BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE BUHAR ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Koray VATANSEVER

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

EKİM 2020

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE BUHAR ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Koray VATANSEVER
(171083501)
ORCID: 0000-0001-6001-5739

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf Ali KARA
ORCID: 0000-0001-5598-7293

EKİM 2020

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171083501 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Koray VATANSEVER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE BUHAR ÜRETİMİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Yusuf Ali KARA** Bursa Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU** Bursa Uludağ Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Ü. Tayfun TANBAY Bursa Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 01 Ekim 2020
Savunma Tarihi : 27 Ekim 2020

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Koray VATANSEVER

İmzası :

Daha güzel bir dünyaya,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda yıllar boyunca edindiği değerli bilgiler ile beni yönlendiren, her daim desteğini sürdüren saygı değer danışmanım Sayın Prof. Dr. Yusuf Ali KARA'ya ve beni her zaman destekleyen aileme teşekkür ederim.

Eylül 2020 Koray VATANSEVER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
KISALTMALAR ..... **vii**
SEMBOLLER ..... **viii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 4
1.2 Literatür Araştırması 5
2. MATERYEL METOT **9**
2.1 TRNSYS Enerji Simülasyon Programı 9
2.2 TRNSYS Simülasyonu 9
2.3 TRNSYS Simülasyonunda Kullanılan Elemanlar 10
2.3.1 Hava durumu veri işlemcisi 10
2.3.2 HTF pompası 11
2.3.3 Parabolik oluklu güneş kollektörü 12
2.3.4 Buhar üreteci 15
2.3.5 Kondens pompası 16
2.3.6 Buhar kazanı 17
2.3.7 Kontrollü akış ayırıcı 18
2.3.8 Zaman fonksiyonu 19
2.3.9 Denklemler 19
2.3.10 Grafik çizici 20
2.4 Simülasyon İçin Tasarlanan Akış Diagramı Ve Bileşen Parametreleri 20
2.4.1 Akış diagramı 20
2.4.2 Bileşen parametre ve input değerleri 22
3. BULGULAR **25**
3.1 Simülasyon Çıktıları 25
3.2 Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü Verimliliği 32
3.3 Güneş Enerjisinden Faydalanma Oranı 34
3.4 Güneş Enerjisinden Faydalanma Oranının Açıklık Alanı İle Değişimi 35
4. SONUÇLAR **37**
KAYNAKLAR **39**
ÖZGEÇMİŞ **41**

KISALTMALAR

CSP **:** Concentrating Solar Power
CWEC **:** Canadian Weather for Energy Calculations
DC **:** Direct Current
HTF **:** Heat Transfer Fluid
HVAC **:** Heating, Ventilating and Air Conditioning
IAM **:** Incidence Angle Modifier
IWEC **:** EnergyPlus Weather, International Weather for Energy Calculations
LMTD **:** Logarithmic Mean Temperature Difference
OECD **:** Organisation for Economic Co-operation and Development
PTC **:** Parabolic Through Collector
PV **:** Photovoltaic
TESS **:** Thermal Energy System Specialists
TMY **:** Typical Meteorological Year
TMY2 **:** Typical Meteorological Year Version 2
TMY3 **:** Typical Meteorological Year Version 3
TRNSYS **:** Transient System Simulation Tool

SEMBOLLER

A	**:** Kollektör açıklık alanı
C	**:** Kollektör kapasitansı
N	**:** Fonksiyon tanımlama adımı
n	**:** Kollektördeki izotermal sıcaklık düğüm sayısı
Q	**:** Toplam ısı transferi
t	**:** Zaman
U	**:** Toplam ısı transferi katsayısı
α	**:** Emici yüzeyin kısa dalga emilimi
β	**:** Kollektör eğimi
γ	**:** Kontrol sinyali
θ	**:** Işın radyasyonu için geliş açısı
τ	**:** Kollektör kapaklarının kısa dalga geçirgenliği
YDF	**:** Yük dağılım fonksiyonu
A_i	**:** Toplam iç yüzey alanı
A_o	**:** Toplam dış yüzey alanı
A_{po}	**:** Birinci derece dış yüzey alanı
C_T	**:** Zaman döngüsü
C_p	**:** Akışkan özısısı
E_f	**:** Fin verimliliği
F'	**:** Kollektör fin verimlilik faktörü
F_O	**:** Çıkış sıcaklığına dayalı kollektör ısı giderme faktörü
F_R	**:** Giriş sıcaklığına dayalı kollektör ısı giderme faktörü
F_{av}	**:** Ortalama sıcaklığa dayalı kollektör ısı giderme faktörü
HHV_{fuel}	**:** Yakıt ısıtma değeri
I_T	**:** Kollektör toplam radyasyon
I_{bT}	**:** Kollektörü ışın radyasyonu
I_{dgT}	**:** Kollektör için zeminden yansıyan yayılmış radyasyon
I_{dsT}	**:** Kollektör gökyüzü difüz radyasyonu
L_a	**:** Aylık toplam ısı yükü
L_y	**:** Yıllık toplam ısı yükü

N_s : Seri bağlı kollektör sayısı

R_{fo} : Dış kirlenme direnci

T_a : Çevre sıcaklığı

T_{av} : Ortalama sıcaklık

$T_{fluid,in}$: Akışkan giriş sıcaklığı

$T_{fluid,out}$: Akışkan çıkış sıcaklığı

T_i : Giriş sıcaklığı

T_o : Çıkış sıcaklığı

T_{set} : İstenen sıcaklık

T_1 : 1 noktasındaki sıcaklık

T_2 : 2 noktasındaki sıcaklık

U_L : Kollektör birim alanı termal kayıp katsayısı

$\bar{V}$: Zorlama fonksiyonu ortalama değeri

V_i : Zorlama foksiyonu i noktası değeri

V_o : Zorlama fonksiyonu başlangıç değeri

$\dot{W}$: İşe yarar güç

YDF_i : Yük dağılım fonksiyonun i noktası değeri

b_o : IAM 1. derece katsayısı

b_1 : IAM 2. derece katsayısı

$f_{motorloss}$: Motoru verimsizliği

f_a : Aylık faydalanma oranı

$f_{a,i}$: Aylık faydalanma oranı i noktası değeri

f_y : Yıllık faydalanma oranı

$h_{feedwater}$: Besi suyu entalpisi

h_{in} : Giriş entalpisi

h_{out} : Çıkış entalpisi

h_{steam} : Buhar entalpisi

k_w : Ortalam tüp duvarı ısıl iletkeliği

p_{in} : Giriş basıncı

p_{out} : Çıkış basıncı

t_i : Zorlama foksiyonunun i noktasına ulaştığı zaman

t_o : Zorlama fonksiyonu başlangıç zamanı

t_w : Tüp duvar kalınlığı

η_{boiler} : Buhar kazanı verimliliği

$\boldsymbol{\eta_{motor}}$: Pompa motoru verimilliği

$\boldsymbol{\eta_{overall}}$: Toplam verimliliği

$\boldsymbol{\eta_{pumping}}$: Pompalama işlemi verimliliği

$\boldsymbol{\rho_g}$: Zemin yansıması

$\boldsymbol{\omega_i}$: Giriş akış oranı

$\boldsymbol{\omega_o}$: Çıkış akış oranı

$\boldsymbol{\omega_1}$: 1 noktasındaki akış oranı

$\boldsymbol{\omega_2}$: 2 noktasındaki akış oranı

$\Delta \mathbf{t}$: Zaman adımı

$\boldsymbol{\dot{m}_c}$: Akışkan çıkış kütlesel debisi

$\boldsymbol{\dot{m}_{fluid}}$: Akışkan kütlesel debisi

$\boldsymbol{\dot{m}_{fuel}}$: Yakıt kütlesel debisi

$\boldsymbol{\dot{m}_{in}}$: Akışkan giriş kütlesel debisi

$\boldsymbol{\dot{m}_{steam}}$: Buhar kütlesel debisi

$\boldsymbol{\dot{m}_1}$: Akışkanın 1 noktasındaki kütlesel debisi

$\boldsymbol{\dot{m}_2}$: Akışkanın 2 noktasındaki kütlesel debisi

$\boldsymbol{\dot{P}_{rated}}$: Anlık güç

$\boldsymbol{\dot{P}_{shaft}}$: Pompa işlemi için gerekli şaft gücü

$\boldsymbol{\dot{Q}_{ambient}}$: Çevreye aktarılan enerji

$\boldsymbol{\dot{Q}_{fluid}}$: Akışkana aktarılan enerji

$\boldsymbol{(\tau\alpha)}$: Geçiricilik ve soğurma

$\boldsymbol{(\tau\alpha)_b}$: Işın radyasyonu için geçiricilik ve soğurma

$\boldsymbol{(\tau\alpha)_{dig}}$: Zeminden yansıyan yayılmış radyasyon için geçiricilik ve soğurma

$\boldsymbol{(\tau\alpha)_{ds}}$: Gökyüzü difüz radyasyonu için geçiricilik ve soğurma

$\boldsymbol{(\tau\alpha)_n}$: Geliş açısı için geçiricilik ve soğurma

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Hava durumu veri işlemcisi parametre ve input değerleri **22**
Çizelge 2.2 : HTF pompası parametre ve input değerleri..... **22**
Çizelge 2.3 : Parabolik oluklu güneş kollektörü parametre ve input değerleri **23**
Çizelge 2.4 : Buhar jeneratörü parametre ve input değerleri..... **23**
Çizelge 2.5 : Kondens pompası parametre ve input değerleri..... **24**
Çizelge 2.6 : Buhar kazanı parametre ve input değerleri..... **24**
Çizelge 3.1 : Parabolik oluklu güneş kollektörü verimliliği..... **33**
Çizelge 3.2 : Güneş enerjisinden faydalanma oranı **35**
Çizelge 3.3 : Güneş enerjisinden faydalanma oranının açıklık alanı ile değişimi..... **36**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünya enerji üretiminde kullanılan kaynaklar ve kullanım miktarları [4]. **2**
Şekil 1.2 : Dünya güneş enerjisi santrali kurulu gücü [3]..... **3**
Şekil 1.3 : Türkiye güneş enerjisi santrali kurulu gücü [3]..... **4**
Şekil 2.1 : TRNSYS simülasyon ekranı **9**
Şekil 2.2 : Hava durumu veri işlemcisi [19] **10**
Şekil 2.3 : HTF pompası [19] **11**
Şekil 2.4 : Parabolik oluklu güneş kollektörü [19] **12**
Şekil 2.5 : Buhar üreteci [19]..... **15**
Şekil 2.6 : Kondens pompası [19] **16**
Şekil 2.7 : Buhar kazanı [19] **17**
Şekil 2.8 : Kontrollü akış ayırıcı [19] **18**
Şekil 2.9 : Kontrollü Akış Ayırıcı Akış Diagramı [20] **18**
Şekil 2.10 : Zaman fonksiyonu [19] **19**
Şekil 2.11 : Denklemler [19] **19**
Şekil 2.12 : Grafik çizici [19] **20**
Şekil 2.13 : TRNSYS simülasyonu için tasarlanan akış diagramı **21**
Şekil 3.1 : Ocak ayı simülasyon sonuç ekranı **25**
Şekil 3.2 : Şubat ayı simülasyon sonuç ekranı **26**
Şekil 3.3 : Mart ayı simülasyon sonuç ekranı..... **26**
Şekil 3.4 : Nisan ayı simülasyon sonuç ekranı **27**
Şekil 3.5 : Mayıs ayı simülasyon sonuç ekranı..... **28**
Şekil 3.6 : Haziran ayı simülasyon sonuç ekranı..... **28**
Şekil 3.7 : Temmuz ayı simülasyon sonuç ekranı **29**
Şekil 3.8 : Ağustos ayı simülasyon sonuç ekranı **29**
Şekil 3.9 : Eylül ayı simülasyon sonuç ekranı..... **30**
Şekil 3.10 : Ekim ayı simülasyon sonuç ekranı..... **31**
Şekil 3.11 : Kasım ayı simülasyon sonuç ekranı **31**
Şekil 3.12 : Aralık ayı simülasyon sonuç ekranı **32**
Şekil 3.13 : Parabolik oluklu güneş kollektörü verimliliği..... **33**
Şekil 3.14 : Güneş enerjisinden faydalanma oranı **34**
Şekil 3.15 : Güneş enerjisinden faydalanma oranının açıklık alanı ile değişimi..... **36**

PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE BUHAR ÜRETİMİ

ÖZET

Buhar, endüstriyel uygulamalarda vazgeçilmez bir unsurdur. Buhar elde edilirken kullanılan fosil yakıtların maliyeti ve çevresel etkileri her geçen gün artmaktadır. Artan fosil yakıt maliyetleri ve yenilenen çevresel düzenlemeler, endüstriyel alanda kullanılan buharın elde edilmesinde yeni yaklaşımların önünü açmaktadır. Gerçekleşen teknolojik yenilikler ile buharın elde edilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada Bursa, Türkiye konumunda bulunan bir sanayi işletmesinin, buhar ihtiyacının parabolik oluklu güneş kollektöründen elde edilmesi için sistem tasarımı yapılmış ve tasarlanan sistemin simülasyonu TRNSYS programında gerçekleştirilmiştir. Sistem simülasyonu yapılırken, 08:00 – 18:00 saatleri arası çalışma saatleri kabul edilmiş olup, bu saatler arasında işletmeye gereken 6 bar- 165°C sıcaklıkta buhar 150 kg/s kapasitede sürekli olarak sağlanmıştır. Simülasyon çıktısı olarak her aya ait parabolik oluklu güneş kollektörü verimleri, güneş enerjisinden faydalanma oranları, açıklık alanının faydalanma oranı üzerindeki etkisi ve aylık olarak üretilen buhar miktarları hesaplanmıştır. Simülasyon sonucunda; 50 m^2 açıklık alanına, 23,17 odaklama oranına sahip parabolik oluklu güneş kollektörünün verimi temmuz ve ağustos aylarında %54 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Buhar üretiminde, güneş enerjisinden faydalanma oranı ise temmuz ayında %65 ile maksimum değerine ulaşmıştır. Güneş enerjisinden faydalanma oranı yıllık %37 olarak bulunmuştur. Simülasyon sonucunda yıllık üretilen buhar miktarı 490.600 kg, direkt olarak güneş enerjisinden üretilen buhar miktarı ise 97.800 kg olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü, TRNSYS, Buhar Üretimi, PTC

STEAM GENERATION WITH
PARABOLIC THROUGH SOLAR COLLECTOR

SUMMARY

Steam is an indispensable element in industrial applications. The cost and environmental effects of fossil fuels used for steam generation are increasing day by day. Increasing fossil fuel costs and renewed environmental regulations pave the way for new approaches in generating steam used in the industry. With the technological innovations realized, the use of renewable energy sources is becoming widespread for generating steam. In this study, a system was designed to generate the steam requirements of an industrial enterprise from a parabolic through solar collector which located in Bursa,Turkey. TRNSYS Energy Simulation program used for simulation of designed system. While simulating the system, working hours between 08:00 AM-06:00 PM were accepted, and the required steam at a 6 bar-165 °C was provided continuously at a capacity of 150 kg/hr between these hours. Parabolic through solar collector efficiencies, solar fraction, effects of changing aparture area on solar fraction and monthly steam generation were calculated as simulation output. As a result of the simulation; the efficiency of the parabolic through solar collector with; 50 m^2 aperture area and 23.17 concentration ratio, reached its maximum value 54% in july and august. The montly solar fraction ratio in steam generation reached its maximum value %65 in july. Annual solar fraction is obtained as %37. As a result of the simulation, the annual amount of steam generation obtained 490,600 kg and the amount of steam generation directly from solar energy obtained 97,800 kg.

