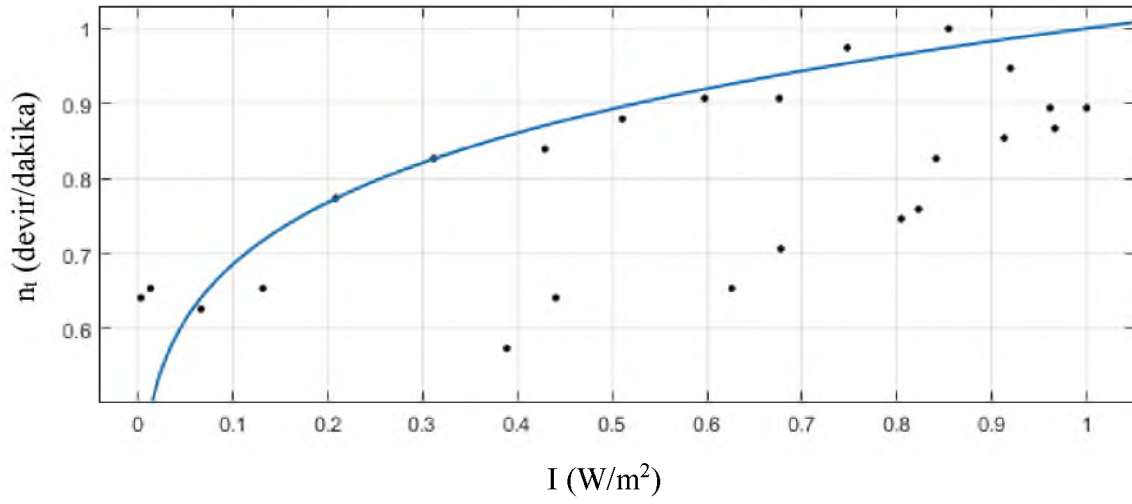
$$P = [\Delta T \times I]^{0,44} \quad (4.9)$$



Şekil 4.24. Elde edilen güç değerinin güneş ışıınımı ve sıcaklık farkı verileri ile arasındaki eğim çizgisi ve kalıntı değerleri

Çizelge 4.3.'te Güneş ışıınım değeri ile türbin devir sayısı (RPM) parametreler arasında $\alpha=0.01$ anlamlılık seviyesine göre pozitif yönlü yüksek düzeyde bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Regresyon analizinde RPM değeri bağımlı değişken olarak seçilirken bu değere etki eden ışıınım parametresi ise bağımsız değişkendir. RPM ve güneş ışıınım sayıları için oluşturulan eğri denklemi (4.10)'da verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2=0,93$ 'tür. Ayrıca Şekil 4.25.'te bu parametreler arasındaki eğim grafiği verilmiştir.

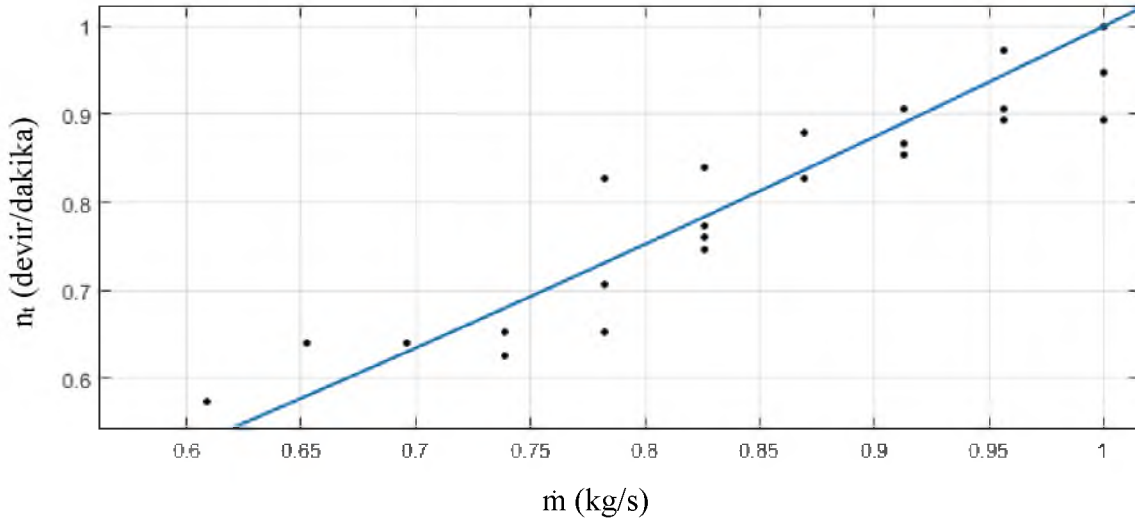
$$n_T = I^{0,16} \quad (4.10)$$



Şekil 4.25. Güneş ışınımı ile türbin devir sayısı (RPM) arasındaki eğim grafiği

Türbin devir sayısı (RPM) ile kütleli debi ($\dot{m}$) arasındaki eğri denklemi (4.11)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,99$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.26.'da ise bu parametreler arasındaki eğim verilmiştir.

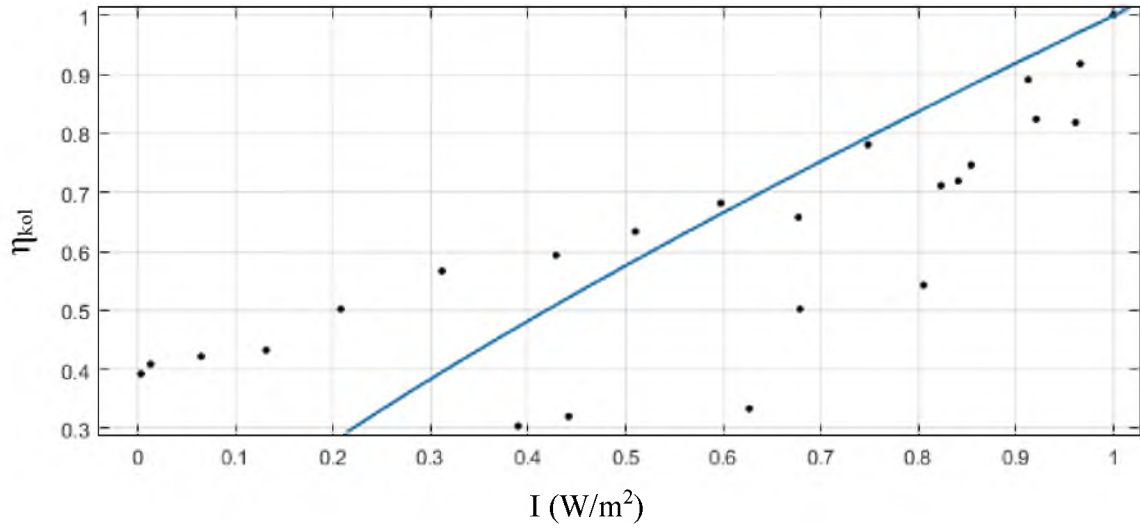
$$n_T = \dot{m}^{1,27} \quad (4.11)$$



Şekil 4.26. RPM ile kütleli debi arasındaki eğim grafiği

Kolektör verimi ile güneş ışıınımları arasındaki eğri denklemi (4.12)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,82$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.27.'de ise bu parametreler arasındaki eğim verilmiştir.

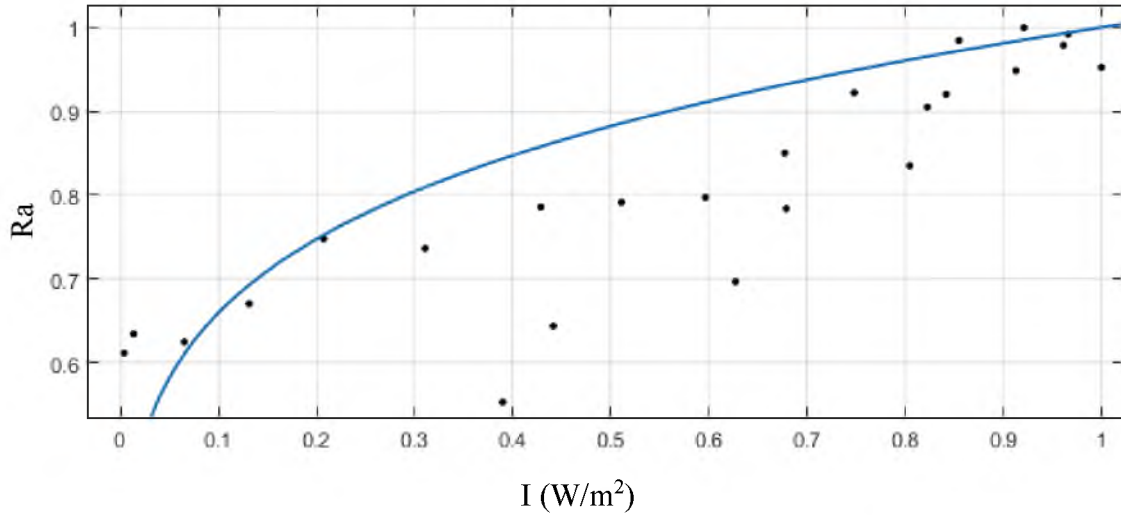
$$\eta_{kol} = I^{0,79} \quad (4.12)$$



Şekil 4.27. Kolektör verimi ile güneş ışıınımları arasındaki eğim grafiği

Rayleigh sayısı (Ra) ile güneş ışıınımları arasındaki eğri denklemi (4.13)'te verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,95$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.28.'de ise bu parametreler arasındaki eğim verilmiştir.

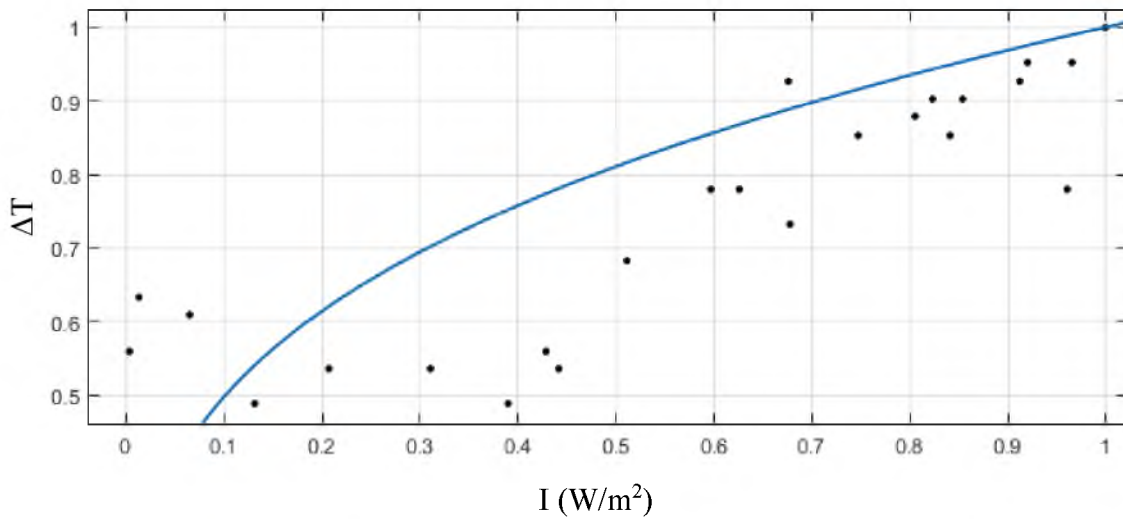
$$Ra = I^{0,18} \quad (4.13)$$



Şekil 4.28. Ra ve güneş ışınlımları arasındaki eğim grafiği

Kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı (ΔT) ile güneş ışınlımı arasındaki eğri denklemi (4.14)'te verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,91$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.29.'da ise bu parametreler arasındaki eğim verilmiştir.

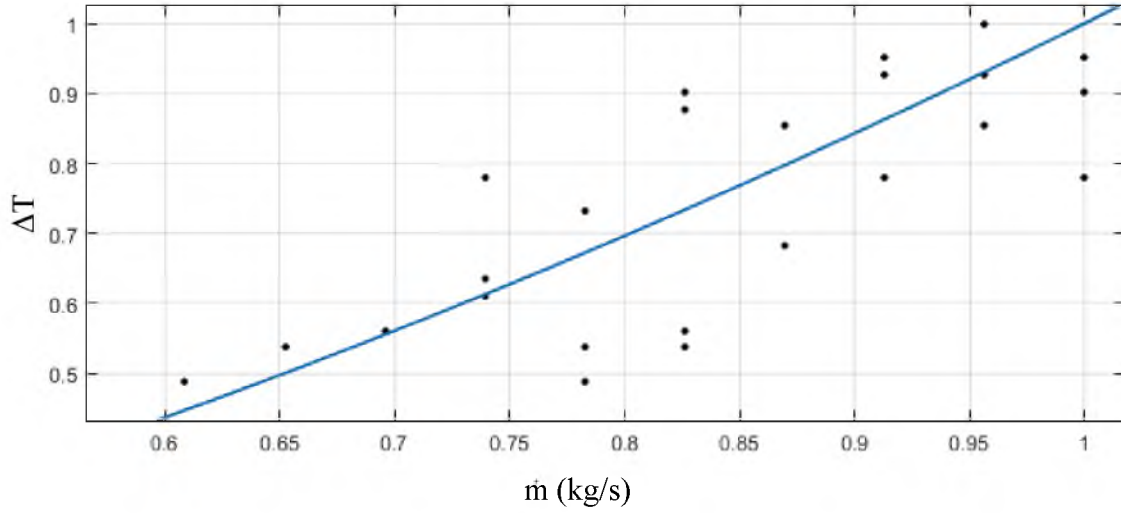
$$\Delta T = I^{0.3} \quad (4.14)$$



Şekil 4.29. Sıcaklık farkı ile güneş ışınlımları arasındaki eğim grafiği

Kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı (ΔT) ile kütleli debi arasındaki eğri denklemi (4.15)'te verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,95$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.30.'da ise bu parametreler arasındaki eğim verilmiştir.

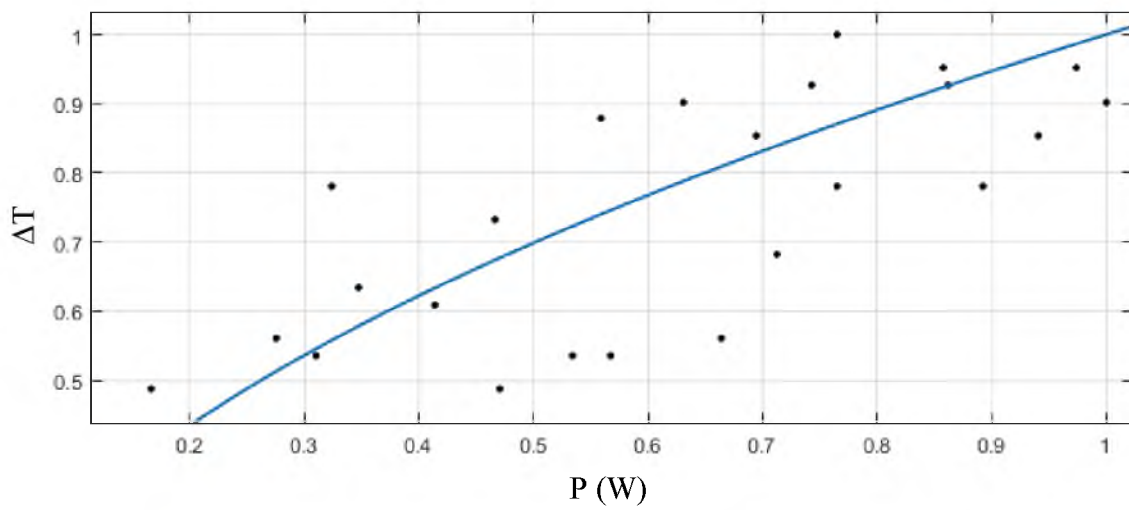
$$\Delta T = \dot{m}^{1,62} \quad (4.15)$$



Şekil 4.30. Sıcaklık farkı ile kütleli debi değerleri arasındaki eğim grafiği

Kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı (ΔT) ile elde edilen güç değeri arasındaki eğri denklemi (4.16)'da verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,94$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.31.'de ise bu parametreler arasındaki eğim verilmiştir.

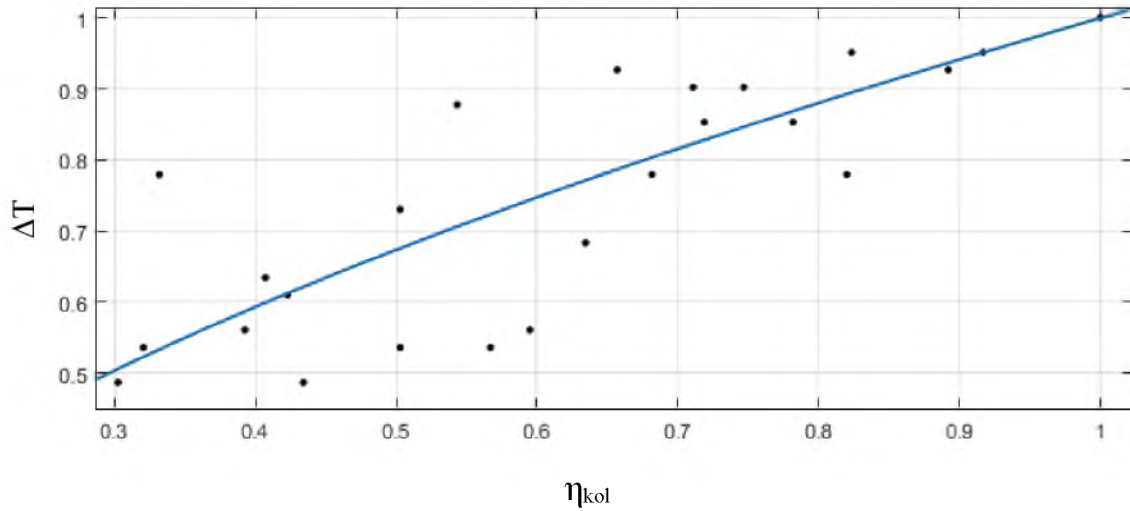
$$\Delta T = P^{0,51} \quad (4.16)$$



Şekil 4.31. Sıcaklık farkı ile elde edilen güç değeri arasındaki eğim grafiği

Kolektör girişinden bacaya doğru elde edilen sıcaklık farkı (ΔT) ile kolektör verimi arasındaki eğri denklemi (4.17)'de verilmiştir. Bu parametreler arasındaki eğri denkleminin belirlilik katsayısı $R^2 = 0,96$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.32.'de ise bu parametreler arasındaki eğim verilmiştir.

$$\Delta T = \eta_{kol}^{0,56} \quad (4.17)$$



Şekil 4.32. Sıcaklık farkı ile kolektör verimi arasındaki eğim grafiği

Boyutsuzlaştırılan parametreler arasındaki amprik bağıntılarda belirlilik katsayısının (R^2) yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen tüm amprik bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$Nu = Ra^{2,34} \quad (3.37) \quad P = [\Delta T \times I]^{0,44} \quad (4.9)$$

$$n_T = [I \times V_5]^{0,15} \quad (4.1) \quad n_T = I^{0,16} \quad (4.10)$$

$$V_5 = [I \times T_{24}]^{0,12} \quad (4.2) \quad n_T = \dot{m}^{1,27} \quad (4.11)$$

$$P = [I \times T_{24}]^{0,57} \quad (4.3) \quad \eta_{kol} = I^{0,79} \quad (4.12)$$

$$Gr = [P \times \dot{m}]^{0,3} \quad (4.4) \quad Ra = I^{0,18} \quad (4.13)$$

$$Ra = [I \times \dot{m}]^{0,24} \quad (4.5) \quad \Delta T = I^{0,3} \quad (4.14)$$

$$Gr = [\Delta T \times I]^{0,24} \quad (4.6) \quad \Delta T = \dot{m}^{1,62} \quad (4.15)$$

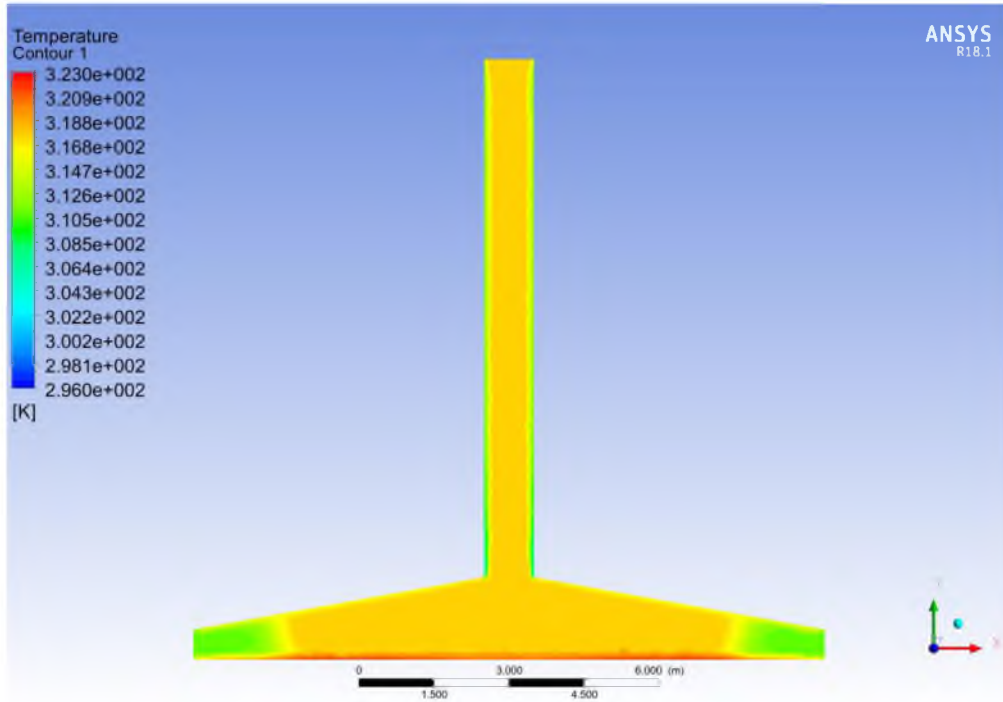
$$Nu = [\Delta T \times I]^{0,44} \quad (4.7) \quad \Delta T = P^{0,51} \quad (4.16)$$

$$\eta_{kol} = [\Delta T \times I]^{0,48} \quad (4.8) \quad \Delta T = \eta_{kol}^{0,56} \quad (4.17)$$

4.3. HAD Sayısal Model Sonuçları

Güneş bacası sistemi için sayısal çözümleme ANSYS FLUENT 18.1 ticari yazılım programı ile analiz edilmiştir. Bölüm 3.3.1’de sayısal model çözümü için gerekli kabuller, sınır değerleri, enerji denklemleri ve hesaplama yöntemleri vs. detaylı olarak verilmiştir. Sayısal çözüm ile elde edilmek istenen hız, sıcaklık vs. dağılımları için iterasyon işlemi başlatılmıştır. Hesaplama panelinde de sonuçlar yakınsayarak $10e-7$ derecesine varana kadar tekrarlanmıştır.