Keywords: Parabolic Through Solar Collector, TRNSYS, Steam Generation, PTC

1. GİRİŞ

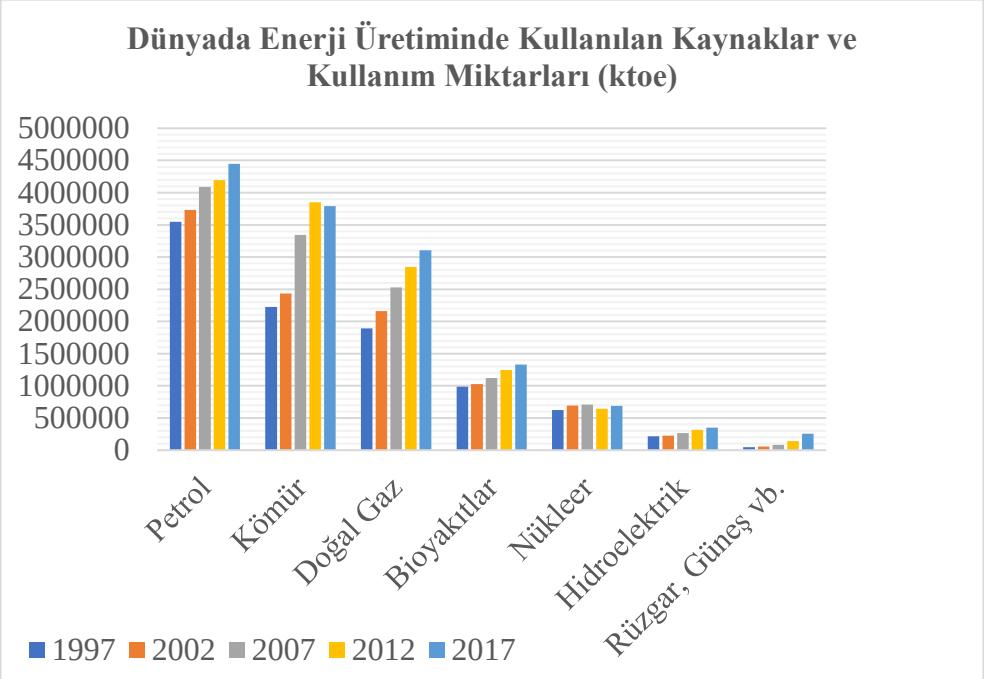
Enerji çok yönlü olarak ele alınabilecek bir kavramdır. Enerji, sosyal ve ekonomik yönden ele alındığında ülkelerin gelişimlerini ve dünya standartlarında ülke gelişmişliklerinin karşılaştırılmasında kullanılan bir kavramdır. Başta sanayi sektörü olmak üzere savunma, ulaşım, haberleşme gibi sektörlerde her geçen yıl büyük gelişmeler ve değişimler meydana gelmektedir. Bu gelişmeler ile dünya nüfusunun artması enerji ihtiyacının ortaya çıkmasında ve bu ihtiyacın her geçen yıl artmasında çok önemli bir rol oynamaktadır [1].

Yaşam standartlarının belirlenmesinden, yaşam konforuna kadar her alanda önemli bir yere sahip olan enerji, geçmiş yıllarda çoğunlukla fosil enerji kaynakları (kömür, doğal gaz, petrol vb.) kullanılarak üretilirken, günümüzde yenilenebilir ve dönüştürülebilir enerji kaynakları (rüzgâr, güneş, hidroelektrik vb.) kullanılarak da üretilmektedir [2].

Fosil enerji kaynakları ile enerji üretiminin çevreye verdiği zarar, küresel iklim değişikliğine olan etkisi ve kaynakların sınırlı olması enerji üretiminde alternatif olarak gelişen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında birçok avantajının olduğu görülebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları çevreyi daha az kirletmektedirler, sonlu değildirler ve en önemlisi ülkelerin enerji bağımsızlığını ve enerji güvenliğini oluşturabilmelerine olanak sağlamaktadırlar. Belirtilen bu avantajlar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımları ve enerji üretiminde kullanılan enerji kaynaklarına göre kullanım oranları her geçen gün yükselmektedir [3].

Şekil 1.1'de görüldüğü üzere dünyada enerji üretiminin yıllar içinde sürekli olarak artan bir biçimde ilerlediği görülmektedir. 1997 yılında dünyada enerji üretimi için 9.544.282 ktoe kaynak kullanılmışken 2017 yılına gelindiğinde kullanılan kaynak miktarı yaklaşık olarak %46 artış ile 13.970.636 ktoe seviyelerine gelmiştir. Kaynak kullanımlarının detayları incelendiğinde rüzgâr ve güneş enerjisinin çoğunluğunu oluşturduğu yenilenebilir enerjinin bu kaynaklar içindeki kullanımı 1997 yılında

45.860 ktoe ile %0,48 iken, 2017 yılına gelindiğinde tüm kaynaklar arasında kullanımı 256.830 ktoe ile %1,84 seviyesine yükselmiştir [4].



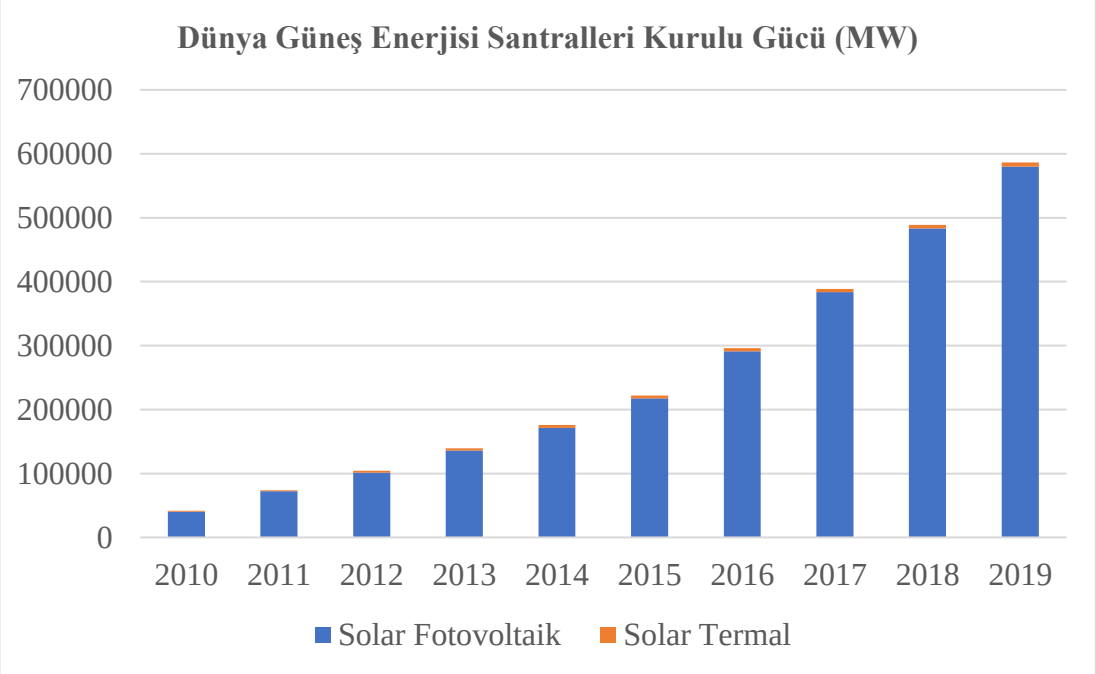
Şekil 1.1 : Dünya enerji üretiminde kullanılan kaynaklar ve kullanım miktarları [4].

Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve ekonomik olarak fiyatların geçmiş yıllara nazaran daha uygun seviyelere gelmesi ile önemli bir kullanım oranına sahip olmuştur. 2016 yılında dünya elektrik üretim verileri göz önüne alındığında, üretilen elektriğin %23,8'lik bölümünün yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan ve bu alanda yaygın bir kullanıma ulaşmış olan güneş enerjisi son yıllarda enerji üretimine yoğun bir katkı sağlamıştır. OECD ülkeleri göz önüne alındığında son yıllarda enerji ihtiyaçlarının %2,5'lik kısmını güneş enerjisinden elde ettiklerini görmekteyiz [5].

Güneş enerjisini kaynak olarak kullanarak, enerji üreten sistemleri iki bölüme ayırarak inceleyebiliriz. Bu sistemlerden ilki fotovoltaik (PV- photovoltaic) sistemlerdir. İkinci tip sistemler ise yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP- Concentrated Solar Power) sistemleridir. PV sistemlerinin temel çalışma prensibi p-n tip yarı iletken malzemelerin birleştirilmesi ile oluşturulmuş hücrelerin üzerlerine gelen güneş ışınlarının elektronlara devreyi tamamlatmasıyla DC elektrik akımını üretmesidir. CSP sistemlerinin çalışma prensibi ise yansıtıcı yüzeylerin üzerine düşen güneş ışınlarını yoğunlaştırarak bir akışkanı ısıtmasıyla başlar. Isınan akışkan sistem kurulum amacına

göre elektrik üretmek, sıcak kaynak elde etmek, buhar elde etmek gibi çeşitli yöntemler ile kullanılır. Dünyada bulunan güneş enerjisi sistemlerinin çoğunu PV sistemleri oluşturmaktadır. Bunun başlıca sebeplerinden bazıları; kurulum maliyetinin daha avantajlı olması ve kurulum, işletme, bakım prosedürlerinin daha kolay olmasıdır [6].

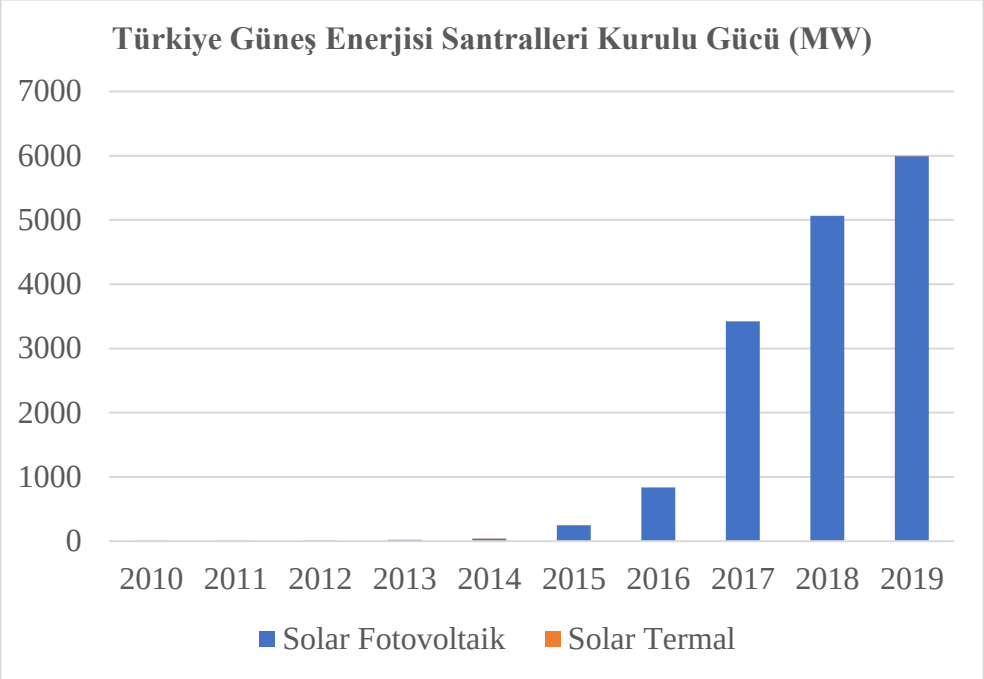
Ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini teşvik etmesiyle birlikte dünyada güneş enerjisi santrallerinin kurulumları son yıllarda büyük bir hız kazanmıştır. 2010 yılında dünyada bulunan fotovoltaik enerji santrallerinin kurulu gücü 40.277 MW olarak kaydedilmişken, solar termal enerji santrallerinin kurulu gücü 1.266 MW olarak kaydedilmiştir. Ülkelerin ve büyük şirketlerin yatırım politikaları sonucunda bu kurulu güç değerleri Şekil 1.2'de görüldüğü üzere 2019 yılında fotovoltaik enerji santrallerinde yaklaşık 15 kat artarak 580.159 MW, solar termal enerji santrallerinde yaklaşık 5 kat artarak 6.275 MW seviyelerine gelmiştir [3].



Şekil 1.2 : Dünya güneş enerjisi santrali kurulu gücü [3].

Türkiye'de güneş enerjisi sektörü son yıllarda büyük atılımlara imza atmıştır. 2010 yılından itibaren yapılan büyük yatırımlar ve karbon ayak izini düşürmeye yönelik devlet teşvikleri ve politikalarının sağladığı fayda ile güneş enerjisi santralleri son zamanlarda yoğun bir kurulum sürecine girmiştir. Şekil 1.3'te görüldüğü üzere 2010 yılında Türkiye sadece 6 MW kurulu güce sahip fotovoltaik enerji santrali bulunmakta iken 2019 yılına gelindiğinde kurulu güç seviyesi 5.995 MW seviyelerine gelmiştir.

Solar termal enerji santrallerinde ise 2019 yılı sonunda Türkiye'nin kurulu gücü 1 MW olarak kaydedilmiştir [3].



Şekil 1.3 : Türkiye güneş enerjisi santrali kurulu gücü [3].

Solar termal sistemler ile yoğunlaştırıcılı solar enerji santrallerinin önemli ölçüde kullanım alanlarını ısıya ihtiyaç duyan prosesler oluşturmaktadır. Kimya, tekstil, gıda, otomotiv, demir-çelik ve çimento sanayi alanları başta olmak üzere yaygın olarak kullanılan ve enerji üretiminin fazla olduğu sektörlerde ısıya ihtiyaç duyan prosesler enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sektörlerde ısıya ihtiyaç duyan proseslerin maliyet giderlerini azaltmak amacı ile solar termal sistemler tercih edilmeye başlanmıştır. 2015 yılında dünyada kurulan solar 'proses ısısı' kapasitesinin 100 MW olduğu görülmüştür [7].

1.1 Tezin Amacı

Türkiye enerji açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Son yıllarda yapılan yatırımlar ve devlet politikaları sayesinde enerjide dışa bağımlılık hem fosil kaynaklı hem de yenilenebilir enerji kaynaklı yatırımlar ile gün geçtikçe azaltılmaya çalışılmaktadır. Türkiye güneş enerjisi ve güneşten faydalanma oranı açısından çok verimli bir ülkedir. Buna rağmen güneş enerjisi ve güneşten faydalanma oranı etkin bir şekilde kullanılamamaktadır [8]. Güneş enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda büyük

yatırımlar ile desteklense de solar termal enerjinin kullanımı aynı oranda desteklenememiştir [3].

Bu tezin amacı özellikle, yoğun bir sanayiye sahip olan Bursa, Türkiye lokasyonunda sanayi işletmelerinin kullanabileceği buharı; solar termal enerji kullanarak, parabolik oluklu kollektörler vasıtası ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edebileceğini analiz etmektir.