Hava sıcaklığı, hava hızını etkileyen önemli parametrelerden biri olduğundan, hava sıcaklığının ayrıntılı bir analizi yapılmıştır. Akış alanı içindeki sıcaklık profili gelişimi, uzunluk boyunca hava sıcaklığı dağılımının tahmin edilmesiyle elde edilir. Şekil 4.33.’te güneş bacası içerisinde oluşan sıcaklık konturu gösterilmektedir. Hava sıcaklığı yakın duvar bölgelerinde 310 K civarındadır, ancak merkez zemin bölgesinde maksimumdur. Kolektör yüzey tabanından baca tabanına kadar, merkezdeki sıcaklık 313 K ile 318 K arasındadır. Bunun nedeni, kolektör yüzeyinin dış çevresinin, ortam havası ile doğrudan temas halinde olmasıdır. Girişteki kolektör giriş sıcaklığı 311 K’dır ve girişten merkeze doğru 3 metre ileride maksimum 322 K değerine ulaşır. Daha sonra, sıcaklık merkeze doğru azalır ve 316 K’ya ulaşır. Baca girişindeki bu sıcaklık düşüşü baca pozisyonuna bağlıdır, buna güneş ışıınının bu bölgeye düzgün bir şekilde ulaşmaması neden olmaktadır. Baca eksenı boyunca 5 metre yukarıda sıcaklık 316 K civarındadır. Maksimum sıcaklık kolektör yüzeyi ve zemine yakın konumdadır. Bununla birlikte, minimum değer kolektör girişini çevreleyen bölgede bulunur. Baca ekseninden uzak olarak, sıcaklık değerleri kolektörün başında ortam sıcaklığına ulaşana kadar düşer.

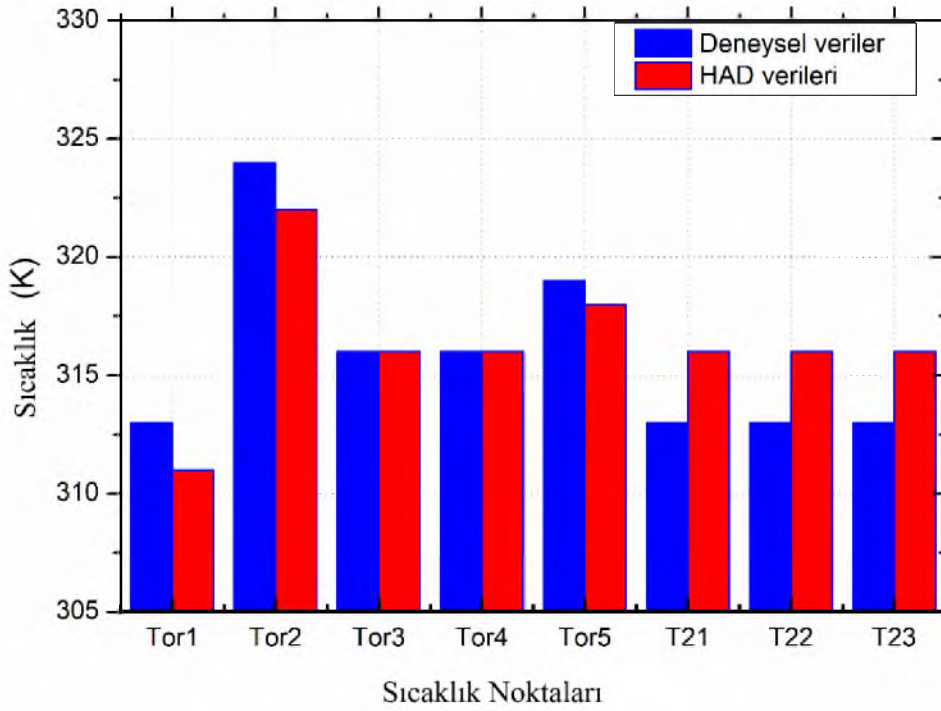


Şekil 4.33. Güneş bacası içerisinde oluşan sıcaklık konturu

Sayısal modelleme sonucu elde edilen veriler ile deneysel veriler karşılaştırıldığında verilerin birbirleriyle uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.34.). Çizelge 4.4.'te dört bölge için ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir. Buna göre bölgelere ait sıcaklık noktaları T_{or1} (T_1, T_2, T_3, T_4), T_{or2} (T_5, T_8, T_{11}, T_{14}), T_{or3} (T_6, T_9, T_{12}, T_{15}), T_{or4} ($T_7, T_{10}, T_{13}, T_{16}$) ve T_{or5} ($T_{17}, T_{18}, T_{19}, T_{20}$) şeklindedir.

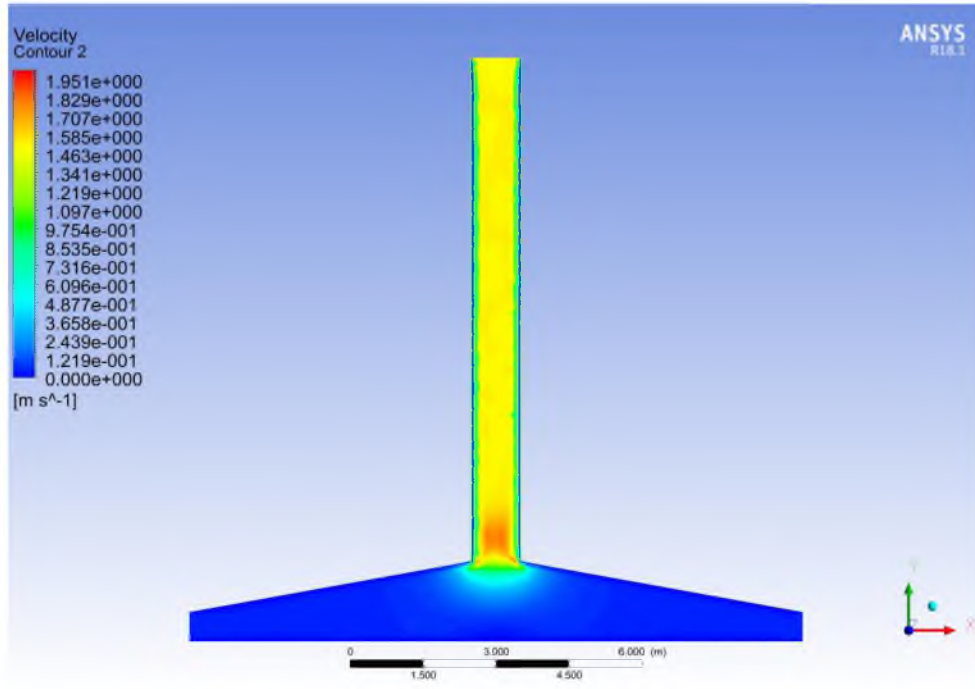
Çizelge 4.4. Sayısal ve Deneysel verileri karşılaştırılması

Sıcaklık Noktaları	T_{or1}	T_{or2}	T_{or3}	T_{or4}	T_{or5}	T_{21}	T_{22}	T_{23}
HAD Verileri								
(ANSYS FLUENT)	311 K	322 K	316 K	316 K	318 K	316 K	316 K	316 K
Deneysel Veriler	313 K	324 K	316 K	316 K	319 K	313 K	313 K	313 K

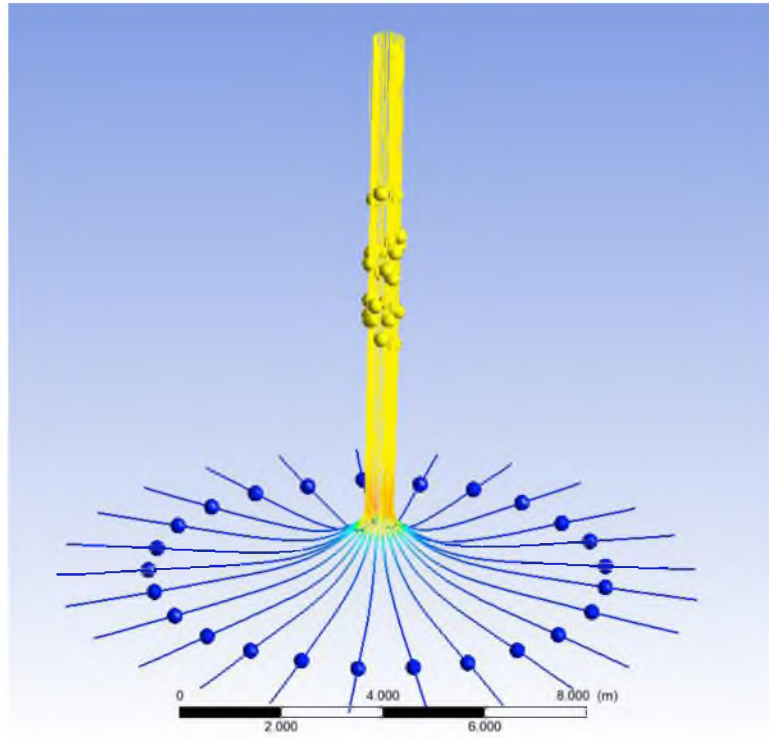


Şekil 4.34. Sayısal ve Deneysel verilerin karşılaştırılmalı grafiği

Şekil 4.35. güneş bacası içerisinde oluşan hız konturu ve Şekil 4.36.'da ise hız animasyon görüntüsü gösterilmektedir. Buna göre hız kolektör giriş alanından bacanın merkezine doğru kademeli olarak artar ve baca merkezinin en üst seviyesine ulaşır. Kolektör ve baca arasında hava hızında ani bir artış olur. Maksimum 1,95 m/s hız gözlenir ve genişliği yavaşça çıkışa kadar düşer. Ayrıca baca dibinde bir ivme bölgesi gözlenmiştir. Daha sonra baca eksenini boyunca, büyüklüğü sabittir, kıvrım bölgesine ulaştığı eksene yakın baca girişinde hız ani olarak artar. Bunun nedeni kıvrım bölgesindeki maksimum basınç farkından kaynaklanmaktadır. Kolektör yarıçapı boyunca, hız değerleri düşer ve kolektör girişinde ise en zayıf değerindedir.