Bu hedef doğrultusunda;

- Bursa ili için parabolik oluklu güneş kollektörü ile buhar eldesi sağlayacak bir sistem tasarlanmıştır.
- Tasarlanan sistem TRNSYS programı kullanılarak simüle edilmiştir.
- Tasarlanan sisteme ait çıktılar analiz edilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Kaygusuz, 2011 yılında yaptığı çalışmasında yoğunlaştırıcılı güneş enerjisi santrallerinin Türkiye'deki potansiyelini çeşitli parametreler ile değerlendirerek incelemiştir. Kaygusuz yoğunlaştırıcılı güneş enerjisi santralleri için gerekli olan alanı; alt yapı imkanlarını, arazilerin uygunluğunu ve maliyet unsurlarını göz önüne alarak kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan alanı değerlendirmiş ve bu alana kurulacak yoğunlaştırıcılı güneş enerjisi santrallerinin sadece %1'lik bir kısmının bile 60 MW'lık kurulu güce ulaşacağını öngörmüştür [8].

Muneer ve diğ. 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında, tekstil sektöründe kullanılması planlanan iki farklı sistemi analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonunda kapasiteleri farklı olan iki sistem için faydalanma oranlarını %60,2 ve %51,6 olarak elde etmişlerdir. Bu iki sistemin geri ödeme sürelerini 5,5 yıl olarak hesaplamışlardır [9].

Mohamed Chafie ve diğ. 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında Tunus ikliminde test etmek üzere bir deney düzeneği oluşturmuşlardır. Deney düzeneğinde 10,8 m² açıklık alanına sahip parabolik oluklu güneş kollektörü kullanılmıştır. Deney esnasında parametrelerin elde edilmesi için hem güneşli günler hem de bulutlu günler gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda parabolik oluklu güneş kollektörünün maksimum termal verimliliği %55,1 olarak bulunmuştur. Parabolik oluklu güneş

kollektörünün güneşli günlerde ortalama termal verimliliği %41,09, kullanılabilir ısı kazancı 252,59 W/m²; bulutlu günlerde ise termal verimliliği %28,91, kullanılabilir ısı kazancı 171,52 W/m² olarak gözlemlenmiştir [10].

Wanjun Qu ve diğ. 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında 300 kW kapasiteli hareketli güneş takip sistemine sahip parabolik oluklu güneş kollektörünü incelemişlerdir. Yapılan çalışmada sistemin hareketi ile azimut açısı, güneş geliş açısı ve kosinüs kayıpları arasındaki ilişki incelenmiştir. İncelemeler esnasında optik verimi arttırabilmek için kış aylarında döndürülebilir eksenli takip sistemi kullanılırken, yaz aylarında ise kuzey-güney eksenli takip sistemi kullanılmıştır. İncelemeler sonucunda ortalama günlük verimler yaz aylarında %63, kış aylarında ise %40 olarak bulunmuştur. Araştırmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kosinüs kayıpları döndürülebilir eksen ile kullanılan güneş takip sisteminde %10,3 daha az olmuştur [11].

Qu ve diğ. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarından deneysel amaçlı bir parabolik oluklu güneş kollektörü tasarlayıp, bu kollektörün imalatını gerçekleştirmişlerdir. Deneysel amaçlı imal edilen parabolik oluklu güneş kollektörü; 84^0 kenar açısına, 4,2 m uzunluğa ve 6,72 m² açıklık alanına sahiptir. Çalışmanın amacı imal edilen kollektörün termal verimliliğini hesaplamaktır. Çalışmada incelenen kollektörün verimini arttırmak için kuzey-güney eksenli güneş takip sistemi kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucu parabolik oluklu güneş kollektörünün verimi en yüksek %72 olarak bulunmuştur [12].

Kumar ve diğ. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında parabolik oluklu güneş kollektörlerinde kullanılan ısı transferi akışkanının farklı kütlesel debilerde termal verimlilik üzerinde olan etkisini araştırmışlardır. Deney düzeneğinde 1,33 m² açıklık alanına sahip parabolik oluklu güneş kollektörü ve ısı transferi sıvısı olarak su kullanılmıştır. Deney esnasında altı farklı kütlesel debi test edilmiştir. Deneyde kullanılan kütlesel debiler sırası ile; 0,001, 0,002, 0,005, 0,01, 0,02, ve 0,024 kg/s'dir. Yapılan deneyler sonucunda maksimum ısı transferi sıvısı çıkış sıcaklığı 54,7°C ve maksimum verim %53,33 olarak bulunmuştur [13].

Ghazzani ve diğ. 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında gıda endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletme için parabolik oluklu güneş kollektörü sisteminin simülasyonunu yapmışlardır. Simülasyonda kullanılan parabolik oluklu güneş kollektörleri 24 m

uzunluğa ve 28,8 m² açıklık alanına sahiptir. Simülasyon için TRNSYS programı kullanılmıştır. Simülasyon sisteminin oluşturulmasında hem TRNSYS standart kütüphanesi hem de simülasyon içerisinde bulunan TESS kütüphanesinden faydalanılmıştır. Vaka analizinde kullanılan işletmenin çalışma şartları 08:00-00:00 arasında kullanılacak 150°C sıcak hava olarak belirlenmiştir. Sistemde ısı transferi akışkanı olarak "Therminol 62" isimli termal yağ tercih edilmiştir. Sistem tasarımı yapılırken, güneşten ısı transferi sıvısına aktarılan enerjinin; havayı ısıtarak, sıcak hava elde edilmesi planlanmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda parabolik oluklu güneş kollektörlerinin maksimum verimi %56 olarak bulunmuştur [14].

Güngör, 2015 yılında yaptığı çalışmasında 200 kW kapasiteye sahip parabolik oluklu güneş kollektörü sisteminin modellemesinin MATLAB programında oluşturmuştur. Sistem tasarımında "Therminol VP-1" isimli termal yağ tercih edilmiştir. Sistemin matematiksel modeli; optik ve ısıl analizlerini gerçekleştirmek için enerji ve kütle korunumu yasaları temel alarak iteratif metodlar ile oluşturulmuştur. Sistemden elde edilen sonuçlar incelendiğinde 170°C sıcaklık ile sisteme giriş yapan ısı transferi sıvısı, parabolik oluklu güneş kollektöründen geçtikten sonra 240°C sıcaklık ile döngüsünü devam ettirmektedir. Sistemde oluşturulan ikincil bir devre ile ısıyı üzerinde toplayan ısı transferi sıvısı, üzerindeki ısıyı doymuş su buharı elde etmek için kullanmaktadır. Yapılan analiz sonucunda ikincil devrenin çıkışında 4 bar basınca, 143°C sıcaklığa sahip 280 kg/s kapasitede doymuş su buharı meydana çıkmaktadır [15].

Abdel-Dayem ve diğ. 2011 yılında yaptıkları çalışmalarında Mısır, Kahire'de bulunan bir ilaç firmasının parabolik oluklu güneş kollektörü sistemini simüle etmişlerdir. Firmanın kullandığı sistem 23 bar basınçtaki suyu, 1.958 m² parabolik oluklu güneş kollektörü alanına sahip tesisten geçirerek 175°C sıcaklıkta, 8 bar buhar elde etmek için kurulmuş bir sistemdir. Oluşturulan simülasyon nümerik model ile desteklenmiş ve analizlerden elde edilen sonuçlar gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan değerlerin tutarlı olduğu görülmüştür. Yapılan optimizasyon çalışmaları ile ekonomik yönden optimum kollektör yüzey alanı belirlenmiş ve optimize edilmiş sistemin ortalama 2 ton/s kapasitede buhar üretmek için elverişli olduğu hesaplanmıştır [16].

Asfer ve diğ. 2014 yılında yaptıkları çalışmalarında Ürdün ikliminde test etmek üzere parabolik oluklu güneş kollektörü tasarlamışlardır. Deneysel amaçlı imal edilen parabolik oluklu güneş kollektörü; 100^0 kenar açısına, 6 m uzunluğa, 1,67 m açıklığa

ve 21 odaklama oranına sahiptir. Deneyler sonucunda parabolik oluklu güneş kollektörünün maksimum termal verimliliği %22,4 olarak hesaplanmıştır. Deneylerde sistem girişinin sabit olarak 2,67 l/s hacimsel debi ve 27°C sıcaklık ile; 123°C'de 2 bar buhar elde ettiği gözlemlenmiştir [17].

Liu ve diğ. 2014 yılında yaptıkları çalışmalarında düşük maliyetli, kolay üretilebilen bir deney sistemi oluşturmuşlardır. Bu deney sisteminin amacı parabolik oluklu güneş kollektöründen elde edilen ısıyı, ikincil bir devrede buhar jeneratörü ile birlikte kullanarak kızgın ve doymuş buhar elde etmektir. Deneysel amaçlı kurulan sistem 60 parabolik oluklu güneş kollektöründen ve 32 m² kollektör yüzey alanından oluşmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda 200°C buhar sıcaklığında toplam verim %32 olarak hesaplanmıştır. Kurulan sistem günün öğlen vakitlerinde 3 saat süre ile 150°C sıcaklığın üzerinde kızgın buhar elde etmiştir. Bu süre dışında gün içerisinde sistem 6 saat doymuş buhar üretmiştir. Sistemin çıkış gücü öğlen 3 saat süresince 8 kW ve 11 kW olarak ölçülmüştür [18].

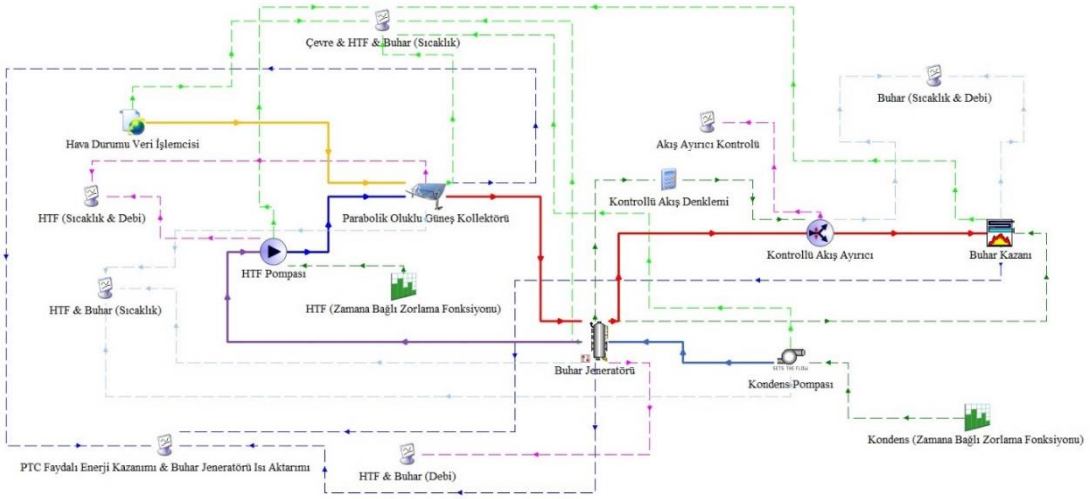
2. MATERYEL METOT

2.1 TRNSYS Enerji Simülasyon Programı

'Transient System Simulation Tool' (TRNSYS) programı 1970'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Wisconsin Üniversitesi ve Colorado Üniversitesi'nin Güneş Enerjisi Uygulamaları Laboratuvarları tarafından ortak bir çalışma ile geliştirilmiştir. TRNSYS programı FORTRAN yazılım diliyle oluşturulmuş enerji simülasyon programıdır. Program 1975 yılında kullanıma sunulmuş ve günümüzde halen daha geliştirilen güncellemeler ile enerji simülasyonu alanında önemli ve tutarlı bir program olarak kullanıcılarına hizmet vermektedir. TRNSYS programının temel amacı; zamana bağlı tasarlanmış sistemlerin, kullanıcı tarafından belirlenen çıktılarını kullanıcıya sunmaktır [19].

2.2 TRNSYS Simülasyonu

Tez çalışmasında analizi yapılan sistemin amacı; parabolik oluklu güneş kollektörü ve ısı transferi akışkanı kullanarak güneşten elde edilen enerjiyi 6 bar- 165°C sıcaklıkta buhar elde etmek için kullanmaktır.



Şekil 2.1 : TRNSYS simülasyon ekranı.

Sistem tasarlanırken 08:00 – 18:00 saatleri, çalışma saatleri olarak ele alınmış ve bu çalışma saatleri içerisinde sistem çıkışında 6 bar- 165°C sıcaklıkta buhar çıkışı sabit tutulmak istenmiştir. Bu hedef doğrultusunda güneş enerjisi ile ısıtılan ısı transferi akışkanı, buhar üretecine (jeneratörüne) gönderilerek buhar eldesi sağlanmıştır. Buhar üretecinin çıkışına kontrollü akış ayırıcı yerleştirilerek buharın 165°C sıcaklıkta olup olmadığı kontrol edilmiştir. Sistemin çalışması süresince, buhar 165°C sıcaklıkta ise doğrudan kullanıma gönderilmiştir. Eğer buhar 165°C sıcaklığa ulaşmamış ise fosil yakıtlı bir buhar kazanına gönderilerek 6 bar- 165°C sıcaklığa ulaşması sağlanmıştır. Şekil 2.1'de görüleceği gibi sisteme eklenen grafik oluşturucular sayesinde anlık olarak sistem izlenmiş, değer hesaplayıcılar ile güneşten faydalanma oranı ve sistemin ürettiği buhar hesaplanmıştır.

2.3 TRNSYS Simülasyonunda Kullanılan Elemanlar

2.3.1 Hava durumu veri işlemcisi

Hava durumu veri işlemcisi (Type 15-6) standart formatlarda türetilen hava durumu verilerini okuyarak tasarlanan sistemlerde kullanılmasını sağlamaktadır. Hava durumu veri işlemcisinin veri dosyaları; 'Typical Meteorological Year' (TMY), 'Typical Meteorological Year Version 2' (TMY2), 'EnergyPlus Weather, International Weather for Energy Calculations' (IWEC), 'Canadian Weather for Energy Calculations' (CWEC), 'Typical Meteorological Year Version 3' (TMY3), German TRY 2004 ve German TRY 2010'dan oluşmaktadır.



Şekil 2.2 : Hava durumu veri işlemcisi [19].

Hava durumu veri işlemcisi seçilen konuma bağlı olarak toplam radyasyon, ışın radyasyonu, gökyüzü radyasyonu, yerden yansıyan güneş radyasyonu ve güneş geliş açısını kullanıcıların tanımladığı düz ve eğimli yüzeylerde hesaplayabilmektedir. Hava durumu veri işlemcisi aynı zamanda gökyüzü sıcaklığıyla birlikte şebeke suyu sıcaklığını da hesaplayabilmektedir. Hava durumu veri işlemcisini kullanarak ısıtma-soğutma sezonları, aylık-yıllık minimum ve maksimum sıcaklıklarla birlikte ortalama sıcaklık verileri de oluşturulabilmektedir [20]. Simülasyon çalışmasında hava durumu veri işlemcisinin veri dosyası tipi; TMY2 dosyası olarak, Meteonorm yazılımı

kullanılarak türetilmiştir. Hava durumu veri işlemcisi simülasyonda Şekil 2.2'deki görsel ile kullanılmaktadır.

2.3.2 HTF pompası

Isı transferi akışkanı (HTF) pompası (Type 114) sabit bir sıvı çıkışını koruyabilen sabit hızlı bir pompayı modellemektedir. Pompa başlatma ve durdurma karakteristikleri ve basınç düşümleri modellenmeye dahil edilmemiştir. Isı transferi akışkanı pompası TRNSYS'te bulunan birçok pompa ve fanda olduğu gibi kütlesel debiyi giriş değeri olarak kabul ederken kontrol sinyali ile başlatma ve durdurma özellikleri kontrol edilebilmektedir. Kontrol sinyalinin 0,5 değerinin altına ayarlanması ile pompa kapalı duruma geçmekle birlikte; kütlesel debi, çekilen güç, pompadan ortama aktarılan enerji ve pompadan geçen sıvı akışkana aktarılan enerji sıfıra ayarlanır. Pompayı kontrol eden kontrol sinyalinin değeri 0,5 değerinden büyük bir değere ayarlanır ise pompa açık konuma geçerek; pompadan çıkan kütlesel debi ve pompa tarafından çekilen güç ilgili nominal değerlere ayarlanır. HTF pompası simülasyonda Şekil 2.3'teki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 : HTF pompası [19].

TRNSYS programı bu bileşenin matematiksel modelini oluşturmuş ve matematiksel modelde aşağıdaki formüller kullanılmıştır [20]. Pompanın genel verimliliği, pompa motorunun verimliliği; pompalama işleminin verimliliğini hesaplamak için Denklem 2.1'deki gibi kullanılır;

$$\eta_{pumping} = \frac{\eta_{overall}}{\eta_{motor}} \tag{2.1}$$

Pompa şaftında gereken güç (motor verimliliği etkileri hariç olmak üzere) Denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{P}_{shaft} = \dot{P}_{rated} * \eta_{motor} \tag{2.2}$$

Pompa motorundan akışkan akımına aktarılan enerji Denklem 2.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{fluid} = \dot{P}_{shaft} * \left(1 - \eta_{pumping}\right) + \left(\dot{P} - \dot{P}_{shaft}\right) * f_{motorloss} \tag{2.3}$$

Pompa motorundan ortama aktarılan enerji Denklem 2.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{ambient} = \dot{P}_{rated} * (1 - \eta_{motor}) * (1 - f_{motorloss}) \quad (2.4)$$

Pompadan çıkan sıvının sıcaklığı Denklem 2.5 ile hesaplanmaktadır.

$$T_{fluid\,,out} = T_{fluid\,,in} + \frac{\dot{Q}_{fluid}}{\dot{m}_{fluif}} \quad (2.5)$$

2.3.3 Parabolik oluklu güneş kollektörü

Parabolik oluklu güneş kollektörü (Type 1245) orta düzeyli sıcaklıklarda kullanılan parabolik oluklu güneş kollektörüdür. Bu kollektör modellemesinde kullanıcı, istenen çıkış sıcaklığına ulaşmak için akış oranını kontrol edebilmektedir. Sistem modellenmesinde kollektörler birbirlerine hem seri hem de paralel bağlanarak kollektör grubu oluşturabilmektedir. Parabolik oluklu güneş kollektörü simülasyonda Şekil 2.4'teki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 : Parabolik oluklu güneş kollektörü [19].

Kollektör grubunun termal performansını elde ederken hem paralel hem seri bağlama gibi etkenler ile birlikte her bir kollektörün karakteristik özelliği de belirleyici olmaktadır. TRNSYS programı bu bileşenin matematiksel modelini oluşturmuş ve matematiksel modelde aşağıdaki formüller kullanılmıştır [21].

Bir solar termal kollektörde bulunan akışkan için genel birinci dereceden diferansiyel denklem, Denklem 2.6'daki ifade ile elde edilmiştir [22].

$$C\frac{dT}{dt} = F' * \left(S - U_L * (T - T_a)\right) - \dot{m} * C_p * (T - T_{in}) \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'da kullanılan *S* aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$S = (\tau * \alpha)_n * IAM * A * I_T \quad (2.7)$$

Daha tutarlı bir denklem ikinci derecen kayıp katsayısı, $U_{\frac{L}{T}}$ kullanılarak elde edilebilir.

$$C\frac{dT}{dt} = F' * \left(S - A * U_L * (T - T_a) - A * U_{\frac{L}{T}} * (T - T_a)| * (T - T_a)|\right) - \dot{m} * C_p * (T - T_{in}) \quad (2.8)$$

Parabolik oluklu güneş kollektörü izotermal analiz için düğüm noktalarına ayrılırsa her bir *j* düğüm noktası için diferansiyel denklem aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$C\frac{dT_j}{dt} = F' * \left(S_j - A_j * U_L * (T_j - T_a) - A_j * U_{\frac{L}{T}} * (T_j - T_a)\right| * (T_j - T_a)\right| - \dot{m} * C_p * (T_j - T_{in,j}) \tag{2.9}$$

Olmak üzere, değişkenler;

$$C_j = \frac{C}{\#\,Nodes} \tag{2.10}$$

$$A_j = \frac{A}{\#\,Nodes} \tag{2.11}$$

$$S_j = \frac{S}{\#\,Nodes} \tag{2.12}$$

$$T_{in,j} = T_{j-1} \tag{2.13}$$

Diferansiyel denklemi çözmek için Denklem 2.9 aşağıda şekilde düzenlenir.

$$\frac{dT_j}{dt} = a * + b * T_j + c \tag{2.14}$$

Denklem 2.14'te T > T_a için;

$$a = \frac{-F*A_j*U_{L/T}}{C_j} \tag{2.15}$$

$$b = \frac{-F*A_j*U_L}{C_j} + \frac{2*F'*A_j*U_{\frac{L}{T}}*T_a}{C_j} - \frac{\dot{m}*C_p}{C_j} \tag{2.16}$$

$$c = \frac{F'*S}{C_j} + \frac{F'*A_j*U_L*T_a}{C_j} + \frac{F'*A_j*U_{\frac{L}{T}}*T_a^2}{C_j} - \frac{\dot{m}*C_p*T_{in,j}}{C_j} \tag{2.17}$$

Denklem 2.14'te T < T_a için;

$$a = \frac{F*A_j*U_{L/T}}{C_j} \tag{2.18}$$

$$b = \frac{-F*A_j*U_L}{C_j} - \frac{2*F'*A_j*U_{\frac{L}{T}}*T_a}{C_j} - \frac{\dot{m}*C_p}{C_j} \tag{2.19}$$

$$c = \frac{F'*S}{C_j} + \frac{F'*A_j*U_L*T_a}{C_j} + \frac{F'*A_j*U_{\frac{L}{T}}*T_a^2}{C_j} + \frac{\dot{m}*C_p*T_{in,j}}{C_j} \tag{2.20}$$

Denklem 2.14'te *T* sıvı sıcaklığı (bağımlı değişken), *t* zaman, *a* ve *b* sabitler; *c* zamanın veya bağımlı değişkenin bir fonksiyonu olabilir. Eğer *c* sabit ise ve zamana bağımlı değişmiyor ise diferansiyel denklem kolayca çözümlenir. Eğer *c* sabit değil ise analitik çözüme ulaşmak için; *c*'nin zaman adımı boyunca sabit olduğunu ve zaman adımı boyunca ortalama değerine eşit olduğu varsayılarak çözüme ulaşılabilir.

Denklem 2.14'te *a* sabiti sıfır ise denklem lineer denklem olarak çözümlenir;

$$T_{final\,,j} = \left(T_{inital\,,j} + \frac{c_{ave}}{b}\right) * e^{(b*\Delta t)} - \frac{c_{ave}}{b} \tag{2.21}$$

Bu denklem için;

$$c_{ave} = c * (T_{ave\,,j}) \tag{2.22}$$

$$T_{ave\,,j} = \frac{1}{b*\Delta t*(T_{inital\,,j}+\frac{c_{ave}}{b})} * \left(e^{(b*\Delta t)} - 1\right) - \frac{c_{ave}}{b} \tag{2.23}$$

Denklem 2.14'te a sabiti sıfır değil ise denklem ikinci dereceden denklem olur. Bu durumda T_{final} denklemi determinant q'ya bağımlı olarak çözümlenir.

$$q = 4 * a * c_{ave} - b^2 \tag{2.24}$$

Burada $q > 0$ için;

$$T_{final\,,j} = \frac{\frac{\sqrt{q}*\tan\left(\sqrt{q}*\frac{\Delta t}{2}\right)+2*a*T_{in\,,j}+b}{1-\tan\left(\sqrt{q}*\frac{\Delta t}{2}\right)*\frac{2*a*T_{in\,,j}+b}{\sqrt{q}}} - b}{2a} \tag{2.25}$$

$$T_{ave\,,j} = \frac{\frac{-2 * ln\left|\sqrt{q} * \cos\left(\sqrt{q} * \frac{\Delta t}{2}\right) - \left(2 * a * T_{in\,,j} + b\right) * \sin\left(\sqrt{q} * \frac{\Delta t}{2}\right)\right| - b * \Delta t}{2 * a} + \frac{ln\sqrt{q}}{a}}{\Delta t} \tag{2.26}$$

$q < 0$ için;

$$T_{final\,,j} = \frac{\frac{\sqrt{-q}*\tanh\left(-\sqrt{-q}*\frac{\Delta t}{2}\right)+2*a*T_{in\,,j}+b}{1-\tanh\left(-\sqrt{-q}*\frac{\Delta t}{2}\right)*\frac{2*a*T_{in\,,j}+b}{\sqrt{-q}}} - b}{2a} \tag{2.27}$$

$$T_{ave\,,j} = \frac{\frac{-2 * ln\left|\sqrt{-q} * \cosh\left(\sqrt{-q} * \frac{\Delta t}{2}\right) - \left(2 * a * T_{in\,,j} + b\right) * \sinh\left(\sqrt{-q} * \frac{\Delta t}{2}\right)\right| - b * \Delta t}{2 * a} + \frac{ln\sqrt{-q}}{a}}{\Delta t} \tag{2.28}$$

$q = 0$ için;

$$T_{final\,,j} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{b}{2*a}+T_{in\,,j}} - a*\Delta t} - \frac{b}{2a} \tag{2.29}$$

$$T_{ave\,,j} = \frac{\frac{-ln*\left[\frac{1}{\frac{b}{2*a}+T_{in\,,j}} - a*T_{in\,,j}\right] - \frac{b*\Delta t}{2*a}}{2*a} + \frac{ln\left[\frac{1}{\frac{b}{2*a}+T_{in\,,j}}\right]}{a}}{\Delta t} \tag{4.30}$$

Güneş enerjisi kollektörü verimliliği için Hottel-Whillier Denklemi ile elde edilmiştir [22].

$$\eta = \frac{Q_u}{A*I_T} = \frac{\dot{m}*C_{pf}*(T_o - T_i)}{A*I_T} = F_R * (\tau * \alpha)_n - F_R * U_L * \frac{(T_i - T_a)}{I_T} \tag{2.31}$$

Denklem 2.31, sıcaklık bağımlı kayıplar ile ifade edilerek aşağıdaki şekilde tekrar yazılabilir.

$$\eta = \frac{Q_u}{A * I_T} = \frac{\dot{m} * C_{pf} * (T_o - T_i)}{A * I_T} = F_R * (\tau * \alpha)_n - F_R * U_L * \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R * U_{\frac{L}{T}} * \frac{(T_i - T_a)| * (T_i - T_a)|}{I_T} \quad (2.32)$$

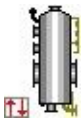
$$\eta = a_0 - a_1 * \frac{(\Delta t)}{I_T} - a_2 * \frac{(\Delta t)|*(\Delta t)|}{I_T} \quad (2.33)$$

Kollektör çıkış sıcaklığını hesaplamak için Denklem 2.34 kullanılır.

$$T_o = T_i + \frac{A}{\dot{m} * C_p} * (F_R * \tau * \alpha_N * I_T - F_R * U_L * (T_i - T_\alpha) - F_R * U_{\frac{L}{T}} * (T_i - T_a)| * (T_i - T_a)|) \quad (2.34)$$

2.3.4 Buhar üreteci

Buhar üreteci (jeneratörü) (Type 636), ısı geri kazanım buhar jeneratörünü modellemektedir. Isı geri kazanım buhar jeneratörünün amacı; yüksek sıcaklıktaki atık ısıyı kullanarak buhar akışını ısıtmaktır. Bu bileşen aynı zamanda buhar süper ısıtıcısı veya yoğuşma ön ısıtıcısı olarak da kullanılabilmektedir. Bu bileşen kullanıcı tarafından belirlenen buhar çıkışı koşullarını, bileşene giriş yapan atık ısının özelliklerini ve kapasitesini kullanarak karşılamaya çalışacaktır. Buhar jeneratörü simülasyonda Şekil 2.5'teki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 : Buhar üreteci [19].

Buhar jeneratörü bileşeni paralel akış veya karşı akış konfigürasyonu şeklinde modellenebilir. Model, imkânsız veya gerçekçi olmayan ısı transferi koşullarını kontrol etmek için sıcaklık farkı noktası yaklaşımıyla çalışmaktadır. Sıcaklık farkı noktası, sıcak kaynaklı akışkan ile akışkanlar arasında ısı transferine izin veren buhar arasındaki minimum sıcaklık farkı olarak tanımlanmaktadır. Modelde belirlenen giriş noktalarının herhangi birinde akış hızı sıfır ise, giriş buhar entalpisi zaten istenilen seviyede veya daha yüksek ise cihazın kapalı olduğu varsayılır [23].

Buhar jeneratörünün ısı transferi, logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve toplam ısı transferi katsayısı aşağıdaki formüller ile hesaplanır [24].

$$Q = U * A_o * LMTD \quad (2.35)$$

$$LMTD = \frac{[(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)]}{ln[(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)]} \quad (2.36)$$

$$U = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{h_o} + R_{fo}\right) * \frac{A_o}{E_f * A_{fo} * A_{po}} + \frac{t_w}{k_w} * \frac{A_o}{A_w} + \left(\frac{1}{h_i} + R_{fi}\right) * \frac{A_o}{A_i}\right]} \quad (2.37)$$

2.3.5 Kondens pompası

Kondens pompası (Type 597), tasarlanan sisteme doymuş besi suyu pompalamak için kullanılmaktadır. Kondens pompası, kullanıcı tarafından belirlenen giriş koşullarını yine kullanıcı tarafından belirlenen çıkış koşullarında pompalamak için kullanılır. Kullanıcı besi suyunun giriş-çıkış basınçlarını ve sıcaklıklarını kontrol edebilir. Genellikle HVAC, soğutma, yoğuşmalı kazan ve buhar sistemlerinde kullanılır. Kondens pompası simülasyonda Şekil 2.6'daki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.6 : Kondens pompası [19].

TRNSYS programı bu bileşenin matematiksel modelini oluşturmuş ve matematiksel modelde aşağıdaki formüller kullanılmıştır [23].