Şekil 4.35. Güneş bacası içerisinde oluşan hız konturu



Şekil 4.36. Güneş bacası içerisinde oluşan hız animasyon görüntüsü

Sayısal ve deneysel hız verileri karşılaştırıldığında verilerin birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.5.'te kolektör girişi hız ortalamaları V_{go} (V_1 , V_2 , V_3 , V_4) ve baca girişi hız noktalarında sayısal ve deneysel veriler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5. Sayısal ve Deneysel sıcaklık verilerinin karşılaştırılması

Sıcaklık Noktaları	V_{go}	V_5
Sayısal Veriler (ANSYS Fluent)	0,98	1,92
Deneysel Veriler	1,1	2,3

Analiz, güneş bacası sistemlerinde akış ve ısı transferi özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edildiğini göstermiştir.

4.4. Yapay Sinir Ağı Sonuçları

Çok katmanlı ağlarda ilk eğitimde girdi katmanı, ara (gizli) katman ve çıktı katmanı yönünde gerçekleşir. Eğitim, ağı oluşturan katmanlardaki nöronlar arasında bulunan bağlantı ağırlıklarının belirlenmesiyle olur. Ara katman sayısı ve bu katmanlardaki nöron sayısının tespiti ağın performansı için önemlidir. Başlangıçta bu değerler geliş güzel atanırken artan girdi kümeleriyle bu değerler en uygun halini alarak ağ eğitim işlemini tamamlar ve genelleme yapabilme kabiliyeti kazanır. Problemden kullanılacak parametreler eğitim ve test olarak iki bölümde incelenmiştir.

Eğitimde kullanılacak parametreler ağın eğitilerek genelleme yapabilme kabiliyetinin kazanmasını sağlarken test parametreleri ise ağın tahmin yeteneğinin kullanılmasında değerlendirilmiştir. Giriş parametreleri olarak ortam sıcaklığı (T_{24}) ile güney bölgesine ait giren hava hızı (V_2) ve güneş ışıyım (I) değeri ele alınmıştır. Çıktı katmanında ise ara (gizli) katmandan gelen bilgilerin işlenmesiyle, ağda girdi olarak sunulan örneğe uygun çıktı değerleri üretilir. Çıkış parametresi olarak türbin devir sayısı (RPM) belirlenmiştir.

Çok katmanlı bir yapay sinir ağı modeli ile eğitimde ağdan en az hata değeri ile oluşturulan çıktı değerleri için en uygun ağırlıklar belirlenmiştir. Böylece en uygun ağırlığın belirlenmesine kadar geçen hesaplamalarda ağın performansını etkileyen hata oranı giderek düşürülerek en az hatada en ideal R değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Çizelge 4.6. ve 4.7.'de sırasıyla TANSİG fonksiyonunun Eğitim ve Test aşında, katmanlarda belirlenen değişken nöron sayılarına ait R değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. Eğitim ağında nöron sayılarına ait R değerleri

Nöron Sayıları		2.Katman				
		5	10	15	20	25
1.Katman	5	0,98501	0,99154	0,98556	0,70117	0,97879
	10	0,99848	0,99829	0,99148	0,94382	0,99472
	15	0,98158	0,99586	0,9983	0,99281	0,99498
	20	0,93762	0,81092	0,98872	0,99559	0,99748
	25	0,99213	0,93796	0,85546	0,98265	0,9891

Çizelge 4.7. Test ağında nöron sayılarına ait R değerleri

Nöron Sayıları		2.Katman				
		5	10	15	20	25
1.Katman	5	0,91162	0,99669	0,96631	0,71554	0,99269
	10	0,98419	0,96722	0,95328	0,89069	0,99217
	15	0,93826	0,97565	0,95261	0,95051	0,95708
	20	0,97998	0,83894	0,96997	0,82371	0,95285
	25	0,86569	0,93484	0,76746	0,77081	0,98981

TANSİG transfer fonksiyonunda R değeri için en uygun nöron sayısı Eğitim ağında 1.Katman ve 2.Katman için 10-5 nöron sayılarında $R = 0,99848$ olarak belirlenmiştir. Test ağında ise 1.Katman ve 2.Katman için 5-10 nöron sayılarında $R = 0,99679$ 'dir.

Çizelge 4.8. ve 4.9.'da sırasıyla LOGSİG fonksiyonunun Eğitim ve Test ağında, katmanlarda belirlenen değişken nöron sayılarına ait R değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Eğitim ağında nöron sayılarına ait R değerleri

Nöron Sayıları		2.Katman				
		5	10	15	20	25
1.Katman	5	0,99659	0,99614	0,99457	0,99348	0,99032
	10	0,9965	0,99343	0,99527	0,99808	0,99443
	15	0,99044	0,9869	0,98939	0,9539	0,97399
	20	0,99327	0,99172	0,9964	0,99699	0,99043
	25	0,99827	0,9995	0,9982	0,88614	0,98964

Çizelge 4.9. Test ağında nöron sayılarına ait R değerleri

Nöron Sayıları		2.Katman				
		5	10	15	20	25
1.Katman	5	0,94254	0,98649	0,90744	0,98016	0,96682
	10	0,9794	0,92131	0,94829	0,97922	0,9936
	15	0,9565	0,97326	0,98848	0,99795	0,86963
	20	0,98144	0,96209	0,93098	0,9884	0,98677
	25	0,9735	0,9535	0,96225	0,98653	0,9797

LOGSİG transfer fonksiyonunda R değeri için en uygun nöron sayısı Eğitim ağında 1.Katman ve 2.Katman için 25-10 nöron sayılarında $R= 0,9995$ olarak belirlenmiştir. Test ağında ise 1.Katman ve 2.Katman için 15-20 nöron sayılarında $R= 0,99795$ 'dir.

Çizelge 4.10. ve 4.11.'de sırasıyla PURELİN fonksiyonunun Eğitim ve Test ağında, katmanlarda belirlenen değişken nöron sayılarına ait R değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. Eğitim ağında nöron sayılarına ait R değerleri

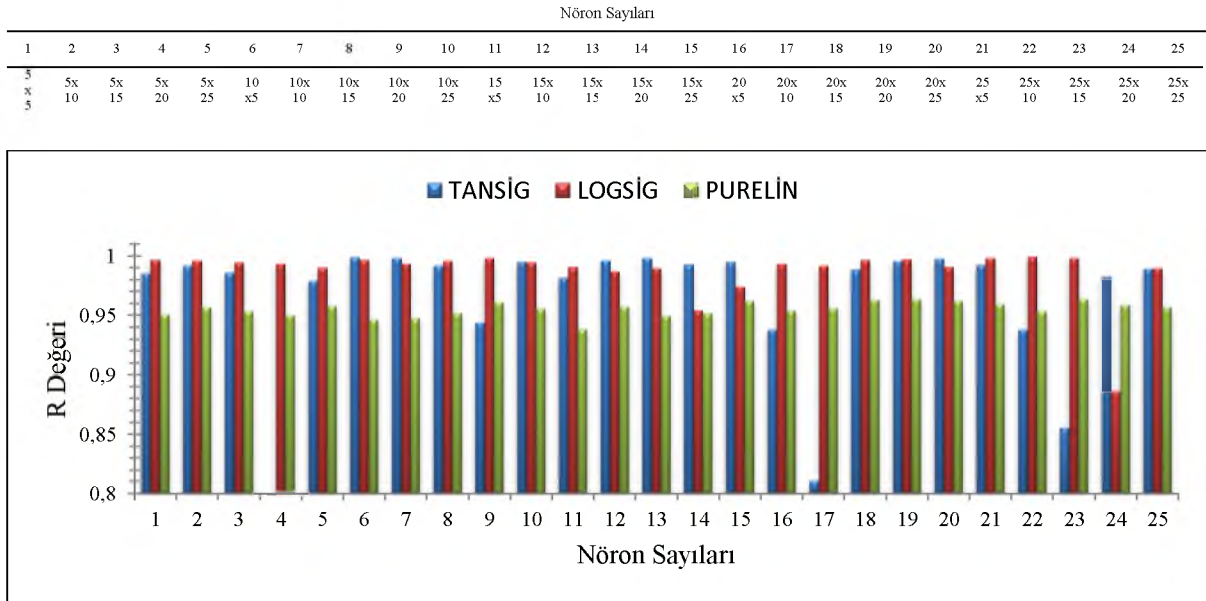
Nöron Sayıları		2.Katman				
		5	10	15	20	25
1.Katman	5	0,95105	0,95687	0,95336	0,95019	0,95753
	10	0,94673	0,94758	0,95191	0,96086	0,95566
	15	0,93852	0,95724	0,94983	0,95207	0,96186
	20	0,95412	0,95609	0,96341	0,96385	0,96187
	25	0,95938	0,95339	0,9639	0,95887	0,95682

Çizelge 4.11. Test ağında nöron sayılarına ait R değerleri

Nöron Sayıları		2.Katman				
		5	10	15	20	25
1.Katman	5	0,96469	0,91347	0,97502	0,97448	0,89588
	10	0,94864	0,95067	0,98505	0,92034	0,94813
	15	0,98035	0,92296	0,95054	0,97162	0,95803
	20	0,99584	0,92457	0,97907	0,94259	0,96294
	25	0,90657	0,97652	0,94575	0,94614	0,94812

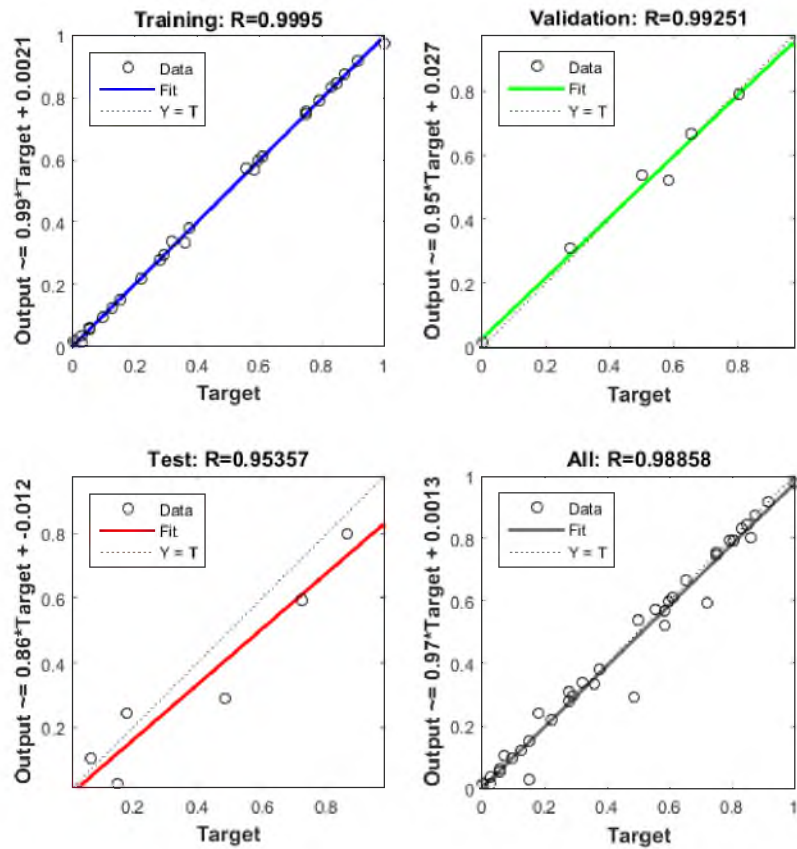
PURELİN transfer fonksiyonunda R değeri için en uygun nöron sayısı Eğitim ağında 1.Katman ve 2.Katman için 25-15 nöron sayılarında $R= 0,9639$ olarak belirlenmiştir. Test ağında ise 1.Katman ve 2.Katman için 20-5 nöron sayılarında $R= 0,99584$