Pompa tarafından gerçekleştirilen faydalı iş Denklem 2.38 ile hesaplanmaktadır.

$$W = \gamma * \dot{m}_{rtd} * \dot{v}_{in} * (p_{out} - p_{in}) \quad (2.38)$$

Pompanın verimliliği kullanıcının belirlediği parametreler ile Denklem 2.39 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_{pump} = \frac{\eta_{tot}}{\eta_{motor}} \quad (2.39)$$

Şaft gücü Denklem 2.40 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{P}_{shaft} = \frac{\dot{W}}{\eta_{pump}} \quad (2.40)$$

Toplam güç Denklem 2.41 ile hesaplanmaktadır

$$\dot{P} = \frac{\dot{W}}{\eta_{motor}} \quad (2.41)$$

Akışkan akımına aktarılan enerji Denklem 2.42 ile hesaplanmaktadır.

$$C$$

Kondens pompasının ortama aktardığı enerji Denklem 2.43 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{Q}_{amb} = \dot{P} - \dot{Q}_{fluid} \tag{2.43}$$

Kondens pompasından çıkan buharın entalpisi Denklem 2.44 ile hesaplanmaktadır.

$$h_{out} = h_{in} + \frac{\dot{Q}_{fluid}}{\gamma * \dot{m}_{rtd}} \tag{2.44}$$

2.3.6 Buhar kazanı

Buhar kazanı (Type 638), kullanıcının belirlediği koşullarda buhar elde etmek için kullanılmaktadır. Yapılan simülasyonda buhar kazanı (Type 638) bir yardımcı ısıtıcı olarak kullanılmıştır. Diğer bir anlatımla buhar jeneratörü (Type 636) çıkışında hedeflenen buhar elde edilememiş ise akışkan buhar kazanına yönlendirilir. Buhar kazanı fosil yakıtlı olarak modellenmiştir. Buhar kazanında kullanıcı sisteme giren buharın; sıcaklığını, debisini, basıncını, entalpisini ve buhar kazanı çıkışında elde etmek istediği buhar çıkış entalpisini tanımlar. Buhar kazanı, buhar kazanına giren buharın entalpisini çalışma koşulları altında, buhar çıkışında görülmek istenen entalpiye ulaştırmaya çalışır. Buhar kazanına giren buharın entalpisi, buhar çıkışında görülmek istenen entalpi değerinden büyük veya eşit ise buhar kazanı kapalı konuma geçer. Buhar kazanını kontrol etmek için kontrol sinyali kullanılır. Buhar kazanının mevcut kapasitesini belirlemek için; nominal kapasite, giriş kontrol sinyali ile çarpılır. Kapasite buhar kazanının brüt kapasitesini değil, sıvıya ısı girişini ifade eder. Buhar kazanı simülasyonda Şekil 2.7'deki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.7 : Buhar kazanı [19].

Kullanıcı buhar kazanç verimini hesaplamak için; ısı kayıp katsayılarını, yanma verimliliğini ve buhar kazanı verimliliğini tanımlar [23].

Buhar kazanı verimliliği Denklem 2.45 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_{boiler} = \frac{\dot{m}_{steam} * (h_{steam} - h_{feedwater})}{\dot{m}_{fuel} * HHV_{fuel}} * 100 \tag{2.45}$$

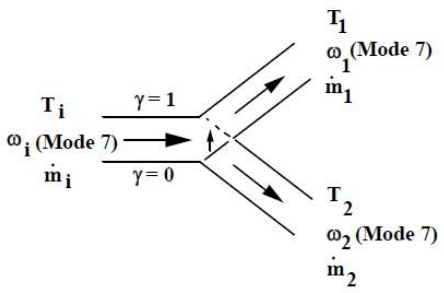
2.3.7 Kontrollü akış ayırıcı

Kontrollü akış ayırıcı (Type 11), bir bağlantı parçasıdır. Kontrollü akış ayırıcı ile ayırıcıya giren akışkan iki veya daha fazla çıkıştan çıkmak üzere ayrıştırılabilir. Akışın ayrıştırılması kullanıcının tanımlaması üzerine sıcaklık değeri, kütlesel debi, hacimsel debi, zaman ayarı gibi farklı parametrelerle kullanılabilir. Kontrollü akış ayırıcıyı kullanıcı tanımlı ayrıştırma işleminde kullanmak için bileşen özelliklerinden 'Mode 7' ifadesi seçilmektedir. Kontrollü akış ayırıcı simülasyonda Şekil 2.8'deki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.8 : Kontrollü akış ayırıcı [19].

TRNSYS programı bu bileşenin matematiksel modelini oluşturmuş ve matematiksel modelde aşağıdaki formüller kullanılmıştır [20].



Şekil 2.9 : Kontrollü Akış Ayırıcı Akış Diagramı [20].

Kontrollü akış ayırıcıyı kontrol etmek için γ değeri kullanılır. Bu γ değeri 1 ile 0 arasında değer alır. Her bir çıkış için ayrı γ değeri tanımlanabilir. Örneğin γ değerinin 1 olması akışın %100'lük kısmının birinci çıkıştan çıkacağını gösterir. Başka bir örnek ile; iki çıkışı bulunan bir akış ayırıcıda γ değeri 0,5 ise, ayırıcıya giren akışkanın %50'si birinci çıkıştan, %50'si ikinci çıkıştan çıkacaktır. Şekil 2.9'da bulunan akış diagramında hesaplama detayları aşağıdaki gibidir;

$$T_1 = T_i \tag{2.46}$$

$$\omega_1 = \omega_i \quad (Mode\ 7) \tag{2.47}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_i * (1 - \gamma) \tag{2.48}$$

$$T_2 = T_i \tag{2.49}$$

$$\omega_2 = \omega_i \quad (Mode\ 7) \tag{2.50}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_i * \gamma \tag{2.51}$$

2.3.8 Zaman fonksiyonu

Zaman fonksiyonu (Type 14) akışkanlar analizinde sıklıkla kullanılan bir zorlama fonksiyonudur. Akışkanlar simüle edilirken belirli bir döngüde belirli koşullara sahip bir zorlama oluşturulması gerekmektedir. Zorlama fonksiyonunun modeli şu şekildedir: çeşitli zamanlarda farklı değerlerle oluşturulmuş ayrık veriler döngüsüdür [20]. Zaman fonksiyonu simülasyonda Şekil 2.10'daki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 : Zaman fonksiyonu [19].

Zorlama fonksiyonun ortalama değeri $\bar{V}$ aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$t_c = MOD\ (TIME, C_T) - \Delta t/2 \tag{2.52}$$

$$R = \frac{t_c - t_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \tag{2.53}$$

$$\bar{V} = V_{i-1} + R * (V_i - V_{i-1}) \tag{2.54}$$

2.3.9 Denklemler

Denklemler modülü TRNSYS programını kullanışlı bir simülasyonu yapan en önemli özelliklerden bir tanesidir. Kullanıcı bu bileşen ile farklı bileşenlerde olmayan denklemleri, matematiksel özellikleri ve hesapları yapabilmektedir. Denklemler simülasyonda Şekil 2.11'deki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.11 : Denklemler [19].

Tanımlanan denklemler diğer bileşenlerin çıktıları olarak kullanılabileceği gibi, diğer bileşenlerin girdilerini oluşturmak içinde kullanılabilmektedir [25].

Yıllık faydalanma oranı değeri bu modül içerisinde aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$L_y = \sum_1^{12} L_a \quad (2.55)$$

$$YDF = \frac{L_a}{L_y} \quad (2.56)$$

$$f_y = \sum_1^{12} f_{a,i} * YDF_i \quad (2.57)$$

2.3.10 Grafik çizici

Grafik çizici (Type 65) seçilen sistem değişkenlerini belirli aralıklarla görüntülemek için kullanmaktadır. Bu bileşen sistem simülasyonu yapılırken kullanıcının belirlediği zaman aralığında ve zaman adımında veri sağlayarak grafik oluşturduğu için çok kullanışlı bir bileşen olmuştur. Grafik çizici simülasyonda Şekil 2.12'deki görsel ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.12 : Grafik çizici [19].

Grafik çizici kullanıcın tanımladığı kadar grafiği tek bir pencere üzerinde gösterebilmekte ve seçilen parametreleri kendi içerisinde belirlenen gruplar halinde ayrı ayrı kullanıcıya sunmaktadır [20].

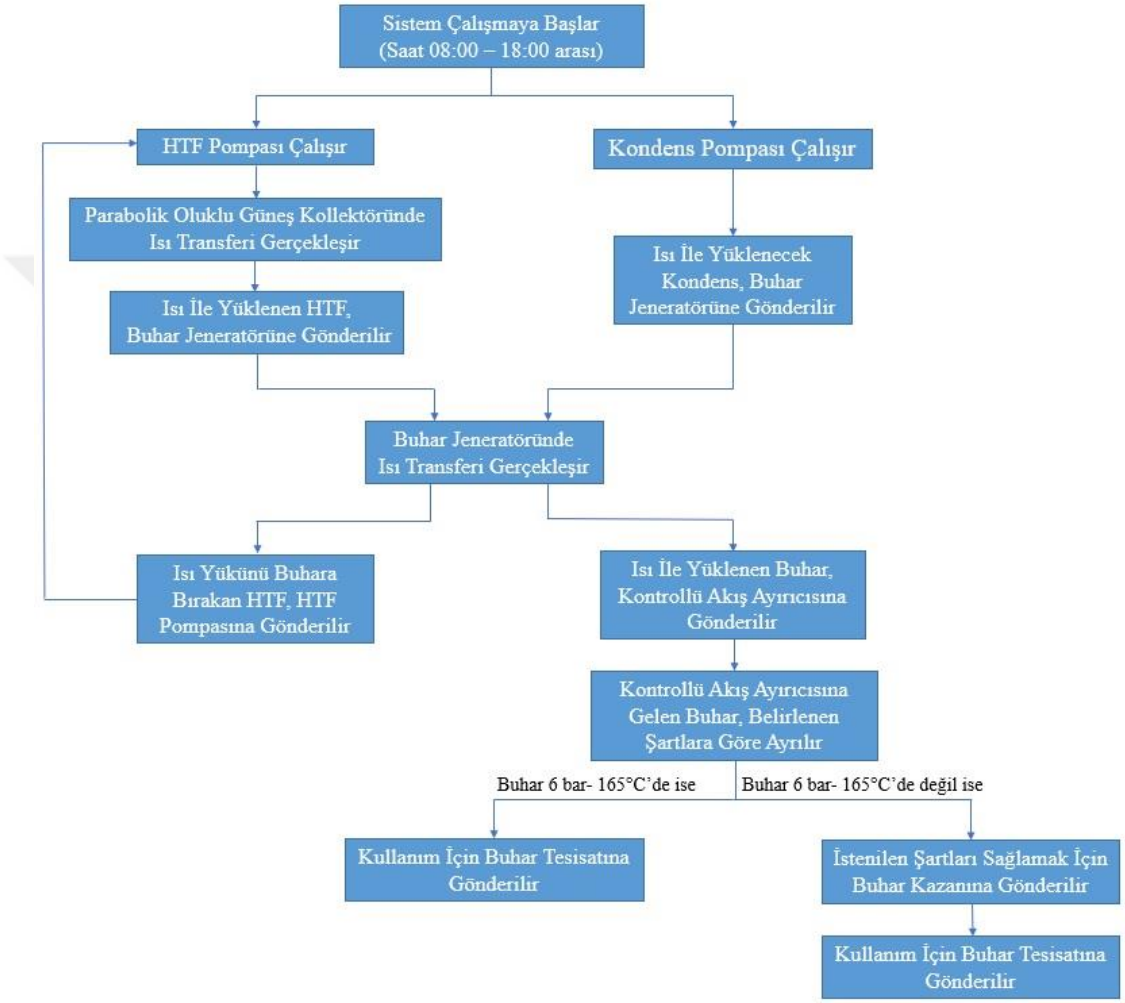
2.4 Simülasyon İçin Tasarlanan Akış Diagramı Ve Bileşen Parametreleri

2.4.1 Akış diagramı

TRNSYS'te simülasyonu yapılan sistem için çalışma saatleri haftanın tüm günleri için saat 08:00'de başlayıp 18:00'de bitecekmiş gibi programlanmıştır. Sistem Şekil 2.13'te görüleceği gibi buhar jeneratörünü ortak bileşen olarak kullanan iki farklı devreden oluşmaktadır. İlk devre HTF'te ısı yükünü sağlayan parabolik oluklu güneş enerjisi sistemidir. Bu sistemin bileşenleri sırası ile; HTF pompası, parabolik oluklu güneş kollektörü ve buhar jeneratörüdür İkinci sistem kondens haldeki buharı 6 bar-165°C sıcaklıkta buhara getirip kullanıma ileten buhar devresidir. Buhar devresi sırası ile; kondens pompası, buhar jeneratörü (ortak bileşen), kontrollü akış ayırıcı ve buhar kazanından oluşmaktadır.

Sistemin devreye girmesi ile birlikte hem HTF pompası hem de kondens pompası çalışmaya başlamaktadır. HTF pompasından çıkan akışkan parabolik oluklu güneş kollektörüne gönderilmektedir. Parabolik oluklu güneş kollektöründe HTF ısı yükü ile

yüklenmektedir. Isı yükü ile yüklenen HTF daha sonra buhar jeneratörüne gönderilmektedir. Buhar jeneratöründe HTF pompasıyla aynı anda çalışmaya başlayan kondens pompasından buhar jeneratörüne gönderilen kondens ile HTF, ısı transferini gerçekleştirmektedir. HTF ısı yükünü kondense bıraktıktan sonra buhar jeneratöründen çıkarak HTF pompasına gitmekte ve gerçekleştirdiği bu hareketi döngü şeklinde devam ettirmektedir.



Şekil 2.13 : TRNSYS simülasyonu için tasarlanan akış diagramı.

Buhar jeneratörüne kondens olarak giren, daha sonra ısı transferi ile buhar veya ısısı yükselmiş kondens olarak çıkan kondens, kontrollü akış ayırıcısına gönderilir. Kontrollü akış ayırıcı gelen buharın 6 bar- 165°C sıcaklıkta olup olmadığını kontrol eder. Eğer buhar 6 bar- 165°C sıcaklıkta ise buhar devresi işlemini tamamlamış olur ve buhar kullanıma gönderilir. Eğer buhar 6 bar- 165°C sıcaklıkta değil ise buhar devresi işlemini bitirmemiş olur ve buhar gerekli şartları sağlamak için fosil yakıtlı

buhar kazanına gönderilir. Buhar kazanına giriş yapan buhar, 6 bar- 165°C sıcaklıkta çıkış yaparak kullanıma gönderilir.

2.4.2 Bileşen parametre ve input değerleri

TRNSYS simülasyonunda kullanılan bileşenlerin modellenmesi için, modüllere ait parametreler ve input değerleri aşağıdaki çizelgelerde paylaşılmaktadır. Çizelge 2.1, hava durumu veri işlemcisine; Çizelge 2.2, HTF pompasına; Çizelge 2.3, parabolik oluklu güneş kollektörüne; Çizelge 2.4, buhar jeneratörüne; Çizelge 2.5, kondens pompasına; Çizelge 2.6, buhar kazanına ait parametreleri ve input değerlerini içermektedir.

Çizelge 2.1: Hava durumu veri işlemcisi parametre ve input değerleri.

İsim	Değer	Tip
Dosya Tipi	6	Parametre
Mantıksal Birim	31	Parametre
Eğimli Yüzey Radyasyon Modu	3	Parametre
Zemin Yansıması – Karsız Yüzey	0,2	Parametre
Zemin Yansıması – Karlı Yüzey	0,7	Parametre
Yüzey Adedi	1	Parametre
Takip Modu	1	Parametre
Hava Durumu Dosyası	Bursa	Meteonorm Data

Çizelge 2.2: HTF pompası parametre ve input değerleri.

İsim	Değer	Birim	Tip
Akış Debisi	300	kg/hr	Parametre
Akışkan Özısısı	2,128	$kJ/kg*K$	Parametre
Anma Gücü	2684	kJ/hr	Parametre
Akışkan Giriş Sıcaklığı	20	C^0	Input
Akışkan Giriş Debisi	1000	kg/hr	Input
Kontrol Sinyali	1	-	Input
Pompa Verimliliği	0,6	-	Input
Motor Verimliliği	0,9	-	Input

Çizelge 2.3 : Parabolik oluklu güneş kollektörü parametre ve input değerleri.

İsim	Değer	Birim	Tip
Seri Bağı Kollektör Sayısı	1	-	Parametre
Paralel Bağlı Kollektör Sayısı	1	-	Parametre
Toplam Yüzey Alanı	50	m^2	Parametre
Odaklama Oranı	23,17	-	Parametre
Akışkan Özısısı	2,178	$kJ/kg*K$	Parametre
Kollektör Test Modu	1	-	Parametre
Minimum Hat Debisi	0	kg/hr	Parametre
Maksimum Hat Debisi	10000	kg/hr	Parametre
Düğüm Noktası Adedi	10	-	Parametre
Başlangıç Sıcaklığı	20	C^0	Parametre
Akışkan Giriş Sıcaklığı	20	C^0	Input
Akışkan Giriş Debisi	100	kg/hr	Input

Çizelge 2.4 : Buhar jeneratörü parametre ve input değerleri.

İsim	Değer	Birim	Tip
Sıcaklık Farkı Noktası	15	ΔC^0	Parametre
Akışkan Özısısı	2,048	$kJ/kg*K$	Parametre
Isı Transferi Konfigürasyonu	1	-	Parametre
Akışkan Giriş Sıcaklığı	400	C^0	Input
Akışkan Giriş Debisi	3000	kg/hr	Input
Buhar Giriş Sıcaklığı	60	C^0	Input
Buhar Giriş Debisi	150	kg/hr	Input
Buhar Giriş Basıncı	700	kPa	Input
Buhar Giriş Entalpisi	251,40	kJ/kg	Input
İstenilen Buhar Çıkış Entalpisi	2763,5	kJ/kg	Input

Çizelge 2.5 : Kondens pompası parametre ve input değerleri.

İsim	Değer	Birim	Tip
Pompa Verimliliği	0,6	-	Parametre
Motor Verimliliği	0,9	-	Parametre
Akışkan Debisi	150	kg/hr	Parametre
Hesaplama Modu	0	-	Parametre
Kontrol Sinyali	1	-	Input
Buhar Giriş Sıcaklığı	60	C^0	Input
Buhar Giriş Debisi	150	kg/hr	Input
Buhar Giriş Basıncı	100	kPa	Input
Buhar Giriş Entalpisi	251,40	kJ/kg	Input
İstenilen Buhar Çıkış Basıncı	700	kPa	Input

Çizelge 2.6 : Buhar kazanı parametre ve input değerleri.

İsim	Değer	Birim	Tip
Kapasite	60.000	kg/hr	Parametre
Boiler Verimliliği	0,78	-	Input
Yanma Verimliliği	0,85	-	Input
Buhar Giriş Sıcaklığı	100	C^0	Input
Buhar Giriş Debisi	1000	kg/hr	Input
Buhar Giriş Basıncı	1000	kPa	Input
Buhar Giriş Entalpisi	419,7	kJ/kg	Input
İstenilen Buhar Çıkış Entalpisi	2763,5	kJ/kg	Input

3. BULGULAR

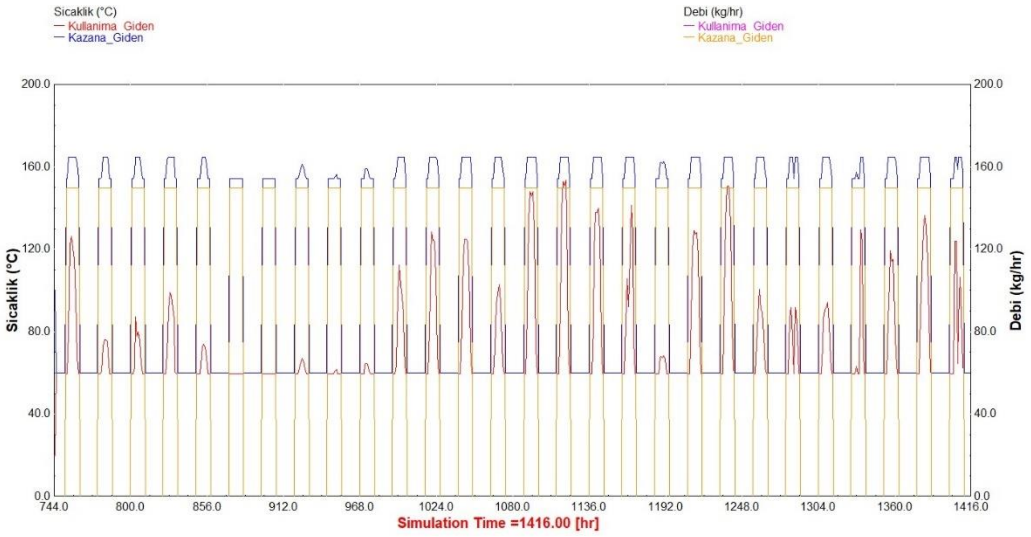
3.1 Simülasyon Çıktıları

Bu bölümde Bursa, Türkiye (40.2218557 Boylam / 28.8922039 Enlem) konumu için koşturulan sistem simülasyonunun sonuçları paylaşılacaktır. Her ay için elde edilen buhar çıktısı grafiklerine ek olarak; aylık olarak hesaplanan parabolik oluklu güneş kollektörü verimi, aylık güneş enerjisinden faydalanma oranı, aylık toplam üretilen buhar miktarı, aylık buhar kazanından elde edilen buhar miktarı ve aylık direkt olarak güneş enerjisi kullanılarak elde edilen buhar miktarları paylaşılacaktır.



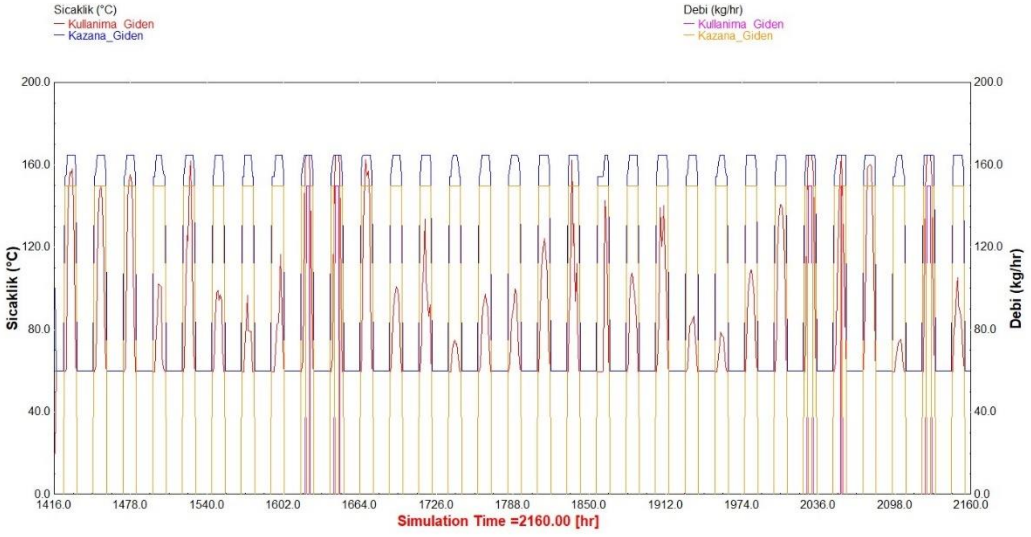
Şekil 3.1 : Ocak ayı simülasyon sonuç ekranı.

Ocak ayı için (0 – 744 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.1'deki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Ocak ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %26 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı ocak ayı için %11 olarak hesaplanmıştır. Ocak ayında 41.850 kg buhar elde edilmiş olup bunun tamamı buhar kazanı ile üretilmiştir. Güneş enerjisinden elde edilen enerji buhar kazanının ön ısıtması olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.2 : Şubat ayı simülasyon sonuç ekranı.

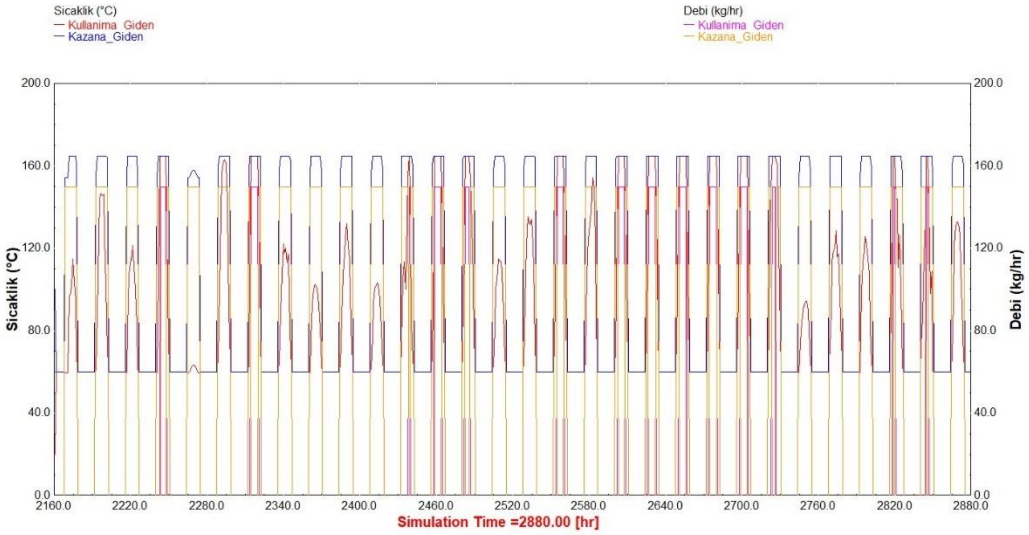
Şubat ayı için (744 – 1.416 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.2'deki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Şubat ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %35 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı şubat ayı için %18 olarak hesaplanmıştır. Şubat ayında 37.800 kg buhar elde edilmiş olup bunun tamamı buhar kazanı ile üretilmiştir. Güneş enerjisinden elde edilen enerji buhar kazanının ön ısıtması olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.3 : Mart ayı simülasyon sonuç ekranı.

Mart ayı için (1.416 – 2.160 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.3'teki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Mart ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %42 olarak hesaplanmıştır.

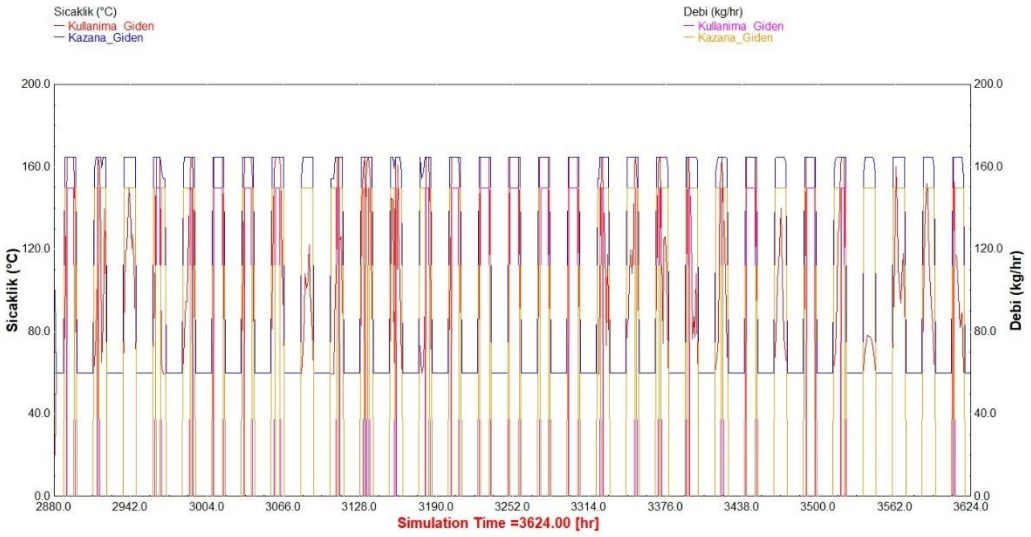
Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı mart ayı için %29 olarak hesaplanmıştır. Mart ayında 41.800 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 39.400 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 2.400 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.



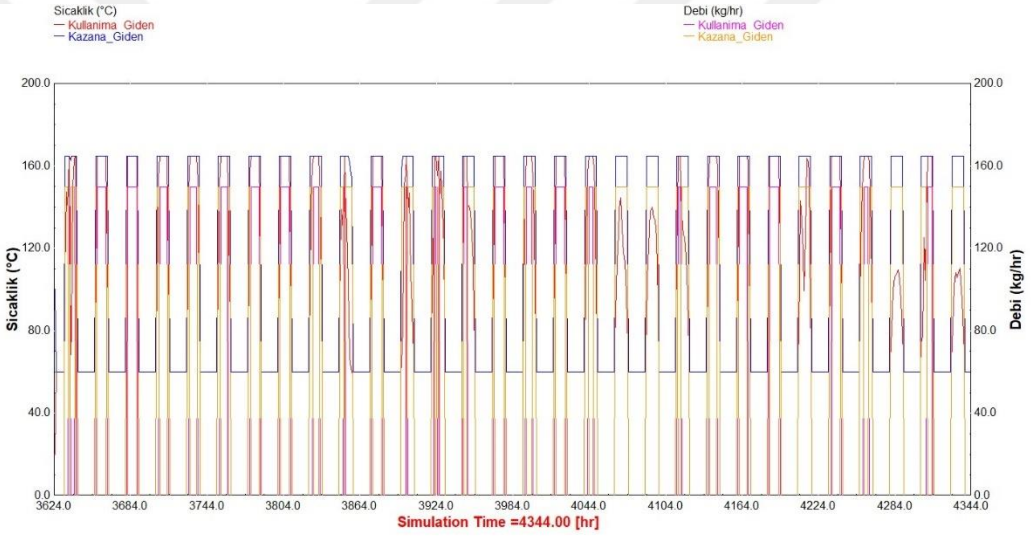
Şekil 3.4 : Nisan ayı simülasyon sonuç ekranı.

Nisan ayı için (2.160 – 2.880 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.4'teki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Nisan ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %49 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı nisan ayı için %45 olarak hesaplanmıştır. Nisan ayında 40.500 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 30.750 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 9.750 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.

Mayıs ayı için (2.880 – 3.624 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.5'teki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Mayıs ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %50 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı mayıs ayı için %53 olarak hesaplanmıştır. Mayıs ayında 41.850 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 26.400 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 15.450 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.