Transfer fonksiyonları incelendiğinde eğitim ağı için en uygun R değerlerinin LOGSİG fonksiyonunda olduğu görülmüştür. Şekil 4.37. transfer fonksiyonlarına ait R değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



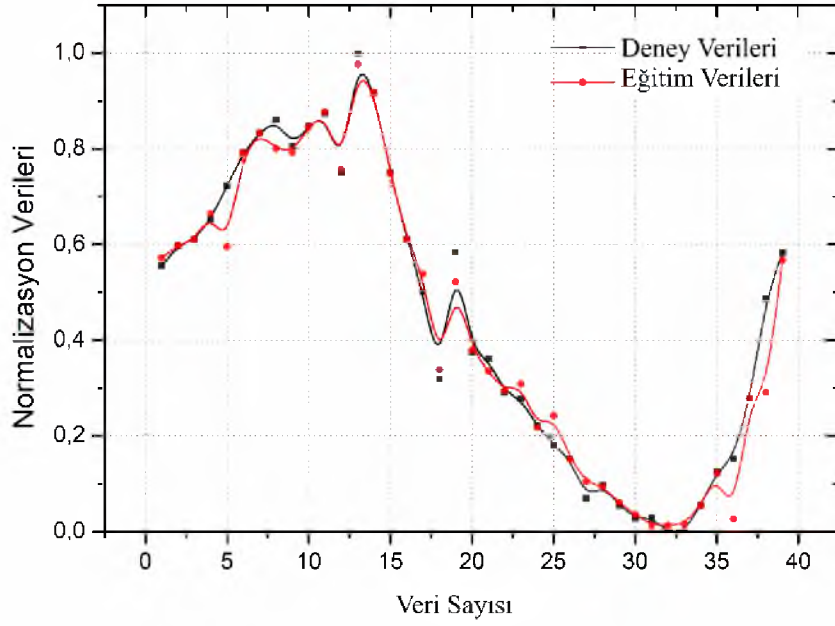
Şekil 4.37. Transfer fonksiyonlarına ait karşılaştırmalı R değerleri

LOGSİG transfer fonksiyonunun Eğitim ağında en yüksek R değeri için elde edilen regresyon grafikleri Şekil 4.38.'de verilmiştir.

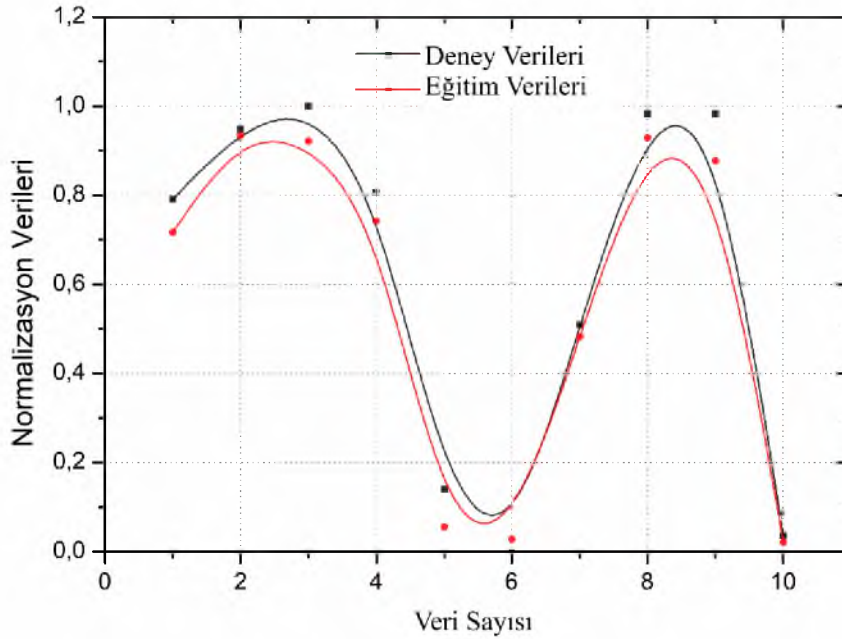


Şekil 4.38. LOGSİG fonksiyonunun 25-10 nöron sayılarında regresyon değerleri

Deneysel veriler ile YSA model sonuçları karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir. Böylece Güneş Bacasının inşa edileceği yer için bölgede ısınım, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızları gibi değerler ile elde edilebilecek güç miktarı tahmin edilebilecektir. Eğitim ve Test ağlarında elde edilen verilerin deneysel veriler ile karşılaştırması Şekil 4.39. ve 4.40.'ta verilmiştir.



Şekil 4.39. Deneyisel veriler ile YSA eğitim verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.40. Deneyisel veriler ile YSA test verilerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Batman Üniversitesi yerleşkesine inşa edilen güneş bacası sisteminin performansı değerlendirilerek elde edilebilecek elektrik güç miktarı hem deneysel hem de teorik olarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışma ile sistem performansı etkileyen parametreler (sıcaklık, hız, ışıınım ve RPM) ele alınmıştır. Ölçümler kuzey güney, doğu ve batı bölgelerini kapsayacak şekilde sıcaklık verileri için toplamda 24, hız değeri için 6 noktada tam gün olarak ölçülmüştür. Bu parametrelerin sistem verimi üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışma ile aşağıdaki analizler yapılmıştır;

- Deneysel veriler arasındaki grafiksel ilişki
- Deneysel verilerin istatistiksel açıdan değerlendirilmesi (MATLAB-SPSS 17)
- Hesaplama Yöntemi ve Amprik Bağıntılar (MATLAB-Curve Fitting)
- Sayısal Modelleme (ANSYS FLUENT)
- Yapay Sinir Ağ Modellemesi (MATLAB)

Deneysel veriler incelendiğinde güneş ışıınının, sistem performansını etkileyen parametreleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Işıınım verilerinin hız ve sıcaklık değerleriyle pozitif yönde ilişkili olduğu analiz edilmiştir. Işıınım, sistemin temel enerji kaynağı olarak prototipten elde edilecek güç çıkışı için en önemli belirleyici değişkendir. Bu nedenle sistemin kurulacağı bölge önem arz etmektedir. Sistemdeki parametreler incelendiğinde; kolektör giriş sıcaklıkları saat 12:30 itibariyle artışa geçmiştir. Sıcaklık saat 14:00'da güney bölgesinde 44°C'lik maksimum değerine ulaşmıştır. Türbin giriş hızı ise 2,3 m/s'lik değeri ile sistemde ölçülen maksimum hıza sahiptir. Giriş hızlarındaki düşüş, saat 16:30'da ışıınının giderek azaldığı akşam saatlerinde başlamıştır. Kolektör altındaki en yüksek sıcaklık ise zeminde 55 °C olarak ölçülmüştür. Kolektör girişinden bacaya doğru sıcaklık artışı ise ortalama 8 °C olmuştur. Ayrıca maksimum RPM değerinin 75 devir/dakika olduğu tespit edilmiştir. Prototipten elde edilebilecek maksimum elektrik gücü ise 26,8 W olarak hesaplanmıştır.

Deney sonuçlarına göre Batman Üniversitesine kurulan güneş bacası prototipinin düşük güç değerleri üretebildiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni baca uzunluğu ve kolektör yüzey alanının küçük ölçeklerde olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca elektirik üretimini artırmak için daha az kanatlı ve hafif malzemeli yapıya sahip bir türbin kullanılmalıdır. Bir güneş bacası santralinde 100 kW'lık güç elde edebilmek için baca uzunluğunun 250 m ve kolektör yüzey alanının 500 m çapında olması gerekmektedir.

Ancak kurulan sistem performansı analiz edildiğinde daha büyük ölçekli bir güneş santrali için yüksek güç değerlerinde üretim yapılabileceği öngörülmüştür. Prototip Türkiye'nin en fazla ışınlam alan bölgelerinden birinde kurulmuş ve incelenmiştir. Böylece bu çalışma ile gelecekte bölgede yapılması planlanan büyük ölçekli bir güneş bacası santrali için en uygun performans koşulları belirlenmiş olacaktır. Bu ampirik çalışma, güneş ışınlamı bakımından zengin olan Güney Akdeniz iklim bölgesinde (Csa, Köppen-Geiger iklim sınıflandırması) aynı enlemdeki tüm yerleşimler için bir veri kaynağı oluşturacaktır.

SPSS 17 istatistik programı kullanılarak güneş bacası ölçüm parametreleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri tespit edilmiştir. Önem seviyesi $\alpha=0,01$ 'e göre; güneş ışınlam değeri ile türbin devir sayısı arasında $r = 0,82$ değerinde ve türbin devir sayısı ile ortam sıcaklığı arasında korelasyon katsayısı $r = 0,78$ 'lik yüksek seviyede pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Türbin giriş hızı ile türbin giriş sıcaklığı arasında $r = 0,83$ değerinde pozitif yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak tüm parametreler arasındaki regresyon grafikleri, hız, sıcaklık, ışınlam ve RPM verilerinin birbirleri bağlantılı olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca MATLAB Curve fitting programı ile boyutsuzlaştırılan parametreler arasında yüksek belirlilik katsayısında ampirik bağıntılar türetilmiştir.

Güneş bacası sistemi üzerinden alınan deneysel veriler ile MATLAB programı yardımıyla bir yapay sinir ağ modeli oluşturulmuştur. Elde edilen deney sonuçları 3 farklı transfer fonksiyonunda (TANSİG, LOGSİG ve PURELİN) çift katmanlı olarak farklı nöron sayıları ile denenmiş ve en uygun transfer fonksiyonunun LOGSİG fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Bu fonksiyon ile çift katmanda farklı nöron sayılarında eğitim verileri için en iyi sonuç 1. ve 2. katmanda sırasıyla 25-10 nöron katmanında bulunmuştur. Eğitilen deneysel verilerin regresyon değeri $R=0,9995$ olduğu görülmüştür. Böylece model, deneysel verileri % 99,95 doğrulukta eğitmiştir. Bu model ile zaman ve maliyet kaybına neden olan klasik yöntemlere gerek duyulmadan daha hızlı bir şekilde tahminlerde bulunmak mümkün kılınmıştır. Prototipin kurulacağı bölgede ışınlam, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızları gibi değerler ile elde edilebilecek güç miktarı, YSA'da yüksek korelasyonlu RPM değerlerinin tahmini ile öngörülebilmektedir.

Sayısal modelleme ve simülasyon ticari yazılım programı ANSYS FLUENT programı ile yapılmıştır. Prototipin geometrisi 3 boyutlu çizilmiştir. Sonlu hacimler yöntemi kullanılarak süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözdürülmüştür. Türbülans modeli olarak (RNG) k- ϵ modeli kullanılmıştır.

Buna ek olarak ışıınım etkilerinin değeriendirilmesi için DO (ayrık ordinatlar) modeli kullanılmıştır. Sayısal modelde elde edilen veriler ile deneysel sonuçlar birbirini doğrulamıştır. Böylece bu model ile ileride yapılacak daha büyük ölçekli bir güneş bacası sistemi için elde edilebilecek güç miktarı hesaplanabilecektir. Bu çalışma ile HAD tekniğinin, güneş baca sistemleri gibi karmaşık aerodinamik ve termal sistemlerin analizi için güçlü bir araştırma ve mühendislik aracı olarak kabiliyetlerini göstermiştir. HAD yaklaşımı, bu konudaki deneysel çalışmanın daha basit ve daha ekonomik bir hale dönüşmesini sağlayabilir. Bu yaklaşım ayrıntılı bir analiz için daha da geliştirilebilir.

Güneş bacası prototipinde en uygun sayısal modeli oluşturmak için daha sonra yapılacak çalışmalarda farklı türbúlas modelleri (Realizable k-epsilon, Standart k-epsilon ve Standart k-omega) ANSYS FLUENT programı ile karşılaştırabilir. Farklı mesh (çözümüğü) sayı ve tipleri belirlenebilir ve ya giriş sınır şartları (pressure inlet, mass flow inlet) değıştirilebilir. Ayrıca elde edilen deneysel verilere göre oluşturulmak istenen YSA modeli için tüm transfer fonksiyonlarında farklı nöron sayıları ve katmanlar ile en uygun R değeriine sahip model belirlenebilir.

Son olarak daha sonra yapılacak çalışmalarda güneş bacasının performansını arttırmak için baca uzunluğu ve kolektör alanı arttırılabilir. Baca konumu eğimli ve ya kavisli olarak tasarlanabilir ve ya kolektör eğim açısı değıştirilerek bölgenin güneş ışıınıını geliş açısına göre en uygun konumu belirlenebilir. Ayrıca verimi arttırmak ve sistemin gece vakitlerinde de çalışabilmesi için termal depolama yapılarak zemine su torbaları yerleştirebilir ve zemin siyah renge boyanabilir. Güneş enerjisi toplayıcı olarak saydam fotovoltaiik ve diğeri pek çok yenilikçi metot birleştirek hibrit bir güç üretim sistemi tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abdelmohimen, M. A., ve Algarni, S. A., 2018, Numerical investigation of solar chimney power plants performance for Saudi Arabia weather conditions. *Sustainable Cities and Society*, 38, 1-8.
- Ahmed, O. K., ve Hussein, A. S., 2018, New design of solar chimney (case study). *Case studies in thermal engineering*, 11, 105-112.
- Akbarzadeh, A., Johnson, P., ve Singh, R., 2009, Examining potential benefits of combining a chimney with a salinity gradient solar pond for production of power in salt affected areas. *Solar Energy*, 83(8), 1345-1359.
- Akhtar, Z., ve Rao, K. V. S., 2016, Estimation of levelized electricity cost of solar chimney power plant in India by using approximate cost model of Pretorius and Kroger. In *2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS)* (pp. 276-279). IEEE.
- Al-Azawiey, S. S., Al-Kayiem, H. H., ve Hassan, S. B., 2017, On the Influence of Collector Size on the Solar Chimneys Performance. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 131, p. 02011). EDP Sciences.
- Ali, B., 2017, Techno-economic optimization for the design of solar chimney power plants. *Energy Conversion and Management*, 138, 461-473.
- Anonim, 2009, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli. Komitesi, "Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi." *EKC Form Ofset*, ISBN (2009): 978-605.
- Anonim, 2020a, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> [Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2020].
- Anonim, 2020b, MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BATMAN> [Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2020].
- Anonymous, 2020, "Renewables 2020 Global Status Report", Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), https://www.globalwomennet.org/wp-content/uploads/2020/06/GSR2020_Full_Report_with_Endnotes.pdf [Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2020].
- Aurybi, M. A., Gilani, S. I., Al-Kayiem, H. H., ve Ismaeel, A. A., 2018, Mathematical evaluation of solar chimney power plant collector, integrated with external heat source for non-interrupted power generation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 30, 59-67.

- Aurybi, M. A., Al-Kayiem, H. H., Gilani, S. I., ve Ismaeel, A. A. 2017, Numerical analysis of solar updraft power plant integrated with external heat source. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 131, p. 01004). EDP Sciences.
- Ayadi, A., Driss, Z., Bouabidi, A., Nasraoui, H., Bsisa, M., ve Abid, M. S., 2018, A computational and an experimental study on the effect of the chimney height on the thermal characteristics of a solar chimney power plant. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 232(4), 503-516.
- Ayadi, A., Nasraoui, H., Bouabidi, A., Driss, Z., Bsisa, M., ve Abid, M. S., 2018, Effect of the turbulence model on the simulation of the air flow in a solar chimney. *International journal of thermal sciences*, 130, 423-434.
- Ayadi, A., Driss, Z., Bouabidi, A., ve Abid, M. S., 2018, Effect of the turbine diameter on the generated power of a solar chimney power plant. *Energy ve Environment*, 29(5), 822-836.
- Baghirli, O., 2015, Comparison of Lavenberg-Marquardt, Scaled Conjugate Gradient and Bayes Regularization Backpropagation algorithms for multistep ahead wind velocity forecasting using multilayer perceptron feedforward neural network, Thesis, *Ippsala University Department of Earth Sciences*, Campus Gotland.
- Bardakçı, A.B., 2018, Dalgalı Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Isıl Ve Hidrolik Performansının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı İle İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Bejan, A., 1993, Heat Transfer John Wiley ve Sons. Inc., New York.
- Bernardes, M., 2004, Technical, Economical and Ecological Analysis of Solar Chimney Power Plants: Ph. D. thesis, Universität Stuttgart.
- Bilgen, E., ve Rheault, J., 2005, Solar chimney power plants for high latitudes. *Solar Energy*, 79(5), 449-458.
- Bolat, S., ve Kalenderli, Ö., 2003, Levenberg-Marquardt Algoritması Kullanılan Yapay Sinir Ağı İle Elektrot Biçim Optimizasyonu. IJCI Proceedings of Intl. XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks 1(1):408-412.
- Bouhdjar, A., Larbi, S., Chergui, T., ve Gahgah, M., 2011, Influence of fluid flow regimes on the performances analysis of solar chimney power plants. *International Journal of Energy, Environment and Economics*, 19(5), 431.
- Burger, M., 2005, *Prediction of the temperature distribution in asphalt pavement samples* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Breeze, P., 2016, *Solar Power Generation*. Academic Press.
- Canbaz, H., 2011, Kanatlı Borulu Bir Isı Değiştiricisindeki Isı Geçişinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Cao, F., Li, H., Ma, Q., ve Zhao, L., 2014, Design and simulation of a geothermal–solar combined chimney power plant. *Energy conversion and management*, 84, 186-195.
- Celik, İ. B., 1999, *Introductory Turbulence Modeling*. West Virginia University.
- Cengel, Y. A., ve Cimbala, J. M., 2006, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* (1. ed., pp. 840-842). New York: McGraw-Hill
- Cottam, P. J., 2018, Innovation in Solar Thermal Chimney Power Plants, Doctoral dissertation, UCL (University College London).
- Das, P., ve Chandramohan, V. P., 2018, Effect of chimney height and collector roof angle on flow parameters of solar updraft tower (SUT) plant. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-13.
- Das, P., ve Chandramohan, V. P., 2018, CFD analysis on flow and performance parameters estimation of solar updraft tower (SUT) plant varying its geometrical configurations. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(12), 1532-1546.
- Dhahri, A., ve Omri, A., 2013, A review of solar chimney power generation technology. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2(3), 1-17.
- Dhahri, A., Omri, A., ve Orfi, J., 2014 Numerical study of a solar chimney power plant. *Research Journal of Applied sciences, engineering and Technology*, 8(18), 1953-1965.
- Djimli, S., Chaker, A., Ajib, S., ve Habka, M., 2018, Studying the possibility of a combined hybrid solar chimney power plant with a gas turbine. *Environmental Progress ve Sustainable Energy*, 37(3), 1160-1168.
- Elmas, Ç., 2011, Yapay zeka uygulamaları, yapay sinir ağları – bulanık mantık – genetik algortima, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Fathi, N., McDaniel, P., Aleyasin, S. S., Robinson, M., Vorobieff, P., Rodriguez, S., ve de Oliveira, C., 2018, Efficiency enhancement of solar chimney power plant by use of waste heat from nuclear power plant. *Journal of cleaner production*, 180, 407-416.
- Fluri, T. P., ve Von Backström, T. W., 2008, Performance analysis of the power conversion unit of a solar chimney power plant. *Solar Energy*, 82(11), 999-1008.
- Fadaei, N., Yan, W. M., Tafarroj, M. M., ve Kasaeian, A., 2018, The application of artificial neural networks to predict the performance of solar chimney filled with phase change materials. *Energy conversion and management*, 171, 1255-1262.
- Ferreira, A. G., Maia, C. B., Cortez, M. F., ve Valle, R. M., 2008, Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying. *Solar Energy*, 82(3), 198-205.

Fluent 6.3 User's Guide, 2006, September.

Fluri, T. P., Pretorius, J. P., Van Dyk, C., Von Backström, T. W., Kröger, D. G., ve Van Zijl, G. P. A. G., 2009, Cost analysis of solar chimney power plants. *Solar Energy*, 83(2), 246-256.

Fureby, C., 2008, Towards the Use of Large Eddy Simulation in Engineering, *Progress in Aerospace Sciences*, 44, 381-396.

Gannon, A. J., ve von Backström, T. W., 2003, Solar chimney turbine performance. *Journal of Solar Energy Engineering*, 125(1), 101-106.

Gholamalizadeh, E., ve Kim, M. H., 2014, Three-dimensional CFD analysis for simulating the greenhouse effect in solar chimney power plants using a two-band radiation model. *Renewable energy*, 63, 498-506.

Gholamalizadeh, E., ve Kim, M. H., 2016, CFD (computational fluid dynamics) analysis of a solar-chimney power plant with inclined collector roof. *Energy*, 107, 661-667

Gibson, M.M., Launder, B.E., 1978, Ground Effects on Pressure Fluctuations in the Atmospheric Boundary Layer", *J. of Fluid Mech.* 89, 491-511.

Golder, K., 2003, *Combined solar pond and solar chimney*. RMIT University.

Günther, H., 1931, *Die künftige Energieversorgung der Welt*. Franck'sche Verlagshandlung, Stuttgart.

Guo, P., Li, J., Wang, Y., ve Wang, Y., 2015 Numerical study on the performance of a solar chimney power plant. *Energy Conversion and Management*, 105, 197-205.

Haaf, W., 1984, Solar chimneys: part II: preliminary test results from the Manzanares pilot plant. *International Journal of Sustainable Energy*, 2(2), 141-161.

Haaf, W., Friedrich, K., Mayr, G., ve Schlaich, J., 1983, Solar chimneys part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares. *International Journal of Solar Energy*, 2(1), 3-20.

Habibollahzade, A., Houshfar, E., Ashjaee, M., Behzadi, A., Gholamian, E., ve Mehdizadeh, H., 2018, Enhanced power generation through integrated renewable energy plants: Solar chimney and waste-to-energy. *Energy conversion and management*, 166, 48-63.

Hussain, F. M., ve Al-Sulaiman, F. A., 2018, Performance analysis of a solar chimney power plant design aided with reflectors. *Energy conversion and management*, 177, 30-42.

Hadyan, H., 2015, *Theoretical Analysis and Experimental Optimization of Solar Updraft Power Generator*.

- Hamdan, M. O., 2010, Analytical thermal analysis of solar chimney power plant. In *ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability* (pp. 451-455). American Society of Mechanical Engineers.
- Hassan, A., Ali, M., ve Waqas, A., 2018, Numerical investigation on performance of solar chimney power plant by varying collector slope and chimney diverging angle. *Energy*, 142, 411-425.
- Haykin, S., 2009, *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson Education Inc., Nevv Jersey
- Heisler, E. M., 2014, *Exploring Alternative Designs for Solar Chimneys using Computational Fluid Dynamics* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Hooi, L. B., ve Thangavelu, S. K., 2018, A parametric simulation of solar chimney power plant. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 297, No. 1, p. 012057). IOP Publishing.
- Hoseini, H., Mehdipour, R., 2018, Evaluation of solar-chimney power plants with multiple-angle collectors, *Journal of Computational and Applied Research in Mechanical Engineering*, 8 (1), art. no. 8, pp. 85-96.
- Jackson, T., ve Lofstedt, R., 1998, *Renewable energy sources. Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Guildford, UK.*
- Jemli, M. R., Naili, N., Farhat, A., ve Guizani, A. (2017). Experimental investigation of solar tower with chimney effect installed in CRTEn, Tunisia. *international journal of hydrogen energy*, 42(13), 8650-8660.
- Kalogirou, S. A., 2004, Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3), 231-295.
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ., 2017, Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Analiz, Sayı: 197.
- Kasaeian, A. B., Heidari, E., ve Vatan, S. N., 2011, Experimental investigation of climatic effects on the efficiency of a solar chimney pilot power plant. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 15(9), 5202-5206.
- Kasaeian, A., Mahmoudi, A. R., Astaraei, F. R., ve Hejab, A., 2017, 3D simulation of solar chimney power plant considering turbine blades. *Energy Conversion and Management*, 147, 55-65.
- Kearney, DW. ve Price, HW., 1992, Solar thermal plants-LUZ concept (current status of the SEGS plants). *Proceedings of the Second Renewable Energy Congress*, Reading UK, vol. 2. p. 582–8.
- Khandelwal, M., ve Singh, T.N., 2006, Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: a neural network approach. *J sound vib*, 289.(4–5):711–25.

- Khashan, M.K., Tilefih, R.J., Al-Khateeb, A., 2018, The effect of upper tank surface property on solar chimney power plant performance International Journal of Engineering Research and Technology, 11 (3), pp. 383-402.
- Kiwan, S., ve Salam, Q. I. A., 2018, Solar chimney power-water distillation plant (SCPWDP). *Desalination*, 445, 105-114.
- Koonsrisuk, A., 2012, Mathematical modeling of sloped solar chimney power plants. *Energy*, 47(1), 582-589.
- Koyun, A., 2006, Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi).
- Larbi, S., Bouhdjar, A., ve Chergui, T. (2010). Performance analysis of a solar chimney power plant in the southwestern region of Algeria. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 14(1), 470-477.
- Launder, B. E., ve Spalding, D. B., 1972, *Mathematical models of turbulence* (No. BOOK). Academic press.
- Launder, B.E., Reece, G.J., Rodi, W., 1975, Progress in the Development of a Reynolds-Stress Turbulence Closure, *J. Fluid Mech.* 68, 537–566.
- Launder, B.E., 1989, Second-Moment Closure:Present and Future?”, *Int. J. Heat and Fluid Flow* 10, 282–300.
- Levenberg, K., 1944, A method for the solution of certain non-linear problems in least squares, *Quarterly of applied mathematics*, 2: 164–168.
- Maghrebi, M. J., Masoudi Nejad, R., ve Masoudi, S., 2017, Performance analysis of sloped solar chimney power plants in the southwestern region of Iran. *International Journal of Ambient Energy*, 38(6), 542-549.
- Maia, C. B., Silva, J. C., Cabezas-Gómez, L., Hanriot, S. M., ve Ferreira, A. G., 2013, Energy and exergy analysis of the airflow inside a solar chimney. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 27, 350-361.
- Martí, J., ve Heras-Celemin, M. R., 2007, Dynamic physical model for a solar chimney. *Solar Energy*, 81(5), 614-622.
- Marquardt, D., 1963, An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters, *SIAM journal on applied mathematics*, 11 (2): 431–441.
- Mathworks, 2017, Matlab Documentations.
- Mazen, R., Radwan, M., ve Abdel-Samiea, M., 2013, Solar updraft chimney systems in high rise buildings. In *2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)* (pp. 724-727). IEEE.

- Mehrpooya, M., Shahsavan, M., ve Sharifzadeh, M. M. M., 2016, Modeling, energy and exergy analysis of solar chimney power plant-Tehran climate data case study. *Energy*, 115, 257-273.
- Mekhail, T., Rekaby, A., Fathy, M., Bassily, M., ve Harte, R. (2017). Experimental and theoretical performance of mini solar chimney power plant. *Journal of Clean Energy Technologies*, 5(4), 294-298.
- Mert İ., 2018, Hatay Bölgesi Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Olasılık Dağılımları ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi (Doktora Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Midilli, Y.E., 2018, Yapay Sinir Ağları Parametrelerinin Optimizasyontjnda Deney Tasarımının Kullanılması: Tütün Endüstrisi Örneği (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ming, T. (Ed.), 2016, *Solar chimney power plant generating technology*. Academic Press.
- Montelpare, S., D'Alessandro, V., Zoppi, A., ve Costanzo, E., 2017, A Solar Chimney for renewable energy production: thermo-fluid dynamic optimization by CFD analyses. In *Journal of Physics Conference Series* (Vol. 923, No. 1).
- Najmi, M., Nazari, A., Mansouri, H., ve Zahedi, G., 2012, Feasibility study on optimization of a typical solar chimney power plant. *Heat and Mass Transfer*, 48(3), 475-485.
- Najm, O. A., ve Shaaban, S., 2018, Numerical investigation and optimization of the solar chimney collector performance and power density. *Energy conversion and management*, 168, 150-161.
- Nizetic, S., Ninic, N., ve Klarin, B., 2008, Analysis and feasibility of implementing solar chimney power plants in the Mediterranean region. *Energy*, 33(11), 1680-1690.
- Okoye, C. O., Solyalı, O., ve Taylan, O., 2016, A new economic feasibility approach for solar chimney power plant design. *Energy conversion and management*, 126, 1013-1027.
- Okoye, C. O., ve Taylan, O. (2017). Performance analysis of a solar chimney power plant for rural areas in Nigeria. *Renewable Energy*, 104, 96-108.
- Öztemel, E., 2003, *Yapay Sinir Ağları*, İstanbul: Papatya Yayıncılık, 29-52
- Öztemel, E., ve Düğenci, M., 2016, *Atıksu arıtma tesis kontrolde yapay sinir ağı ile kirlilik parametre tahmini*. 3rd International Symposium on Environment and Morality, İstanbul.
- Özyurt M.C., 2018, Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Yapay Sinir Ağları Ve Oyun Teorisinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Padki, M. M., ve Sherif, S. A., 1988, Fluid dynamics of solar chimneys. In *Forum on industrial applications of fluid mechanics*(Vol. 70, pp. 43-46). ASME New York.
- Padki, M. M., ve Sherif, S. A., 1999, On a simple analytical model for solar chimneys. *International Journal of Energy Research*, 23(4), 345-349.
- Pastohr, H., Kornadt, O., ve Gürlebeck, K., 2004, Numerical and analytical calculations of the temperature and flow field in the upwind power plant. *International Journal of Energy Research*, 28(6), 495-510.
- Pasumarthi, N., ve Sherif, S. A., 1998, Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model—Part I: mathematical model development. *International Journal of Energy Research*, 22(3), 277-288.
- Poinsot, T. ve Veynante, D., 2005, Theoretical and Numerical Combustion, *R.T. Edwards, Inc.*, Toulouse.
- Pretorius, J. P., 2007, *Optimization and control of a large-scale solar chimney power plant* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: University of Stellenbosch).
- Pretorius, J. P., ve Kröger, D. G., 2008, Thermoeconomic optimization of a solar chimney power plant. *Journal of Solar Energy Engineering*, 130(2), 021015.
- Rabehi, R., Chaker, A., Ming, T., ve Gong, T., 2018, Numerical simulation of solar chimney power plant adopting the fan model. *Renewable energy*, 126, 1093-1101.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., McClelland, J.L., 1986, Learning internal representations by error propagation, *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition*, vol. 1 Pages 318-362.
- Sagaut, P. ve Germano, M., 2004, Large Eddy Simulation for Incompressible Flows, *Springer*, Berlin.
- Sarıkaya B., 2018, Sürücü Benzetim Sistemi İle Sürücülerden Elde Edilen Eeg Sinyallerinden Acil Fren Durumunun Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi (Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Semai, H., Bouhdjar, A., ve Larbi, S., 2017, Canopy slope effect on the performance of the solar chimney power plant. *International journal of green energy*, 14(3), 229-238.
- Serag-Eldin, M. A., 2006, Analysis of a new solar chimney plant design for mountainous regions. *Advanced Computational Methods in Heat Transfer IX*, B. Sunden, and CA Brebbia, eds., *Computational Mechanics Publications Ltd, Southampton*, 437-446.
- Schlaich, J., 1999, Tension structures for solar electricity generation. *Eng Struct* 21:658–68.

- Schlaich, J., 1995, The solar chimney: electricity from the sun. Edition Axel Menges.
- Schlaich, J., Bergermann, R., Schiel, W., ve Weinrebe, G., 2003, Design of commercial solar tower systems: Utilization of solar induced convective flows for power generation. In *ASME 2003 International Solar Energy Conference* (pp. 573-581). American Society of Mechanical Engineers.
- Shariatzadeh, O. J., Refahi, A. H., Abolhassani, S. S., ve Rahmani, M., 2015, Modeling and optimization of a novel solar chimney cogeneration power plant combined with solid oxide electrolysis/fuel cell. *Energy conversion and management*, 105, 423-432.
- Sönmez A., 2017, Alüminyum Esaslı B4c Takviyeli Kompozit Malzemenin Aşınma Davranışlarının Araştırılması ve Deneysel Sonuçlarının Yapay Sinir Ağlarında Modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tingzhen, M., Wei, L., Guoling, X., Yanbin, X., Xuhu, G., ve Yuan, P., 2008, Numerical simulation of the solar chimney power plant systems coupled with turbine. *Renewable energy*, 33(5), 897-905.
- Toghraie, D., Karami, A., Afrand, M., ve Karimipour, A., 2018, Effects of geometric parameters on the performance of solar chimney power plants. *Energy*, 162, 1052-1061.
- Tosun, M., 2004, İnhalasyon aneztezsinde sevofluran oranının neuro- fuzzy sistem ile kontrolü. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Üçgöl, İ., ve Koyun, A. (2010). Güneş Bacası Tasarım Parametreleri ve Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 255-264.
- Versteeg, H.K., and Malalasekera, W., 1995, Computational Fluid Dynamics, London.
- Von Backström, T.W. and Gannon, A.J., 2004, Solar chimney turbine characteristics. *Solar Energy*, 76:235–41.
- Von Backström, T. W., Harte, R., Höffer, R., Krätzig, W. B., Kröger, D. G., Niemann, H. J., ve Van Zijl, G. P. A. G., 2008, State and recent advances in research and design of solar chimney power plant technology. *VGB powertech*, 88(7), 64-71.
- Von Allwörden, H., Gasser, I., ve Kamboh, M. J., 2018, Modeling, simulation and optimization of general solar updraft towers. *Applied mathematical modelling*, 64, 265-284.
- Von Backström, T. W., ve Gannon, A. J., 2000, Compressible flow through solar power plant chimneys. *Transactions-American Society Of Mechanical Engineers Journal Of Solar Energy Engineering*, 122(3), 138-145.

- Wei, Y. L., ve Wu, Z. K., 2013, Shed absorbability and tower structure characteristics of the solar heated wind updraft tower power [J]. *Journal of Inner Mongolia University of Science and Technology*, 1.
- White, F. M., 2011, *Fluid Mechanics*, 7th ed. New York: McGraw-Hill. Gannon, T.W., von Backstrom, Anthony, J., 2004, *Solar Energy* 76, 235-241.
- Wilcox, D. C. (1998). *Turbulence modeling for CFD* (Vol. 2, pp. 103-217). La Canada, CA: DCW industries.
- Yakhot, V and Orszag, S.A., 1986, Renormalization Group Analysis of Turbulence: I. Basic Theory, *Journal of Scientific Computing*, 1(1):1-51.
- Yu, H. ve Wilamowski, B., 2011, Levenberg–Marquardt Training. 1-16. 10.1201/b10604-15
- Zhou, X., Xu, Y., ve Zhang, F., 2017, Evaluation of effect of diurnal ambient temperature range on solar chimney power plant performance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 398-405.
- Zhou, X., Wang, F., ve Ochieng, R. M., 2010, A review of solar chimney power technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2315-2338.
- Zhou, X., Yang, J., Xiao, B., ve Hou, G., 2007, Experimental study of temperature field in a solar chimney power setup. *Applied Thermal Engineering*, 27(11-12), 2044-2050.
- Zhou, X., Yang, J., Xiao, B., ve Hou, G., 2007, Simulation of a pilot solar chimney thermal power generating equipment. *Renewable Energy*, 32(10), 1637-1644.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali Serkan AVCI
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır / 09.10.1989
e-mail : aliserkan.avci@batman.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ziya Gökalp Lisesi, Diyarbakır	2006
Üniversite	: Dicle Üniversitesi, Diyarbakır	2010
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Batman	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Artem Doğalgaz Mühendislik	Makine Mühendisi
2012-	Batman Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Termodinamik, Enerji

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

S. C. I. , S. S. C. I. , A. H. C. I. İndeksli Yayınlar

Yurt Dışı

Kallioğlu Mehmet Ali, Ercan Umut, Avcı Ali Serkan, Fidan Cihad, Karakaya Hakan (2020). Empirical modeling between degree days and optimum insulation thickness for external wall. Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects, 42(11), 1314-1334., Doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1651797> (Yayın No: 6113318)

Argunhan Zeki, Avcı Ali Serkan (2018). Statistical Evaluation of Indoor Air Quality Parameters in Classrooms of a University. Advances in Meteorology, 2018, 1-10., Doi: 10.1155/2018/4391579 (Yayın No: 4777492)

Doktora Tez Çalışmasından Yayımlanan Makale

Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan, Durmuş Aydın (2020). Numerical and Experimental Investigation of Solar Chimney Power Plant System Performance. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1744772> (Yayın No: 6172595)

Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Kallioğlu Mehmet Ali, Genç Ömer, Ercan Umut, Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan (2018). Creating the Optimum Panel Inclination Angles of the Southern Aegean Region. International Journal of Advances in Science, Engineering and Technology(IJASEAT), 6(2), 58-62., Doi: IJASEAT-IRAJ-DOI-12719 (Yayın No: 4348719)

Yurt İçi

Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan (2019). Calculating Energy-Induced Carbon Footprint: Batman University Case. European Journal of Technique, 9(1), 114-120. (Kontrol No: 5827879)

Karakaya Hakan, Avcı Ali Serkan, Ercan Umut, Kallioğlu Mehmet Ali (2019). Şanlıurfa ilinde yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımının modellenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10(1), 147-155. (Kontrol No: 5827797)

Kallioğlu M.Ali, Ercan Umut, Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan, Durmuş Ayla “Adıyaman İlinde Yatay Düzleme Gelen Global Güneş Işınım Değerlerinin Ampirik Modeller ile Geliştirilmesi” 29(1), 151-159, 2017, Fırat üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Durmuş A. Ercan. U., Avcı A.S., Kallioğlu M.A, Karakaya H., “Batman İli Enerji Profilinin Araştırılması” Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi.

Kongre-Sempozyum

Yurt Dışı

Kallioğlu M.A, Avcı, A. S., Ercan. U., Karakaya H. ve Durmuş A., "Isıtma Ve Soğutma Sürecinde Optimum Yalıtım Kalınlığının Ekonomik Ve Çevresel Analizi" 2nd International Science Symposium 2017 4-9 September, Tbilisi-Georgia

Avcı Ali Serkan, Kallioğlu Mehmet Ali, Ercan Umut, Karakaya HAKAN (2019). Güneş Bacası Sistemlerinin Farklı Tasarımlarda Sayısal Olarak Modellenmesi. 1.Uluslararası Harran Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, 25 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5828628)

Kallioğlu Mehmet Ali, Avcı Ali Serkan, Ercan Umut, Karakaya Hakan (2019). İklim Değişikliğinin Meteorolojik Veriler Üzerine Etkisi: Gaziantep İli Örneği. 6. Uluslararası Matematik, Mühendislik Ve Fen Ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 155 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5829183)

Karakaya Hakan, Avcı Ali Serkan, Kallioğlu Mehmet Ali, Ercan Umut, Durmuş Aydın (2018). Examination Of Energy Capacities Of Hydroelectric Power Plants İn Batman. 1st International Engineering And Technology Symposium (1st IETS), 60 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6155784)

Avcı Ali Serkan, Ercan Umut, Kallioğlu Mehmet Ali, Karakaya Hakan (2018). Investigation Of The Usability Of Wind Energy Potential İn Batman. 1st International Engineering And Technology Symposium (1st IETS), 80 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6155763)

Kallioğlu Mehmet Ali, Genç Ömer, Ercan Umut, Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan (2018). Creating The Optimum Panel Inclination Angles Of The Southern Aegean Region. 160th The IIER International Conference, 24-28. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4694972)

Kallioğlu Mehmet Ali, Karakaya Hakan, Avcı Ali Serkan (2015). Analysis Of Sunshine Hours And Global Solar Radiation For Mardin Of Turkey. 3rd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering and Science (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:2919927)

Yurt İçi

Kallioğlu Mehmet Ali, Avcı Ali Serkan, Ercan Umut, Karakaya Hakan, Durmuş Aydın (2015). Angstrom-Tip Güneş Isınım Tahmin Modellerinin Balıkesir İçin Gelistirilmesi. ULIBTK'15 20. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:2920059)

Ercan Umut, Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan, Durmuş Aydın (2013). Yerli Kömür Ve Atıklardan Yeni Nesil Alternatif Enerji Geri Kazanımı Ve Kullanım Olanakları. 19. Ulusal Isı Bilim Ve Tekniği Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1305934)

Gülçimen Fevzi, Durmuş Aydın, Karakaya Hakan, Avcı Ali Serkan (2013). Akım Ortamına Kanatçıklar Yerleştirilen Havalı Kollektörlerde Verim Ve Ekserji Analizi. 19. Ulusal Isı Bilim Ve Tekniği Kongresi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1305903)

Kallioğlu Mehmet Ali, Ercan Umut, Avcı Ali Serkan (2016). Determination Of Optimal Insulation Thickness In Cooling For Diyarbakır City. International Engineering, Science And Education Conference(INESEC 2016), 691-691. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:2920085)

Avcı Ali Serkan, Kallioğlu Mehmet Ali, Ercan Umut (2016). Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin İncelenmesi. International Engineering, Science And Education Conference(INESEC 2016), 693-693. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:2920080)

Ercan Umut, Avcı Ali Serkan, Kallioğlu Mehmet Ali (2016). Batman İlinde Isıtma Sezonunda Kullanılan Farklı Yakıt Türlerinin Emisyon Değerlerinin Araştırılması. International Engineering, Science And Education Conference(INESEC 2016), 694-694. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:2920070)

Ercan Umut, Kallioglu Mehmet Ali, Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan, Düz Hasan (2016). Investigation Of Combustion Efficiency In Flue Gases: Batman City Example. 8th International Ege Energy Symposium, 718-724. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3122234)

Avcı Ali Serkan, Argunhan Zeki (2016). İç Hava Kalitesinin Batman Üniversitesi Merkez Ve Batı Raman Kampüsü Dersliklerinde İncelenmesi. International Conference On Natural Science And Engineering (ICNASE'16), 1179-1188. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:2919980)

Kallioglu Mehmet Ali, Ercan Umut, Avcı Ali Serkan, Karakaya Hakan (2016). Estimating Kilis Regions Solar Radiation By Location Based Statistical Models. International Conference On Natural Science And Engineering (ICNASE'16), 3209-3216. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:2920020)

Kallioglu M.Ali, Ercan U., Avcı A.S., Genç Ö. ve Karakaya H."Environmental Impact Of Optimum Insulation Thickness For Kayseri Province Case" International Ecology Symposium 11-13 May 2017 Kayseri-Turkey

Avcı A.S. Ercan. U., Kallioglu M.A, Kıstak C., “Examination Of Renewable Energy Sources İn Batman” International Conference On Multidisciplinary, Engineering, Science, Education And Technology (IMESET'17 Bitlis) Hosted By Bitlis Eren University October 27-29, 2017, Bitlis, Turkey

Avcı A.S. Kallioglu M.A, Ercan. U., Karakaya H., Kıstak C., “The Effects And Causes Of Air Pollution İn Batman” International Conference On Multidisciplinary, Engineering, Science, Education And Technology (IMESET'17 Bitlis) Hosted By Bitlis Eren University October 27-29, 2017, Bitlis, Turkey

Yüksek Lisans Tezi

Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi/Makine Mühendisliği Bölümü/Termodinamik Anabilim Dalı Tez Adı: Batman Üniversitesi Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin Araştırılması (2014)