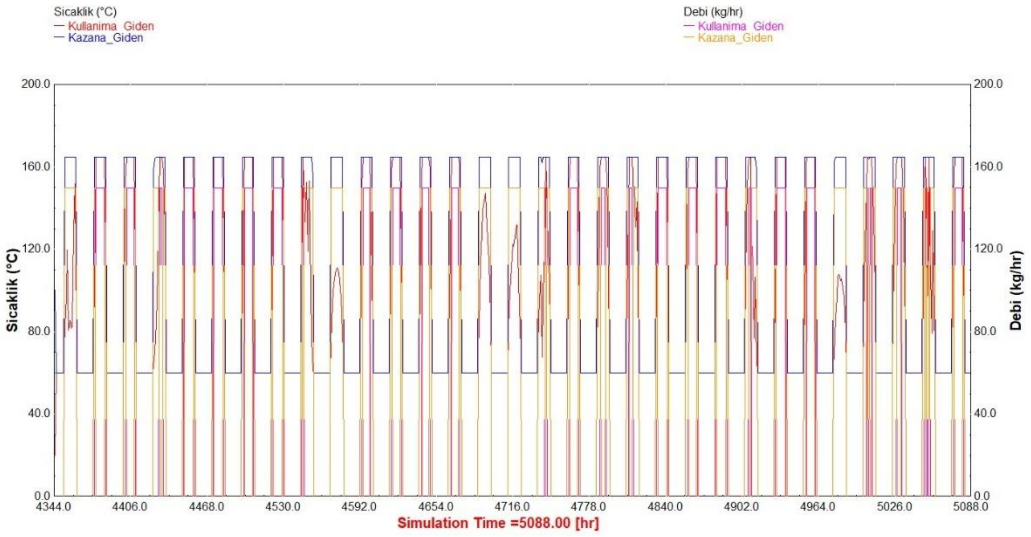


Şekil 3.5 : Mayıs ayı simülasyon sonuç ekranı.



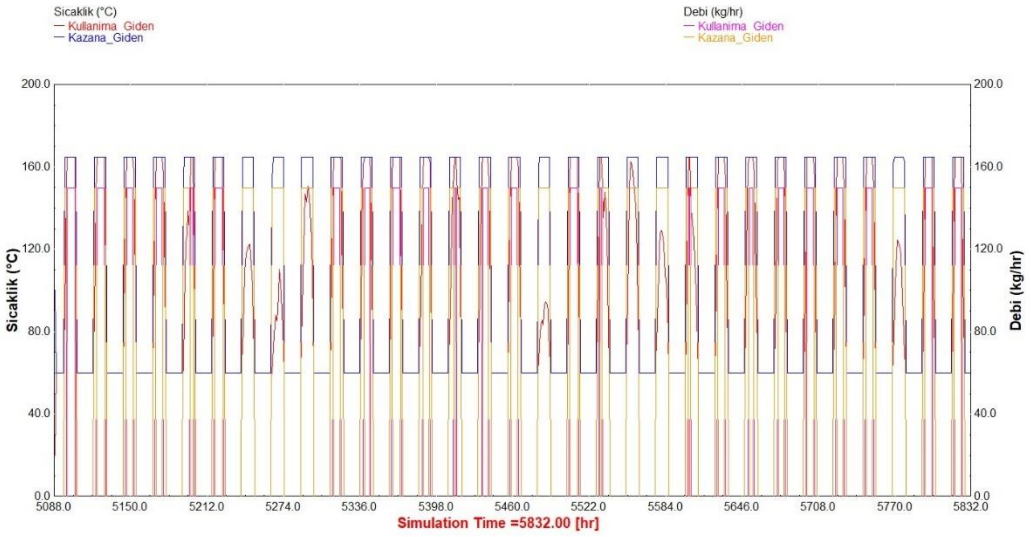
Şekil 3.6 : Haziran ayı simülasyon sonuç ekranı.

Haziran ayı için (3.624 – 4.344 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.6'daki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Haziran ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %53 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı haziran ayı için %64 olarak hesaplanmıştır. Haziran ayında 40.500 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 19.550 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 20.550 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.



Şekil 3.7 : Temmuz ayı simülasyon sonuç ekranı.

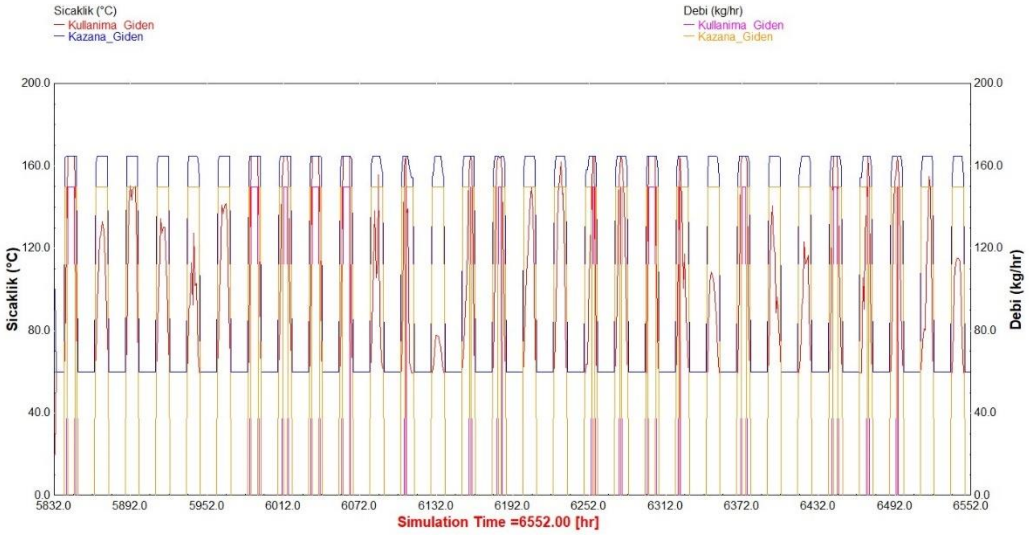
Temmuz ayı için (4.344 – 5.088 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.7'deki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Temmuz ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %54 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı temmuz ayı için %65 olarak hesaplanmıştır. Temmuz ayında 41.850 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 19.550 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 21.900 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.



Şekil 3.8 : Ağustos ayı simülasyon sonuç ekranı.

Ağustos ayı için (5.088 – 5.832 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.8'deki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Ağustos ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %54 olarak

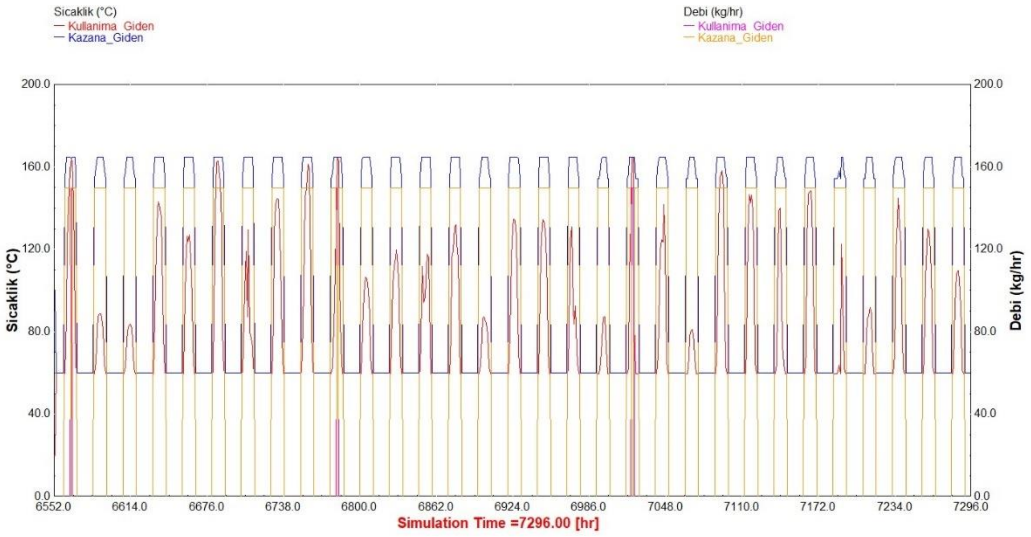
hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı ağustos ayı için %61 olarak hesaplanmıştır. Ağustos ayında 41.850 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 22.650 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 19.200 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.



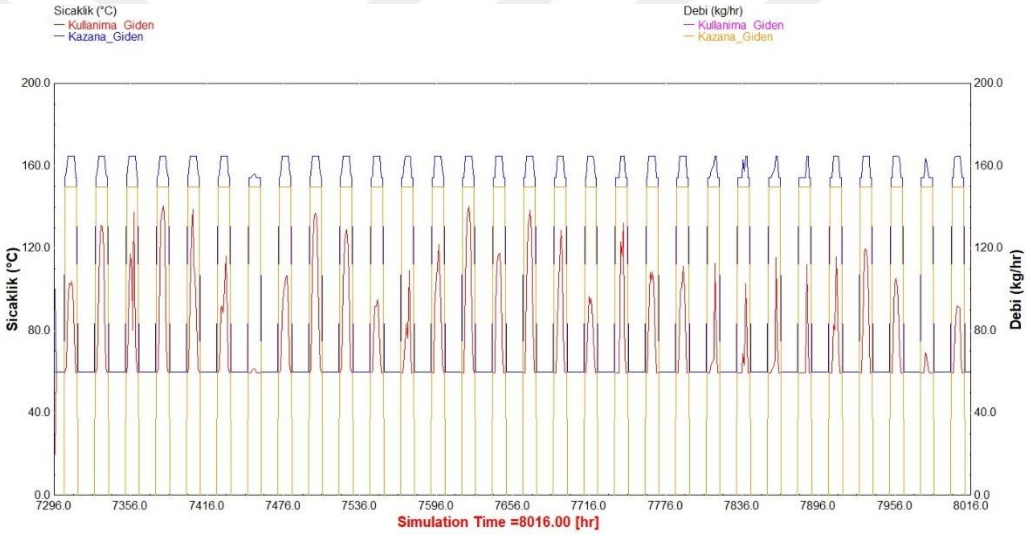
Şekil 3.9 : Eylül ayı simülasyon sonuç ekranı.

Eylül ayı için (5.832 – 6.552 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.9'daki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Eylül ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %50 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı eylül ayı için %42 olarak hesaplanmıştır. Eylül ayında 40.500 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 32.550 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 7.950 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.

Ekim ayı için (6.552 – 7.296 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.10'daki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Ekim ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %44 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı ekim ayı için %27 olarak hesaplanmıştır. Ekim ayında 41.800 kg buhar elde edilmiştir. Elde edilen buharın 41.250 kg'lık kısmı buhar kazanından elde edilirken, 600 kg'lık kısmı direkt olarak güneş enerjisinden elde edilmiştir.



Şekil 3.10 : Ekim ayı simülasyon sonuç ekranı.



Şekil 3.11 : Kasım ayı simülasyon sonuç ekranı.

Kasım ayı için (7.296 – 8.016 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.11'deki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Kasım ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %35 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı kasım ayı için %18 olarak hesaplanmıştır. Kasım ayında 40.500 kg buhar elde edilmiş olup bunun tamamı buhar kazanı ile üretilmiştir. Güneş enerjisinden elde edilen enerji buhar kazanının ön ısıtması olarak kullanılmıştır.

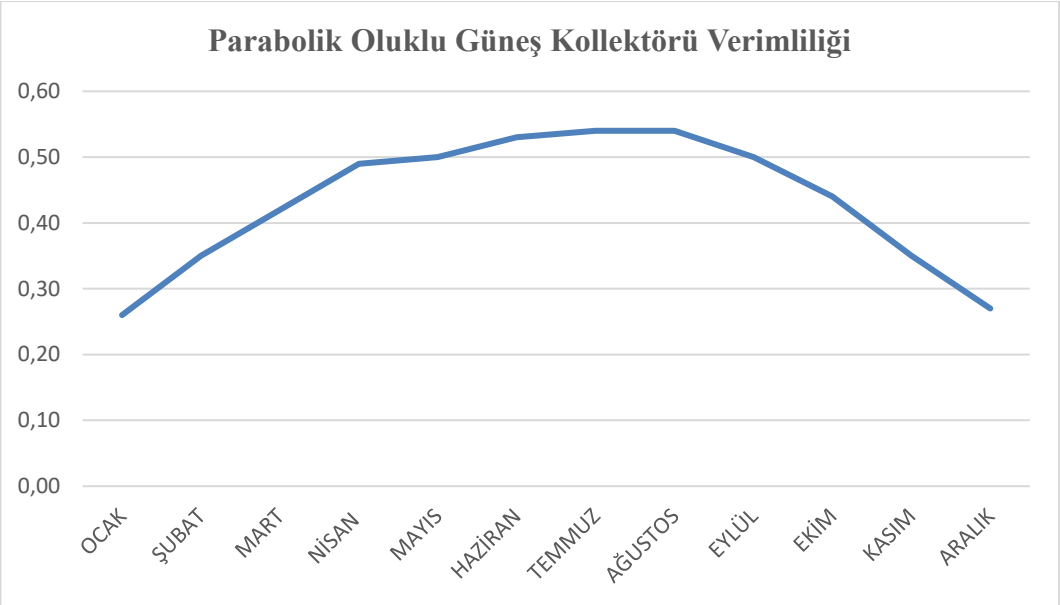


Şekil 3.12 : Aralık ayı simülasyon sonuç ekranı.

Aralık ayı için (8.016 – 8.760 saatleri arasında) yapılan simülasyon çalışması sonucunda, Şekil 3.12'deki simülasyon sonuç ekranı elde edilmiştir. Aralık ayında elde edilen parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü verimi %27 olarak hesaplanmıştır. Üretilen buhar için, güneş enerjisinden faydalanma oranı aralık ayı için %12 olarak hesaplanmıştır. Aralık ayında 41.850 kg buhar elde edilmiş olup bunun tamamı buhar kazanı ile üretilmiştir. Güneş enerjisinden elde edilen enerji buhar kazanının ön ısıtması olarak kullanılmıştır.

3.2 Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü Verimliliği

Tasarlanan sistemde parabolik oluklu güneş kollektörünün verimliliği aylık olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Şekil 3.13'te görüleceği gibi grafik haline getirilmiş ve parabolik oluklu güneş kollektörünün verimliliği aylık olarak gösteren bir grafik oluşturulmuştur. Çizelge 3.1'de görüleceği gibi en yüksek verim olan %54'lük verime hem temmuz hem de ağustos aylarında ulaşılmıştır. En düşük verimli aylar ise %26'lık verim ile ocak ayı ve %27'lik verim ile aralık ayı olmuştur.



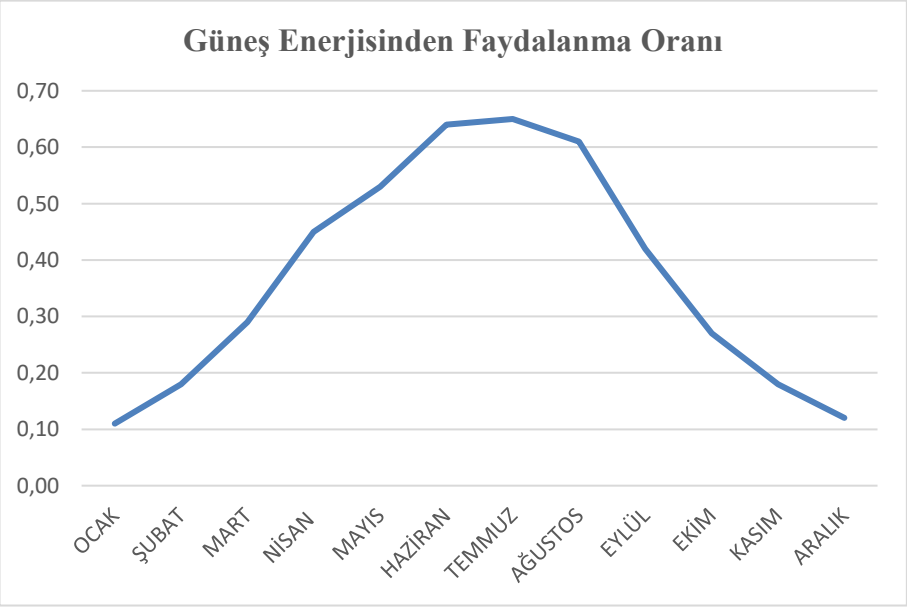
Şekil 3.13 : Parabolik oluklu güneş kollektörü verimliliği.

Çizelge 3.1 : Parabolik oluklu güneş kollektörü verimliliği.

Ay	**Verimlilik Değeri**
Ocak	%26
Şubat	%35
Mart	%42
Nisan	%49
Mayıs	%50
Haziran	%53
Temmuz	%54
Ağustos	%54
Eylül	%50
Ekim	%44
Kasım	%35
Aralık	%27

3.3 Güneş Enerjisinden Faydalanma Oranı

Tasarlanan sistemde güneş enerjisinden faydalanma oranı aylık olarak hesaplanmıştır. Bazı günlerde güneş enerjisinden elde edilen enerji, sistemin çıkışında elde edilmek istenen buhar şartlarına uymadığı için direkt kullanıma gönderilmek yerine buhar kazanına gönderilmiş ve burada istenilen şartlara getirilmiştir. Bölüm 3.1'de simülasyon çıktıları bölümünde elde edilen grafiklerden de görüleceği gibi bazı günlerde güneş enerjisinden elde edilen enerji buhar kazanına giren buharın ön ısıtılmasında kullanılmıştır. Güneş enerjisinden faydalanma oranı hesaplanırken; buhar jeneratöründe elde edilen enerji kazanımı, hem buhar jeneratöründen hem de buhar kazanından elde edilen enerji kazanımına oranlanarak bulunmuştur. Bu şekilde elde edilen güneş enerjisinden faydalanma oranı, grafik şeklinde Şekil 3.14'te, değerler şeklinde Çizelge 3.2'de detaylı olarak paylaşılmıştır. Güneş enerjisinden faydalanma oranı %65 ile en yüksek değere temmuz ayında ulaşmıştır. %65'lik en yüksek faydalanma oranı değerini %64 ile haziran ayı takip etmiştir. Güneş enerjisinden faydalanma oranının en düşük olduğu değerler sırası ile %11 ile ocak ayı ve %12 ile aralık ayı oluştur.



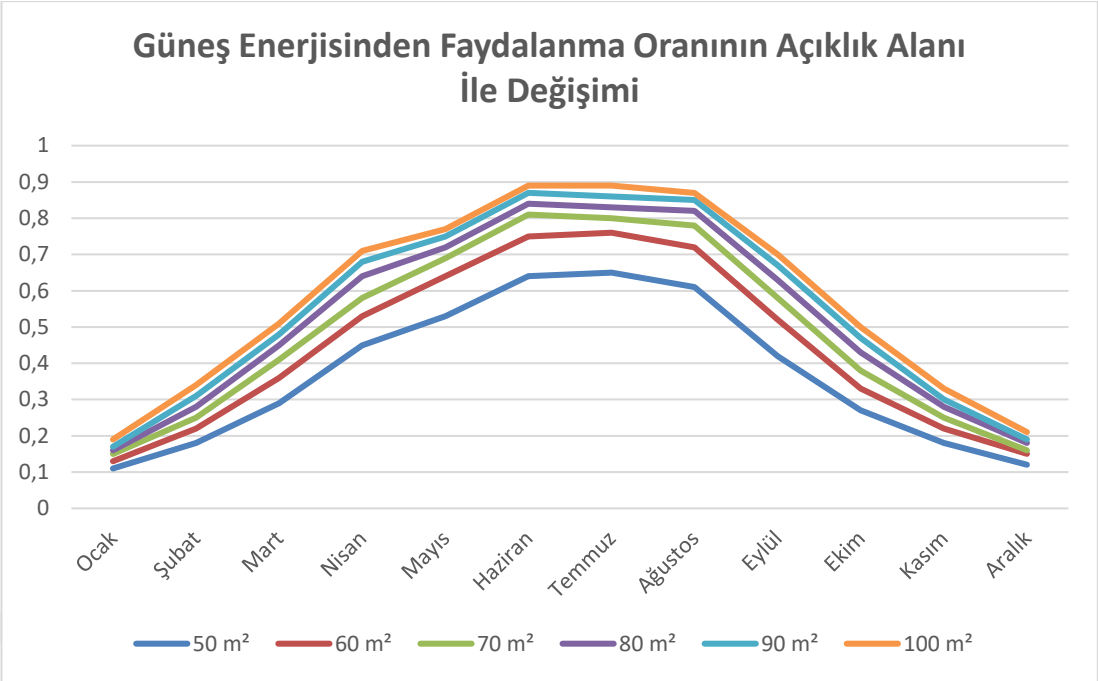
Şekil 3.14 : Güneş enerjisinden faydalanma oranı.

Çizelge 3.2 : Güneş enerjisinden faydalanma oranı.

Ay	Faydalanma oranı
Ocak	%11
Şubat	%18
Mart	%29
Nisan	%45
Mayıs	%53
Haziran	%64
Temmuz	%65
Ağustos	%61
Eylül	%42
Ekim	%27
Kasım	%18
Aralık	%12

3.4 Güneş Enerjisinden Faydalanma Oranının Açıklık Alanı İle Değişimi

Tasarlanan sistemde güneş enerjisinden faydalanma oranları her ay için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra sistemin farklı açıklık alanlarının faydalanma oranında yaptığı etkiler incelenmiştir. Sistem tasarımında kullanılan 50 m^2 açıklık alanından sonra sırası ile 60 m^2, 70 m^2, 80 m^2, 90 m^2 ve 100 m^2 açıklık alanları ile sistem koşturulmuş ve her açıklık alanı ölçüsü için aylık ve yıllık olarak güneş enerjisinden faydalanma oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler tek bir grafik halinde Şekil 3.15'te, sayısal değerler halinde Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Yıllık faydalanma oranları incelendiğinde 100 m^2 açıklık alanına sahip parabolik oluklu güneş kollektörü ile oluşturulmuş sistemin %57 yıllık güneş enerjisinden faydalanma oranıyla en yüksek değerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.15 : Güneş enerjisinden faydalanma oranının açıklık alanı ile değişimi.

Çizelge 3.3 : Güneş enerjisinden faydalanma oranının açıklık alanı ile değişimi.

Açıklık Alanı	**50 m^2**	**60 m^2**	**70 m^2**	**80 m^2**	**90 m^2**	**100 m^2**
			Aylık faydalanma oranları			
Ocak	%11	%13	%15	%16	%17	%19
Şubat	%18	%22	%25	%28	%31	%34
Mart	%29	%36	%41	%45	%48	%51
Nisan	%45	%53	%58	%64	%68	%71
Mayıs	%53	%64	%69	%72	%75	%77
Haziran	%64	%75	%81	%84	%87	%89
Temmuz	%65	%76	%80	%83	%86	%89
Ağustos	%61	%72	%78	%82	%85	%87
Eylül	%42	%52	%58	%62	%67	%70
Ekim	%27	%33	%38	%43	%47	%50
Kasım	%18	%22	%25	%28	%30	%33
Aralık	%12	%15	%16	%18	%19	%21
			Yıllık faydalanma oranları			
Yıllık Faydalanma Oranı	%37	%44	%48	%52	%55	%57

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Bursa, Türkiye konumunda bulunan bir sanayi işletmesinin buhar ihtiyacının karşılanması için, parabolik oluklu güneş kollektöründen elde edilecek buhar miktarının belirlenmesi araştırılmıştır. Araştırmaların sonucunda örnek bir sistem tasarlanmış ve bu sistemin çıktılarını görebilmek için, TRNSYS programı kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Sistem simülasyonu yapılırken, borulama tesisatında gerçekleşen ısıl kayıplar ihmal edilmiştir.

Farklı açıklık alanlarının, hem aylık hem de yıllık güneş enerjisinden faydalanma oranı üzerinde gerçekleştirdiği değişiklikler araştırılmış olup; 50 m^2, 60 m^2, 70 m^2, 80 m^2, 90 m^2 ve 100 m^2 açıklık alanları simülasyon programında incelenmiştir. Açıklık alanlarının 10 m^2'lik değişimlerle arttırılması sonucunda elde edilen değerler; 70 m^2'ye kadar elde edilen aylık güneş enerjisinden faydalanma oranı artış yüzdesinin, 70 m^2 açıklık alanından sonra daha düşük bir yüzde ile arttığını göstermiştir.

Sistem tasarımında parabolik oluklu güneş kollektörünün açıklık alanı 50 m^2, odaklama oranı 23,17 olarak seçilmiştir. Buhar çıktısı; 6 bar- 165°C sıcaklıkta, 150 kg/h kapasitede, çalışma saatleri içerisinde sürekli olarak sağlanmıştır. Parabolik oluklu güneş kollektörünün verimi; Bursa ili koşullarında temmuz ve ağustos aylarında %54'lük değer ile maksimum değere ulaşmıştır. Aylık güneş enerjisinden faydalanma oranı; %65'lik değer ile maksimum değere temmuz ayında ulaşmıştır. Yıllık güneş enerjisinden faydalanma oranı ise %37 olarak hesaplanmıştır.

Simülasyon çalışmaları, literatür araştırmasında incelenen çalışmalar ile karşılaştırıldığında; parabolik oluklu güneş kollektörü için hesaplanan %54'lük maksimum verim değerinin, literatürde bulunan %55,1 [10], %63 [11], %72 [12], %53 [13] ve %56 [14] maksimum verim değerleri ile; aylık güneş enerjisinden faydalanma oranı için hesaplanan %65'lik maksimum güneş enerjisinden faydalanma oranı değerinin, literatürde bulunan %60,2'lik [9] maksimum güneş enerjisinden faydalanma oranı değeri ile tutarlı olduğu görülmüştür.

Gelecekteki çalışmalar için; bu çalışmada Bursa, Türkiye koşullarında açıklık alanı 50 m^2 ve odaklama oranı 23,17 olan parabolik oluklu güneş kollektörü ile buhar üretiminin koşulları incelenmiştir. Tasarlanan sistem TRNSYS programında simüle edilmiştir. Her ay için ayrı ayrı olmak üzere; parabolik oluklu güneş kollektörünün verimliliği ve buhar üretiminde güneş enerjisinden faydalanma oranları hesaplanmıştır. Her ay için ayrı ayrı hesaplanan aylık güneş enerjisinden faydalanma oranları kullanılarak, yıllık güneş enerjisinden faydalanma oranı hesaplanmıştır. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda parabolik oluklu güneş kollektörünün verimi, maksimum %54'lük değer ile temmuz ve ağustos aylarında; aylık güneş enerjisinden faydalanma oranı, maksimum %65'lik değer ile temmuz ayında bulunmuştur. Yıllık güneş enerjisinden faydalanma oranı %37; yıllık üretilen buhar miktarı 393.800 kg ve direkt olarak güneş enerjisinden üretilen buhar miktarı 97.800 kg olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

[1] **Koç, E., ve Şenel, M. C.** (2013). "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu- Genel Değerlendirme," Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 532-44.

[2] **Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., & Tandiroğlu, A.** (2016). "Parametric Optimization and Exergetic Analysis Comparison of Subcritical and Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Biogas Fuelled Combined Heat and Power (CHP) Engine Exhaust Gas Waste Heat. Energy," Vol. 111, p. 923-932.

[3] **Url-3 <***https://www.irena.org*>, erişim tarihi 05 Temmuz 2020.

[4] **Url-4** <*https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019*>, erişim tarihi 05.07.2020.

[5] **IEA**. (2018). Renewables Information. doi:10.1787/renew-2015-en.

[6] **Hernández-Moro, J. ve Martínez-Duart, J.M.** (2016). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 119–132. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.082.

[7] **Sharma, A.K., Sharma, C., Mullick S.C., & Kandpal, T.C.** (2017). Solar industrial process heating: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78(April), 124–137. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.079.

[8] **Kaygusuz, K.** (2011). Prospect of concentrating solar power in Turkey: The sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 808–814. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2010.09.042.

[9] **Muneer, T., Asif, M., Cizmecioglu, Z., & Ozturk, H.K.** (2008). Prospects for solar water heating within Turkish textile industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(3), 807–823. https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.024.

[10] **Chafie, M., Ben Aissa, M.F., Bouadila, S., Balghouthi, M., Farhat, A., & Guizani, A.** (2016) Experimental investigation of parabolic trough collector system under Tunisian climate: Design, manufacturing and performance assessment", Applied Thermal Engineering, Vol. 11, No.741.

[11] **Qu, W., Wang, R., Hong, H., Sun, J., & Jin, H.** (2017) "Test of a solar parabolic trough collector with rotatable axis tracking", Applied Energy, Vol. 207, 7-17.

[12] **Qu, H. ve Wang, M.** (2015) "Experimental Study of a Parabolic Trough Medium Temperature Solar Thermal System", International Conference on

Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Energy Procedia, Vol. 70, 504-509.

[13] **Kumar, S. ve Kumar, D.** (2018) "Thermal performance of the solar parabolic trough collector at different flow rates: an experimental study", International Journal of Ambient Energy, 93-102.

[14] **Ghazzani, B.E., Plaza, D.M., Cadi, R.A.E., Ihlal, A., Abnay, B., & Bouabid, K.** (2017) Thermal plant based on parabolic trough collectors for industrial process heat generation in Morocco.

[15] **Güngör, E.** (2015) 200kW gücünde yoğunlaştırıcılı güneş ısıl santralinin tasarımı. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

[16] **Abdel-Dayem, A.M.** (2011) Numerical-simulation and experimental-validation of the largest Egyptian solar process-heat system. Journal of Renewable And Sustainable Energy 3, 043102.

[17] **Al Asfar, J., Ayadi, O., & Al Salaymeh, A.** (2014) "Design and performance assessment of a parabolic trough collector", Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Vol. 8, No.1, 1-5.

[18] **Liu, Z., Tao, G., Lu, L., & Wang, Q.** (2014) A novel all-glass evacuated tubular solar steam generator with simplified CPC. Energy Conversion and Management, 86, 175–185.

[19] **Url-19** <*https://www.trnsys.org*>, erişim tarihi 31 Ağustos 2020.

[20] **Anonim.** (2014) TRNSYS 17 a Transient System Simulation Program Volume 4 Mathematical Reference. University of Wisconsin-Madison, Madison.

[21] **Anonim.** (2014) TRNSYS 17 a Transient System Simulation Program Volume 10 Solar Library Mathematical Rederences. University of Wisconsin-Madison, Madison.

[22] **Duffie, J.A., ve Beckman, W.A.** (1991) Solar Engineering of Thermal Processes – Second Edition, Wiley-Interscience, New York.

[23] **Anonim.** (2013) TRNSYS 17 a Transient System Simulation Program Volume 13 Combined Heat and Power (CHP) / CoGeneration Library Mathematical Reference. University of Wisconsin-Madison, Madison.

[24] **Ali Rezaie Navaie.** (2017) Thermal Design and Optimization of Heat Recovery Steam Generators and Waste Heat Boilers. Technische Universität Berlin Institut für Energietechnik.

[25] **Anonim.** (2012) TRNSYS 17 a Transient System Simulation Program Volume 2 Using the Simulation Studio. University of Wisconsin-Madison, Madison.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Koray VATANSEVER

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 1993 / BURSA

E-posta **:** koray.vatansever@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2016, Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği