



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

1 MW KAPASİTELİ BİR GÜNEŞ ISIL GÜÇ SANTRALİNİN TASARIMI VE TERMODİNAMİK ANALİZİ

**DENİZ GULER
AHMET MUTLU
ERDİ GÜNEY
BAŞAR ÇAĞLAR
ARİF HEPBAŞLI
MUSTAFA ARAZ
YAŞAR ÜNİVERSİTESİ**

1 MW KAPASİTELİ BİR GÜNEŞ ISIL GÜÇ SANTRALİNİN TASARIMI VE TERMODİNAMİK ANALİZİ

Design and Thermodynamic Analysis of a 1 MW Solar Thermal Power Plant

Deniz GULER
Ahmet MUTLU
Erdi GÜNEY
Başar ÇAĞLAR
Arif HEPBAŞLI
Mustafa ARAZ

ÖZET

Fosil yakıt kaynaklarının ve ulaşılabilirliğinin kısıtlı olması, ayrıca yarattığı olumsuz çevresel etkiler nedeniyle, yenilebilir enerji kaynakları kullanarak güç üreten santraller, fosil yakıtla çalışan geleneksel güç santrallerine bir seçenek oluşturmaktadır. Ülkemizdeki yüksek güneş enerjisi potansiyeli dikkate alındığında, güneş ısı güç santralleri, yenilebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmek için kullanılacak etkin yöntemlerden biridir. Güneş ısı güç santrallerinde kullanılan aynalar ve bu aynalara bağlı güneşi izleme sistemleri vasıtasıyla geniş bir alana düşen güneş ışınları, nispeten küçük bir alana yansıtılır. Yansıtılan güneş enerjisi akışkan, türbin ve jeneratör kullanılarak elektriksel işe dönüştürülür. Bu çalışmada, 1MW'lık bir güneş ısı güç santralini termodinamik analizi Engineering Equation Solver yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve bir tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Santralin, 493 W/m² tasarım DNI' ye sahip olan Aydın'daki Nazilli ilçesine kurulması planlanmış ve güneş kolektörü olarak 8228 m² 'lik kolektör alanlı bir parabolik çukur kolektörü seçilmiştir. Yapılan analizde ısı transfer sıvısı olarak Terminol VP-1 kullanılmış, termal depolama malzemesi olarak ise 6 saatlik termal depolama kapasiteye sahip %60 NaNO₃ %40 KNO₃ karışımından oluşan erimiş tuz seçilmiştir. Rankine çevrimindeki türbini döndürmek için gerekli olan çalışma sıvısı su/buhar olarak kararlaştırılmıştır. Yapılan analizin sonucunda toplam santral verimi %14 kabul edilerek tasarlanan güneş ısı santralini ısı verimi (elde edilen mil işinin akışkana verilen ısıya oranı) %35, Rankine çevriminin brüt verimi %41.58 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Parabolik oluk kolektör, ısı transfer sıvısı, rankine çevrimi, termal depolama, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ısı santrali.

ABSTRACT

Renewable energy power stations are preferred over the conventional fossil fuel-driven power plants due to the limited availability of fossil fuels and environmental concerns. Solar thermal power plants provide a promising way to generate electricity in Turkey due to the high energy potential of the country. Solar thermal power plants use reflectors that capture and focus sunlight onto a receiver via tracking systems. The captured solar energy is converted to electrical work by using a heat transfer fluid, a turbine and a generator. In this project, a thermodynamic analysis of 1MW solar thermal power plants was performed by using the Engineering Equation Solver software and a design methodology was developed. The power plant was planned to be installed at Nazilli in Aydın having 493 W/m² design DNI and a parabolic trough collector with area of 8228 m² was used to collect solar energy. Terminol VP-1 and eutectic mixture of 60% NaNO₃ and 40% KNO₃ called molten salt was used as a heat transfer fluid and thermal storage material respectively. Molten salt has a 6 hour thermal storage capacity with 1.76 SM. Water and steam was used as working fluids to drive turbine in

rankine cycle. Based on our design considerations, the thermodynamic analysis showed that, the thermal efficiency of solar field is 35 %, total plant efficiency is 14 % and, gross efficiency is 41.58 %.

Keywords: Parabolic trough collector, heat transfer fluid, rankine cycle, thermal storage, concentrated solar power plant.

1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacı, artan dünya nüfusuyla doğru orantılı olarak yıldan yıla artış göstermektedir. Günümüzde dünya toplam enerji üretiminin yaklaşık %80 i kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar tarafından sağlanmaktadır. Toplam enerji üretiminde yüksek bir paya sahip olmalarına rağmen fosil yakıt rezervleri sınırlıdır. Bunun yanında yoğun fosil yakıt kullanımı zararlı gaz emisyonları (örneğin, CO₂, NO_x, SO₂) miktarını arttırarak sera etkisine neden olmakta, ekonominin yoğun fosil yakıt bağımlılığı, siyasi ve sosyo-ekonomik problemlere yol açmaktadır [1]. Fosil yakıtlardan kaynaklanan ekonomik ve çevresel olumsuzluklar nedeniyle, çevre dostu olan ve sınırsız kaynaklara sahip yenilenebilir enerji kaynakları geçtiğimiz yıllarda önem kazanmıştır. 2012 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki payı %12'dir ve bu oran yıllar içerisinde artış göstermektedir [2]. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en yüksek potansiyele sahip olan güneş enerjisidir. Güneş enerjisi ısı ve elektrik üretmek için kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi kullanarak elektrik üretmenin iki yolu vardır: Fotovoltaik güneş hücreleri ve güneş ısı gücü santralleri. Fotovoltaik güneş hücreleri, güneşten gelen fotonların enerjisini kullanarak yarıiletken malzemeler yardımıyla doğrudan elektrik üretirler [3]. Fotovoltaik hücrelerin ürettiği doğru akım, evirici adı verilen cihazlarla alternatif akıma çeviriler ve daha sonra şebekeye verilirler. Bu, %4 ile %12 aralığında enerji kaybına sebep olur. Güneş enerjisiyle elektrik üretmenin diğer yolu olan güneş ısı gücü santralleri daha yüksek verime ve daha yüksek ekonomik getiriye sahiptirler (bu kısma referans verin). Ayrıca, ısı depolama ve hibrid sistem olanağına sahip olması nedeniyle, fotovoltaik teknolojilere kıyasla daha fazla güç üretimine olanak sağlar. Böylece, geceleri ve güneş ışığının yetersiz olduğu bulutlu günlerde bile elektrik üretimi devam eder [2]. Güneş ısı gücü santralleri, güneş kolektörlerinin, güneş ışınlarını bir odak hattına veya tek bir odak noktasına konsantre edip etmemesine bağlı olarak iki tipte incelenebilir. Odak hattına yoğunlaştırma yapan sistemler, parabolik oluk yoğunlaştırıcı sistemler ve Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılardan oluşur. Nokta odaklama sistemleri ise parabolik çanak ve güneş kulesi sistemlerden meydana gelir [3].

Parabolik oluk yoğunlaştırıcı sistemler, teknik olarak kendini ispatlamış ve en çok kullanılan yoğunlaştırıcı sistemlerdir. Parabolik oluk kolektörler, güneş ışınlarını alıcı bir boru üzerine yoğunlaştıran parabolik aynalardan meydana gelir. Alıcı boru, parabolik aynanın orta kısmının biraz üzerine konumlanmış ve içinde özel sıvılar bulunan borulardır. Yoğunlukla kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilmiş aynalar gündüz zamanları güneşi doğudan batıya doğru izleyerek, güneş ışınlarını alıcı boru üzerine odaklar ve borunun içinde bulunan sıvıyı 150-400 °C sıcaklığa kadar ısıtır ve sıvıyı ısı kaynağı durumuna getirir. Daha sonra, sıvı içindeki ısı, buhar elde etmek amacıyla güç çevrimine aktarılır ve elde edilen su buharı ile buhar türbini döndürülür [4].

Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar, yan yana birçok sayıda küçük ve düz aynaların, güneş ışınlarını aynaların orta üst kısmında bulunan alıcı boru üzerinde doğrusal odaklanma prensibine dayanarak çalışırlar. Bu sistemin kurulum maliyeti, parabolik oluk kolektörlere kıyasla daha düşüktür, üstelik güneş ışınlarını daha geniş bir alandan toplayabilir fakat toplam sistem verimi parabolik oluk kolektörlere göre daha düşüktür ayrıca parabolik oluk kolektörler kadar yaygınlaşmamıştır [5].

Parabolik çanak sistemlerinde, ısı, konkav şekline büyük bir aynanın odağında bulunan bir alıcı üstünde toplanır ve alıcının hemen arkasında bulunan stirling (gaz) motoru tarafından mekanik enerjiye ve daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürülür. Parabolik çanak sistemlerinde güneş iki eksen boyunca takip edilir ve odaklanma oranı çok yüksektir. Alıcı sıcaklığı 700 °C mertebesine kadar çıkar. Çevrim akışkanı olarak Helyum gibi hafif gazlar tercih edilir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri arasında en yüksek çalışma verimine sahiptir ancak kurulum maliyetleri yüksektir [5].

Güneş kulesi sistemleri, güneş ışınlarını yüksek bir kule üzerinde bulunan alıcı üzerine yansıtan ve heliostat adı verilen çok sayıda aynadan oluşur. Alıcı içinden geçen eriyik tuz, sıcak gaz veya su gibi maddeler alıcı içinde 500-1000 ° C sıcaklığa kadar ulaşır ve ısıyı kulenin hemen yanındaki güç merkezine taşır ve taşınan ısı, buhar veya gaz türbini tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Isıl depolama olanağı ve yüksek verime sahip olmasına rağmen yüksek maliyeti nedeniyle ticari uygulamalarda parabolik oluk sistemlere kıyasla henüz yaygınlık kazanamamıştır [5]. Mevcut teknolojiler arasında en uygun ve ticari olarak kendini ispatlamış teknoloji parabolik oluk sistem teknolojisidir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi araştırmalarında Almanya, İspanya, ABD, İtalya, Fransa, İsviçre ve Avustralya başı çekmektedir. Bu ülkelerde hem üniversite ve araştırma enstitüleri hem de yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sektöründe aktif olan çok sayıda firma mevcuttur. Güney Afrika, Hindistan, Tayland, Y. Zelanda vb. diğer ülkeler de henüz deney aşamasında olan çalışmalarını sürdürmektedirler. ABD Kaliforniya'daki SEGS ve Nevada'daki Nevada Solar One santrallerinin yanı sıra İspanya'daki çok sayıda santral parabolik oluk teknolojisiyle kurulmuşlardır [6]. Türkiye'nin bu sektörde yolun başında olduğunu söylemek mümkündür fakat üç araştırma projesi dikkati çekmektedir.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Solitem Firması işbirliğiyle, 2010 yılında, ODTÜ Kıbrıs yerleşkesi içine 120 kWt gücünde bir pilot elektrik, ısıtma ve soğutma tesisi kurulmuştur. Türk- Alman ortaklığı ile kurulan bu sistemde, parabolik oluk kolektörlerden yararlanılmış ve 216 m² alanda 12 kW elektrik üretebilecek şekilde tasarlanmıştır [5]. Mersin Toroslar beldesinde, Greenway Solar Firması tarafından kurulan tesiste, güneş kulesi sistemi tasarımına yönelmiş ve 5 MW elektrik üretimi elde edilmiştir [5]. Hitit Solar Firması ise, parabolik oluk kolektörler kullanarak, doğrudan buhar üreten 500 kWt gücünde bir pilot tesisi 2009 yılında Zorlu Enerji Firması'nın talebi doğrultusunda Denizli Kızıldere'de hayata geçirmiştir [5].

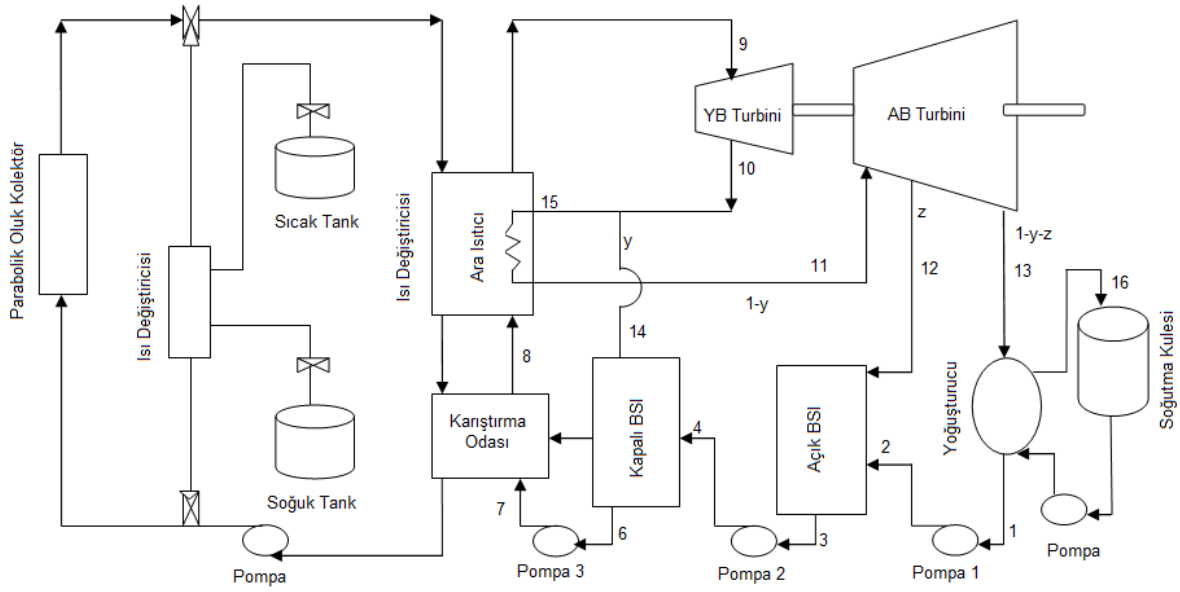
Bu çalışmada 1 MW kapasiteye sahip parabolik oluk sistemleri ile güneş enerjisini toplayan güneş ısı santralleri Aydın-Nazilli bölgesinde kurulma hedefi ile tasarlanmıştır. Tasarlanan güneş ısı güç santralinin termodinamik analizi Engineering Equation Solver yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve bir tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Çalışma sonunda santralin çevrim verimlilikleri hesaplanmıştır. Çalışma Türkiye'de ve dünyada güneş ısı santrallerinin tasarımı ve termodinamik analizine yönelik çalışmaların az olması nedeniyle önem kazanmaktadır. Yüksek güneş enerjisi potansiyele sahip ülkemizde güneş ısı santrallerinin uygulanabilirliğinin belirlenmesi açısından öncü bir çalışma olması hedeflenmektedir.

2. GÜNEŞ ISIL GÜÇ SANTRALİNİN TASARIMI VE TERMODİNAMİK ANALİZİ

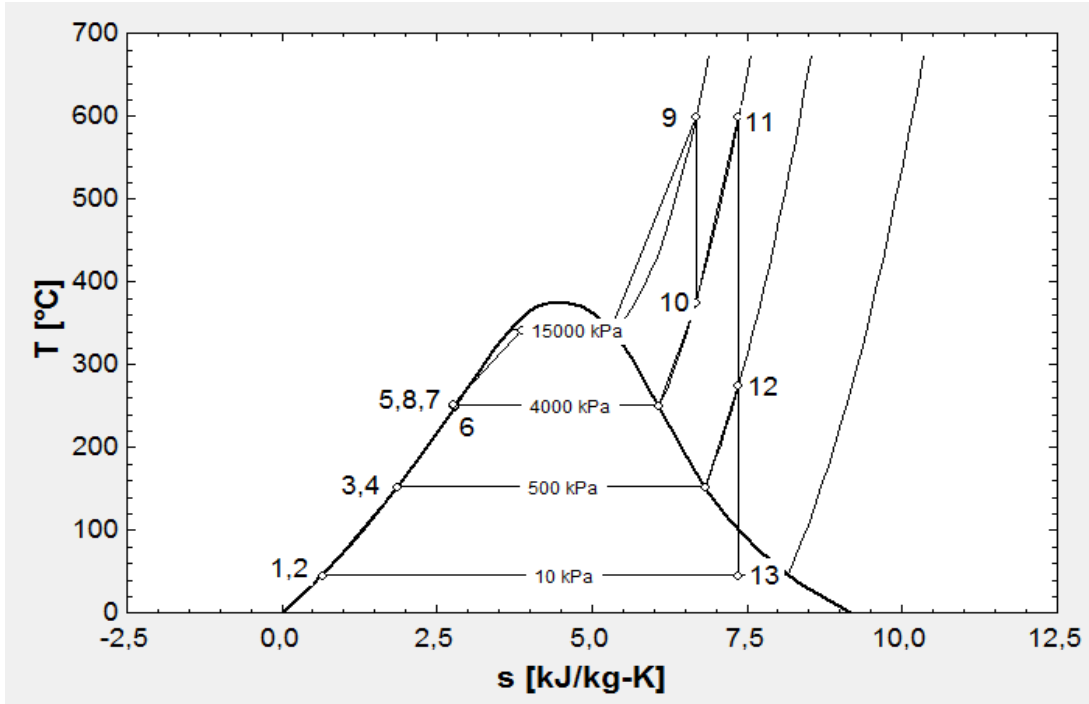
2.1 Santral Konfigürasyonu

Bu çalışmada tasarlanan güneş ısı güç santralinin proses akış şeması Şekil 1'de, çevrimin T-s diyagramı ise Şekil 2'de gösterilmektedir. Santral üç ana bölümden oluşmaktadır: (i) Güneş enerjisi toplama bölümü, (ii) Termal depolama bölümü, (iii) Türbin, yoğunlaştırıcı, jeneratör ve soğutma kulesinden oluşan güç bloğu bölümü. Şekil 1'de sol tarafta gösterilen güneş toplama bölümünde güneş ışınları parabolik oluklu kolektörler tarafından toplanır ve alıcı boru üzerinde odaklanır. Alıcı boru içinde bulunan ısı transfer sıvısı, alıcı boru boyunca dolaşarak ısıtılır. Bu çalışmada ısı transfer sıvısı olarak Terminol VP-1 seçilmiştir. Isıtılan transfer sıvısı, bir ısı eşanjörü yardımıyla ısısını termal depolama malzemesi olan ve %60 NaNO₃ - %40 KNO₃ bileşiminden oluşan erimiş tuza aktarır ve burada depolanan ısı enerji daha sonra güç ünitesinde buhar eldesinde kullanılır. Güç ünitesinde kullanılan çalışma sıvısı olarak su tercih edilmiştir. Termal depolama gerekli değilse, ısı enerjisi doğrudan güç ünitesinde buhar elde etmek amacıyla kullanılır. Güç ünitesinde Rankine çevrimi kullanılmıştır. Isı transfer sıvısı ile yapılan ısı alışverişi sonunda elde edilen yüksek sıcaklık ve basınçtaki buhar yüksek basınç ve alçak basınç türbinlerinden geçerek elektriksel iş üretir. Türbin sistemi çıkışında enerjisini kaybeden buhar düşük basınç ve sıcaklıktaki doymuş buhara dönüşerek kondenser ünitesine girer. Kondenser ünitesinde yoğunlaştırılan buhar sıvıya dönüşür ve sırasıyla,

açık besleme suyu ısıtıcısı, kapalı besleme suyu ısıtıcısı ve karıştırma odası gibi çeşitli birimler aracılığıyla ısı eşanjörü ünitesine geri pompalanır. Kondenser için soğutma sıvısı, soğutma kulesi çıkışından sağlanmaktadır.

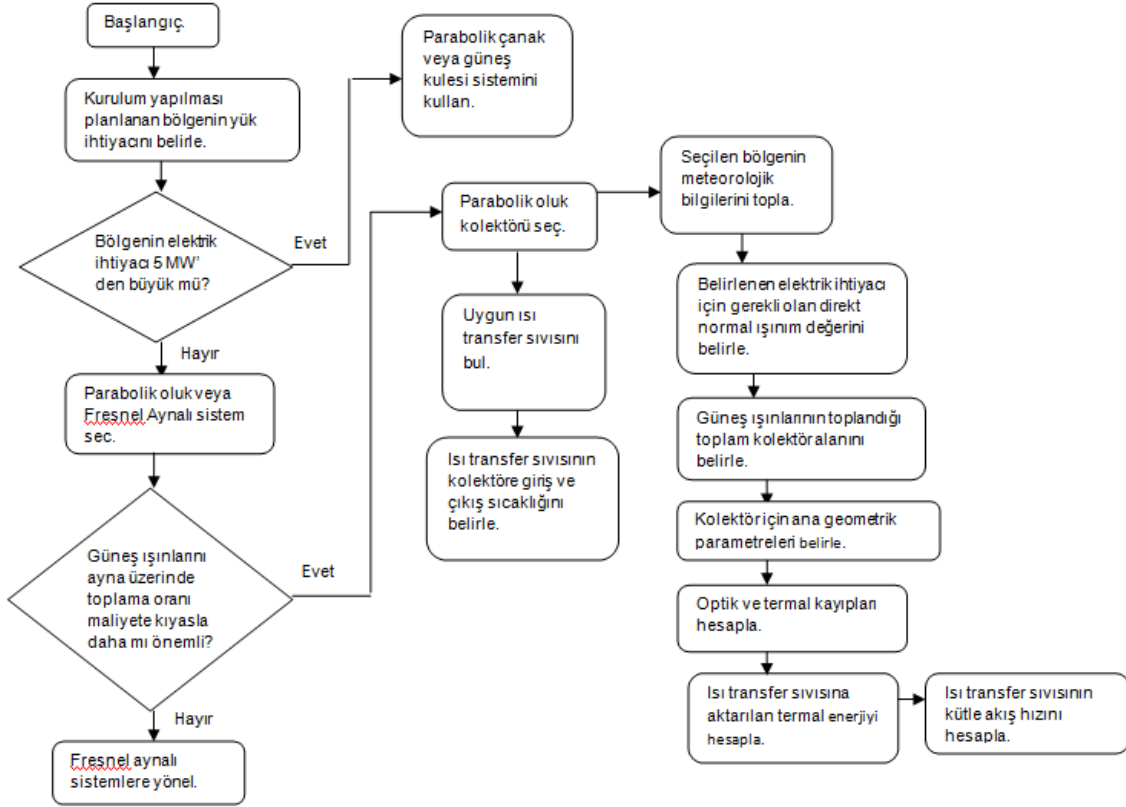


Şekil 1. Güneş ısı santralinin akış şeması



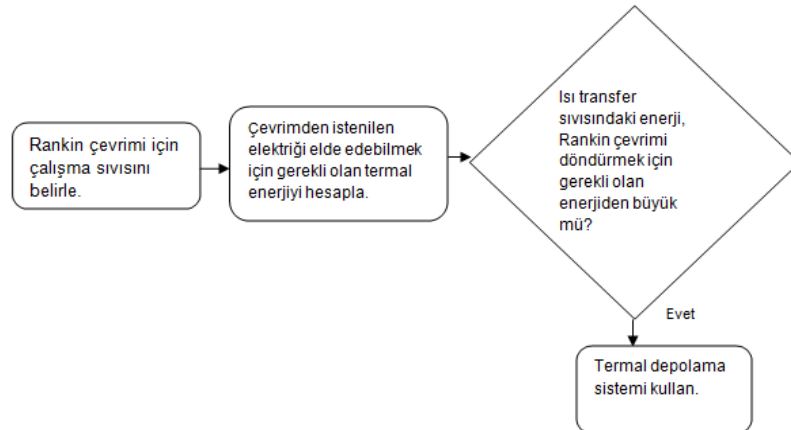
Şekil 2. Rankine çevriminin T-s diyagramı

2.2 Santral Tasarım Yöntemi



Şekil 3. Güneş ısı gücü santrali güneş toplama bölümünün tasarım yöntemi

Güneş ısı santrali güneş toplama ve güç üretme bölümlerinin tasarım yöntemi şematik olarak Şekil 3 ve 4'te gösterilmektedir. Güneş toplama bölümünün tasarımında ilk olarak 1 MW elektriksel güç üretebilecek bir güneş ısı santrali hedeflenmiş ve santralinin kurulması düşünülen Aydın-Nazilli bölgesi için güneş yük profili çıkarılmıştır. Santralin güneş yük profiline göre kolektör tipi belirlenmiştir. Kolektör tipi belirlendikten sonra, ısı transfer sıvısı, toplayıcının çalışma sıcaklığı aralığına bağlı olarak seçilmiş, daha sonra ısı transfer sıvısının giriş ve çıkış sıcaklığı, seçilen malzemeye bağlı olarak bulunmuştur. İkinci olarak, tasarım direkt normal ışınım (DNI), kolektörlere gelen toplam güneş enerjisi, güneş kolektörleri toplam alanı, optik ve termal kayıplar ve ısı transfer sıvısına aktarılan ısı enerjisi sırasıyla bulunmuştur. Son olarak, güneş tarlası kısmındaki ısı transfer sıvısının kütleli debisi hesaplanmıştır.



Şekil 4. Rankine çevrimi tasarım yöntemi

Güç üretme bölümünün tasarımında öncelikle Rankine çevrimi için çalışma sıvısı seçilmiş ve çevrimi döndürebilmek için gerekli olan ısı enerjisi hesaplanarak, termal depolama veya fosil yakıt yedekleme sistemi gerekip gerekmediği belirlenmiştir.

2.3. Analiz

2.3.1 Güneş Toplama Bölümünün Analizi

Güneş ısı gücü santrali güneş toplama ünitesinde toplanan güneş enerjisinin belirlenmesi için gereken hesaplamalar PVGIS yazılımı ve literatürde bulunan kabuller kullanılarak yapılmıştır. Parabolik güneş kolektörlerinin üzerine gelen güneş enerjisi eşitlik(1) kullanılarak belirlenmiştir [7].

$$\dot{Q}_{SOL} = A_c \times DNI = \dot{W} \div \eta_{\text{santral}} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de \dot{Q}_{SOL} kolektöre gelen güneş enerjisini, \dot{W} edilmek istenen elektriksel çıktıyı, η_{santral} santral verimini, DNI direkt normal ışınım ve A_c toplam kolektör alanını ifade etmektedir. Denklem 1'de görüldüğü gibi kolektörler üzerine gelen güneş enerjisi \dot{Q}_{SOL} edilmek istenen elektriksel çıktının \dot{W} , kabul edilen santral verimine, η_{santral} bölünmesiyle bulunmuştur. Santral verimi olarak literatürdeki 1 MW'lık güneş ısı santrali için kullanılan %14 değeri alınmıştır [7]. Kolektörler üzerine gelen güneş enerjisi hesaplandıktan sonra yine literatürde toplam kolektör alanı için verilen değer olan 8228 m² kullanılarak dizayn DNI değeri hesaplanmıştır. Güneş toplama bölümü için literatürden yararlanılarak yapılan kabuller Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Güneş tarlası kısmında yapılan bazı kabuller [7]

Toplam kolektör alanı (m ²)	8228
R,kolektörler arası mesafe (m)	17,31
W,kolektör genişliği (m)	5,77
F,odak uzunluğu(m)	1,71
L,kolektör uzunluğu(m)	150
η_{CLN}	0,98
$\eta_{\text{OPT,R}}$	0,75
q_{pipe}	5
q_{tube}	5
Isı transfer sıvısı giriş/çıkış sıcaklığı (°C)	204/305
Isı transfer sıvısı giriş/çıkış entalpileri,h (kJ/kg)	344,9/566,2
Isı transfer sıvısı giriş, özgül ısı kapasitesi, c_p ,kJ/kgK	2,058
Isı transfer sıvısı çıkış özgül özgül ısı kapasitesi, c_p ,kJ/kgK	2,32
Santral net verimi	%14

Güneş kolektörlerinde kolektöre gelen güneş enerjisi ile alıcı borular üzerine yoğunlaştırılan termal enerji, yoğunlaştırma işlemi sırasında oluşan optik kayıplar nedeniyle aynı değildir. Alıcı borular üzerine yoğunlaştırılan termal enerjiyi, QRCV, bulmak için eşitlik(2) kullanılmıştır [7].

$$RCV = \text{OPT, R END SHD CLN} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de OPT, R optik kayıpları, η_{SHD} gölge verimliliği, η_{CLN} ayna ve cam tüp temizlik verimliliği, η_{END} geometrik u η_{CLN} ise yansıma verimliliği ve η_{SHD} ni göstermektedir. η_{SHD} ve η_{END} değerleri (3) ve (4) nolu eşitliklerle bulunurken, OPT, R ve CLN değerleri ise literatürden alınmıştır (Tablo 2) [7].

$$(3)$$

Eşitlik (3)'de, kolektörün odak uzaklığı, 'F' ile kolektörün uzunluğu ise 'L' ile gösterilir [7].

(4)

Eşitlik (4)'de, kolektörler arasındaki sıra mesafesi ve kolektör genişliği sırasıyla R,W harfleri ile simgelenmektedir. Eşitlik (3) ve (4) deki F,L,R ve W değerleri de literatürden alınmıştır [7] ve Tablo 1'de gösterilmektedir [7].

Eşitlik (2)'de bulunan geliş açısı düzenleyicisi, $IAM(\theta)$, eşitlik (5) kullanılarak belirlenmiştir. θ güneş ışınları ile kolektör yüzeyinin normali arasındaki açıyı simgelemektedir [7].

$$IAM(\theta) = IAM(\theta_L) \times IAM(\theta_T) \quad (5)$$

Eşitlik (5)'de bulunan θ_L ve θ_T gelme açısının dikey ve yatay bileşenlerini simgelemektedir. Bu değerler (6) ve (7) nolu eşitlikler kullanılarak bulunmuştur [7].

$$\tan(\theta_T) = \frac{\sin(\gamma)}{\cos(\alpha)} \quad (6)$$

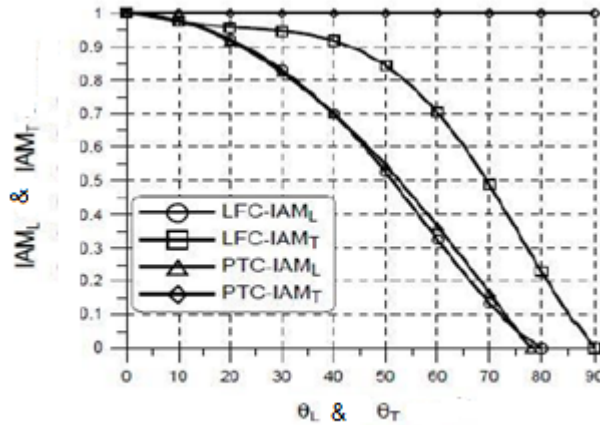
$$\sin(\theta_L) = \cos(\gamma) \times \sin \alpha \quad (7)$$

Bu eşitliklerdeki α , güneş yükseklik açısını, γ ise azimut açısını simgelemektedir ve bu açılar Aydın, Nazilli bölgesi ($37^\circ 91' K$, $28^\circ 324' D$) için PVGIS yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. PVGIS yazılımından elde edilen meteorolojik tasarım parametreleri

Ortalama Çevresel Sıcaklık ($^\circ C$)	18,7 $^\circ$
Güneş Yükseklik Açısı (α)	75,54 $^\circ$
Azimut Açısı (γ)	0 $^\circ$

Gelme açısının dikey ve yatay bileşenlerini belirledikten sonra, $IAM(\theta_L)$ ve $IAM(\theta_T)$ değerleri Şekil 4'teki grafik yardımı ile elde edilmiş ve bu değerlere göre $IAM(\theta)$ değeri hesaplanmıştır.



Şekil 5. Geliş açısı düzenleyicisi [7]

Bütün değerler belirlendikten sonra eşitlik (2) kullanılarak alıcı borular üzerine yoğunlaştırılan termal enerji, Q_{RCV} hesaplanmıştır. Isı transfer sıvısına aktarılan termal enerji, Q_{HTF} , alıcı borular üzerine yoğunlaştırılan termal enerjiden boru üzerindeki toplam termal kayıp \dot{Q}_{THR} çıkarılarak bulunur (Eşitlik 8). \dot{Q}_{THR} 9 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [7].

$$\dot{Q}_{HTF} = \dot{Q}_{RCV} - \dot{Q}_{THR} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{THR} = [q_{tube} + q_{pipe}] \times A_c \quad (9)$$

Eşitlik 9'da q_{tube} alıcı tüpte birim alanına düşen ısı kaybı, q_{pipe} ise alıcı boruda birim alana düşen ısı kaybı anlamına gelmektedir [7].

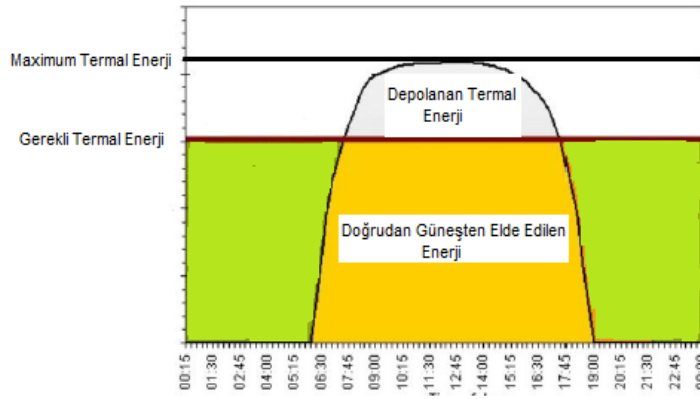
$$\dot{Q}_{HTF} = \dot{m} \times c_{p, HTF} \times (T_{HTF, out} - T_{HTF, in}) \quad (10)$$

Isı transfer sıvısına aktarılan termal enerji eşitlik (8) ve (9) yardımı ile bulunduktan sonra 10 numaralı eşitlik kullanılarak ısı transfer akışkanının kütleli debisi, \dot{m}_{HTF} bulunmuştur. Eşitlikteki $c_{p, HTF}$ ısı transfer sıvısının özgül ısı kapasitesi, $T_{HTF, out}$ ısı transfer sıvısı kolektör çıkış sıcaklığı ve $T_{HTF, in}$ ısı transfer sıvısı kolektör giriş sıcaklığı anlamına gelmektedir. Bu değerler literatürden alınmıştır [7].

Sistemin güneşten gelen fazla enerjiyi depolama kapasitesi eşitlik 11 ve Şekil 6'te görülen grafik kullanılarak saat cinsinden bulunur [8].

$$\text{Depolama Kapasitesi} = (\dot{Q}_{HTF, stored} \times t) \div \dot{Q}_{rated} \quad (11)$$

Eşitlik (11)'deki \dot{Q}_{rated} çevrim girişinde 1 MW elektrik elde edebilmek için gerekli olan enerjiyi, $\dot{Q}_{HTF, stored}$ depo edilen toplam ısı enerjisi, t ise bir gün için ortalama güneşlenme süresini simgelemektedir.



Şekil 6. Termal enerji - zaman eğrisi [8]

Depolama malzemesinin kütleli debisi ve kütlesi ise eşitlik (12) ve (13) kullanılarak bulunur [8].

$$\dot{Q} = \dot{m}_{SM} \times c_{p, SM} \times \Delta T \quad (12)$$

$$M_{SM} = V_{TANK} \times \rho_{SM} \quad (13)$$

Burada \dot{m}_{SM} depolama malzemesinin kütleli debisini, $c_{p, SM}$ depolama malzemesinin özgül ısı kapasitesini, V_{TANK} sıcak ve soğuk tankların hacmini ve ρ_{SM} depolama malzemesinin özkütlesini simgelemektedir.

Termal depolama malzemesi olarak kullanılan erimiş tuzun soğuk tank sıcaklığı 265 °C sıcak tank sıcaklığı 565 °C, özkütlesi 1870 kg/m³, ortalama ısı iletkenliği 0.52 w/mK, ortalama özgül ısı kapasitesi 1,8 kJ/kgK, olarak kabul edilmiştir [9].

2.3.2 Güç Üretim Bölümünün Analizi

Güç üretim bölümünün analizinde Tablo 3 ve 4'de listelenen kabuller kullanılmıştır. Bu kabuller ve Rankine çevriminde çalışma sıvısı olarak kullanılan suyun sıcaklık ve basınç değerlerine karşılık gelen termodinamik özellikleri Engineering Equation Solver programı kullanılarak belirlenmiş ve Şekil 1'de sayı ile gösterilen her bir ünite için kütle, enerji, entropi ve ekserji değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. Rankine Çevriminde Yapılan Kabuller [10].

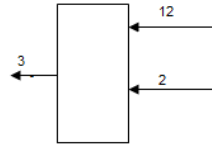
Yüksek basınç türbini giriş sıcaklığı	600 °C
Yüksek basınç türbin giriş basıncı	15 MPa
Yüksek basınç türbin çıkış basıncı	4 MPa
Düşük basınç türbin giriş sıcaklığı	600 °C
Düşük basınç türbin çıkış sıcaklığı	376 °C
Düşük basınç türbin giriş basıncı	4 MPa
Kondenser giriş basıncı	10 kPa
Açık besi suyu ısıtıcısı giriş basıncı	0,5 MPa
Kapalı besi suyu ısıtıcısı giriş basıncı	4 MPa

Tablo 4. Rankine Çevriminde Yapılan Verim Kabulleri [11]

Türbin verimi	0,97
Pompa verimi	0,71
Çevrimin ısı verimi	0,40

Açık besi, kapalı besi, karıştırma odası, türbin sistemi ve pompa sistemi için madde ve enerji denklıkları aşağıda gösterilmektedir. Enerji ve kütle eşitlikleri denklemlerinde kullanılan \dot{m}_9 ısı değiştiricisinden elde edilen buharın kütsel debisi anlamına gelmektedir.

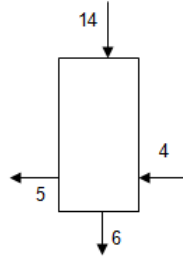
Açık besi suyu ısıtıcısının kütle ve enerji denklıkları Şekil 7 göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

**Şekil 7.** Açık besi suyu ısıtıcısı

$$\text{Kütle eşitliği: } \dot{m}_{12} + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (14)$$

$$\text{Enerji eşitliği: } \dot{m}_9 (z) h_{12} + \dot{m}_9 (1-y-z) h_2 = \dot{m}_9 (1-y) h_3 \quad (15)$$

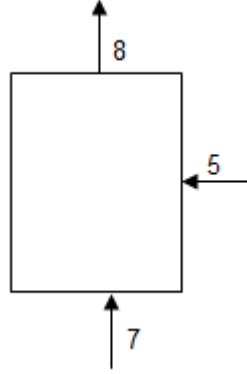
Kapalı besi suyu ısıtıcısının şematik gösterimi Şekil 8'de verilmiştir ve eşitlik 16 ve 17 Şekil 7 kullanılarak elde edilmiştir.

**Şekil 8.** Kapalı besi suyu ısıtıcısı

$$\text{Kütle eşitliği: } \dot{m}_{14} + \dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_6 \quad (16)$$

$$\text{Enerji eşitliği: } \dot{m}_9 h_{14} + \dot{m}_9 (1-y) h_4 = \dot{m}_9 (1-y) h_5 + \dot{m}_9 (y) h_6 \quad (17)$$

Karıştırma odası kütle ve enerji denklıkları Şekil 9 yardımıyla elde edilmiştir.

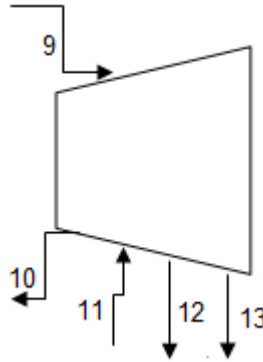


Şekil 9. Karıştırma odasının şematik gösterimi

$$\text{Kütle eşitliği: } \dot{m}_5 + \dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (18)$$

$$\text{Enerji eşitliği: } \dot{m}_9 (1-y)h_5 + \dot{m}_9(y)h_7 = \dot{m}_9 h_8 \quad (19)$$

Aşağıdaki alçak ve yüksek basınç türbinlerinin kütle ve enerji denklıkları Şekil 10 ile oluşturulmuştur.



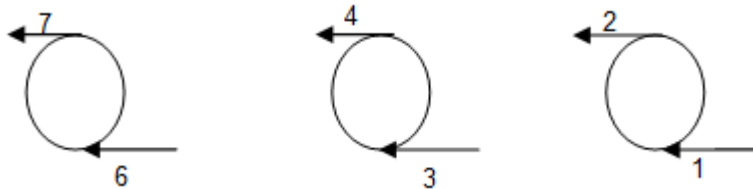
Şekil 10. Alçak basınç ve yüksek basınç türbinlerinin şematik gösterimi

Aşağıdaki alçak ve yüksek basınç türbinlerinin kütle ve enerji denklıkları Şekil 10 ile oluşturulmuştur.

$$\text{Kütle eşitliği: } \dot{m}_9 + \dot{m}_{11} = \dot{m}_{10} + \dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} \quad (20)$$

$$\text{Enerji eşitliği: } \dot{W}_{\text{turb, out}} = \dot{m}_9(h_9 - h_{10}) + \dot{m}_9(1-y)(h_{11} - h_{12}) + \dot{m}_9(1-y-z)(h_{12} - h_{13}) \quad (21)$$

Pompa sisteminin enerji ve kütle eşitlikleri şekil 11 kullanılarak yapılmıştır. Rankine çevrim dışında kalan pompalar eşitliklere dahil edilmemiştir.



Şekil 11. Pompa I, Pompa II ve Pompa III ün şematik gösterimi

$$\text{Enerji eşitliği: } \dot{W}_{\text{pump, total}} = \dot{m}_9[(1-y-z)\dot{W}_{\text{pump,1}} + (1-y)\dot{W}_{\text{pump,2}} + y\dot{W}_{\text{pump,3}}] \quad (22)$$

$$\text{Kütle eşitliği: } \dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (23)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (24)$$

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 \quad (25)$$

3. Analiz Sonuçları ve Bulguların Değerlendirilmesi

Tablo 5'te santralden 1 MW elektrik çıktısı elde etmek için gerekli olan ortalama DNI değeri, bölgeye gelen maksimum DNI, kolektörlerin kapladığı toplam alan ve güneş enerjisinin ısı transfer sıvısına aktarılma oranı listelenmiştir.

Tablo 5.Güneş tarlası kısmında elde edilen sonuçlar I

Dizayn DNI (W/ m ²)	493
Maksimum DNI (W/m ²)	820
Toplam Kolektör Alanı (m ²)	8228
Güneş Enerjisinin Termal Enerjiye Dönüşme Verimi	0,35

Dizayn ve maksimum koşullar altında güneş alanı kısmında elde edilen ısı enerji değerleri Tablo 6'da listelenmiştir.

Tablo 6.Güneş tarlası kısmında elde edilen sonuçlar II

Isı Değerleri	Tasarım Şartları	Maksimum Koşul Altında
Q _{SOL} (kW)	6747	11700
Q _{OPT} (kW)	4129	7349
Q _{RCV} (kW)	2617	4351
Q _{THR} (kW)	256,2	256,2
Q _{HTF} (kW)	2361	4095
Q _{STORAGE} (kW)	1734	-

Isı transfer sıvısı olarak kullanılan Terminol VP-1 ve termal depolama malzemesi olarak kullanılan erimiş tuz (%60 NaNO₃ - %40 KNO₃) ile ilgili bulunan değerler Tablo 7'de listelenmiştir.

Tablo 7.Isı transfer sıvısı ve termal depolama malzemesi ile ilgili bulgular

Isı transfer sıvısının kütleli debisi (kg/s)	10,68
Termal depolama malzemesinin kütleli debisi (kg/s)	4,28
Termal depolama malzemesinin kütlesi (kg)	33,66
Depolama kapasitesi (saat)	6

Rankine çevriminde çalışma sıvısı olarak kullanılan suyun sıcaklık ve basınç değerlerine karşılık gelen termodinamik özellikleri EES programı ile bulunmuştur ve Tablo 8'de listelenmiştir. Pompalarda harcanan güç, kondenserden atılan ısı ve net,brüt güç değerleri Tablo 9'da listelenmiştir.

Tesisteki ekipmanların ekserji akımı T_o=25 °C ve P_o=1atm referans koşullarına göre belirlenmiş olup, güç ünitesinde bulunan 15 durum için kütleli debi, faz, entalpi ve entropi değerleri EES programı vasıtası ile hesaplanmıştır, bu değerler Tablo 8'de yer almaktadır.

Kondenserden atılan ısı enerjisi çok yüksektir ve bu ısı soğutma kulesinde veya santralin içindeki bazı prosesler için kullanılabilir. Santralde bulunan ısı değiştiricilerinin basınç kayıpları ihmal edilmiştir ve santralin çalışmasında harcanan en büyük güç pompalarda harcanmaktadır. Günde 6 saat depolama süresi Haziran ayının ortalama bir günü için elde edilmiştir. Haziran ayı kuzey yarı kürede bulunan ülkeler için güneş ışınlarının en şiddetli geldiği ay olarak düşünülürse bu santralin, diğer aylarda günde 6 saat depolama kapasitesine ulaşabilmesi mümkün değildir. Kolektörün termal verimi yani üzerine gelen güneş ışınlarını ısı transfer sıvısına aktarma oranı olan %35 değeri, diğer çalışmalar göz önüne alındığı zaman düşüktür ancak bu değer 1 MW e sağlamamız için yeterli gelmiştir, tesisin toplam verimi olan %14 değeri literatürle uyushmaktadır. Kolektör-alıcı düzeneği enerji kayıplarının çok olduğu yerdir, bu nedenle gerekli iyileştirmelerin bu kısımda yapılması çok önemlidir. Güneş tarlasındaki kolektörlerde enerji kayıpları çok fazladır, kolektör sayısının artırılması ve düzenlenmesi

enerji verimliliğini artırabilir. Alıcıların çevreye olan ısı aktarımı nedeniyle de kayıplar meydana gelmektedir. Bu nedenle alıcı tüpün malzemesinin veya uzunluk ve çapının değiştirilmesi, alıcının enerji verimliliğini artırabilir. Güneş tarlası kısmındaki ısı transfer sıvısının kolektöre giriş sıcaklığı, besi suyu ısıtıcılarının sayısı artırılarak yükseltilebilir. Doğrudan buhar üretme teknolojisinin kullanılması yani güneş tarlasındaki ısı transfer sıvısının ve Rankine çevrimindeki çalışma sıvısının su olarak seçilmesi ve Rankine çevrimi yerine organik Rankine çevriminin (ORC) kullanılması santral verimini artırabilir.

Tablo 8. Rankine çevriminde kullanılan çalışma sıvısının termodinamik özellikleri

Hal	Tanım	Faz	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg)	Kütleli Debi (kg/s)	Özgül Ekserji (kJ/kg)	Enerji Akımı (kW)	Ekserji Akımı (kW)
0	-	ÖH*	25	101,33	104,8	0,3669	-	-	-	-
1	Kondenser Çıkışı	DS**	45,82	10	191,8	0,6493	0,2597	79,83	79,93	20,76
2	Pompa 1 Çıkışı	SS***	45,83	500	192,3	0,6493	0,2597	80,43	80,43	20,89
3	Açık BSI Çıkışı	DS	151,9	500	640,09	1,861	0,3087	498,2	498,2	153,8
4	Pompa 2 Çıkışı	SS	152,3	4000	643,92	1,861	0,3087	502	502	155
5	Kapalı BSI Çıkışı	SS	250	4000	1087,4	2,793	0,3087	919,8	919,8	284
6	Pompa 3 Girişi	DS	250,4	4000	1087,4	2,796	0,06583	921,6	921,6	60,68
7	Pompa 3 Çıkışı	SS	253,2	15000	1101,2	2,772	0,06583	936	936	61,62
8	Karıştırma Odası Çıkışı	SS	250,5	15000	1089,8	2,772	0,3746	923,1	923,1	345,8
9	YB Türbin Girişi	KB****	600	15000	3155	6,677	0,3746	3319	3319	1243
10	YB Türbin çıkışı	KB	376	4000	3155	6,682	0,3746	2893	2893	1084
11	AB Türbin Girişi	KB	600	4000	3674,9	7,369	0,3087	3394	3394	1048
12	Açık BSI Girişi	KB	275,5	500	3014,8	7,369	0,04904	2733	2733	134
13	Kondenser Girişi	DS	45,82	10	2335,7	7,369	0,2597	2055	2055	533,7
14	Kapalı BSI Girişi	KB	376	4000	3156	6,882	0,06583	2893	2893	190,5
15	Ara Isıtıcı Girişi	KB	376	4000	3156	6,882	0,3087	2893	2893	893,2

*Ölü Hal

**Doymuş Sıvı

***Sıkıştırılmış Sıvı

****Kızgın Buhar

Tablo 9. Rankine çevrimindeki güç değerleri

Net Güç	944,5 kW
Brüt Güç	981,9 kW
Brüt Verimlilik	0,4158
Kondenserden Atılan Isı	556,6 kW
Pompa 1'de harcanan güç	0,6972 kW
Pompa 2'de harcanan güç	5,386 kW
Pompa 3'te harcanan güç	19,4 kW

SONUÇ

Optimum yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (YGE) tasarımı, güneş ışınlarını alıcı boruya en iyi şekilde yansıtma için yüksek yansıtma özellikli aynalardan oluşmaktadır. İdeal bir alıcı tüpün, enerjisini ısı transfer sıvısına verimli bir şekilde aktarabilmesi için düşük konveksiyon ve iletim kayıplarına sahip olması gerekir. Bir güneş tarlası, parabolik oluk kolektör, Fresnel aynalı yansıtıcılar, parabolik çanak tipi kolektör veya güneş kulesi sistemlerinden oluşur. Parabolik oluk güneş kolektörleri, günümüzde güneş enerji termik santrallerde kullanılan en yaygın kolektör çeşididir. Bu çalışma, Aydın, Nazilli'de termal depolama birimine sahip 1 MW elektrik çıkışlı güneş termik santralinin analizini sunmaktadır. 204 ° C ile 305° C arasında çalışan Terminol VP-1, ısı transfer sıvısı olarak kullanılmıştır. Isı transfer akışkanının kütleli debisi 10.68 kg/s olarak bulunmuştur. Sıcak ve soğuk tanktaki termal depolama malzemesinin (erimiş tuzun) kütleli debisi 4.28 kg/s'dir ve sıcaklık aralığı 265 °C ile 565°C arasındadır. Termal depolama, güç ünitesi girişinde bulunan ısı değiştiricisi girişinde 2361 kW'lık termal enerji ile geceleri de 944,5 kWe net çıkışını karşılamak için 6 saatlik bir depolama olanağı sağlar. Tesisin toplam verimi %14 kabul edilerek, kolektörün termal verimliliği %35, ve Rankine çevriminin brüt verimi %41.58 olarak hesaplanmıştır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Semboller	Açıklamalar
C_p	Özgül ısı (kJ/kg.K)
\dot{E}	Ekserji akımı (kW)
H	Entalpi (kJ/kg)
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
\dot{Q}	Isı akımı (kW)
P	Basınç (kPa)
s	Entropi (kJ/kgK)
T	Sıcaklık(K ya da °C)
\dot{W}	Güç (kW)
η	Verim
Ψ	Özgül ekserji (kJ/kg)
θ	Güneş ışınları ile kolektör yüzeyinin normali arasındaki açı
γ	Güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney yönü arasındaki açı
α	Yükseliş açısı
θ_T	Geliş açısının yatay bileşeni
θ_L	Geliş açısının dikey bileşeni
Q_{SOL}	Kolektörlerin üzerine gelen güneş enerjisi
A_c	Toplam kolektör alanı
Q_{RCV}	Alıcı borular üzerine yoğunlaştırılan termal enerji
Q_{OPT}	Güneş kolektörünün optik kayıpları
Q_{THR}	Alıcı boru üzerindeki toplam ısı kayıp
$\eta_{OPT,R}$	Referans optik verimliliği.
η_{SHD}	Gölge verimliliği.
η_{CLN}	Ayna ve cam tüp temizlik verimliliği.
η_{END}	Geometrik uç kaybı optik verimliliği.
F	Kolektörün odak uzaklığı
L	Kolektörün uzunluğu
R	Kolektörlerin arasındaki sıra mesafesi
W	Kolektör genişliği

Kısaltmalar	Açıklamalar
YGE	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi
BSI	Besi suyu ısıtıcısı
ORC	Organik Rankine çevrimi
PTC	Parabolik Oluk Kolektör
LFR	Fresnel Aynalı Yansıtıcılar
IAM	Gelme Açısı Düzenleyicisi
SM	Depolama Malzemesi

KAYNAKLAR

- [1] ZAID, H.S.,“A System Level Modeling and Performance Evaluation of Concentrated Solar Power Plant”,Master Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Kampüsü, 2013.
- [2] BIROL, F., Key World Energy Statistic, International Energy Agency, 2016.
- [3] AMBA, H.V.,“Operation and Monitoring of Parabolic Trough Concentrated Solar Power Plant”, Master Tezi, University of South Florida, 2015.
- [4] FERNANDEZ GARCIA, A., ZARZA, E.,VALENZUELA, L., PEREZ, M.,“Parabolic-Trough Solar Collector and Their Applications”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14:1695-1721, 2010.
- [5] LIVATYALI, H., YILDIRIM, T.,“Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler”, Mühendis ve Makina, 53-633:16-20, 2012.
- [6] ZARZA-MOYA, E.,“The Technologies for Concentrating Solar Radiation:Current State-of-the-Art and Potential for Improvement”,Seminer, TUBITAK MAM Energy Inst. Gebze Kocaeli Turkey, 2010.
- [7] CAU, G., COCCO, D.,“Comparison of Medium-Size Concentrating Solar Power Plants Based on Parabolic Trough and Linear Fresnel Collector”, Energy Procedia, 45:101-110, 2014.
- [8] SCHLAIFER, P., “Performance Calculations and Optimization of a Fresnel Direct Steam Generation CSP Plant with Heat Storage”, Master Tezi, KTH Industrial Engineering and Management, 2012.
- [9] BARLEV, D., VIDU, R., STROEVE, P.,“Innovation in Concentrated Solar Power”, Solar Energy Materials and Solar Cells, 95:2703-2725, 2011.
- [10] CENGEL, Y.A., BOLES, M.A.,“Thermodynamics: an engineering approach”, 2. Basım, Mcgraw-Hill, 1994.
- [11] Horst, D.,“Performance Simulation for Parabolic Trough Concentrating Solar Power Plants and Export Scenario Analysis for North Africa”, Master Tezi,Cairo University, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Deniz GÜLER

1993 yılı Anamur/Mersin doğumludur. 2012 yılında Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümüne kayıt olmuştur. Stajlarını sırasıyla, INDESIT A.Ş / MANİSA ve İzmir Çiğli Organize Sanayi Bölgesi'ne bağlı Elektrik İşletme Birimi'nde tamamlamıştır. Halen son sınıf öğrencisi olarak eğitim öğretim hayatına devam etmektedir. Ayrıca ortanın üstü seviyesinde İngilizcesi vardır.

Ahmet MUTLU

1994 yılı Nazilli doğumludur. 2012 yılında Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümüne kayıt olmuştur. Staj deneyimlerini güneş ve jeotermalden elektrik üretme alanlarında yapıp, tecrübe edinmiştir. Halen son sınıf öğrencisi olarak eğitim hayatına devam etmektedir.

Erdi GÜNEY

1994 yılı İzmir doğumludur. 2012 yılında Bayraklı Anadolu Teknik lisesi elektrik elektronik teknolojisi bölümünü bitirmiştir. Şuan Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği son sınıf öğrencisidir. Lise dönemi stajını İzmir Kemalpaşa da GLM Mühendislik firmasının üretim bölümünde gerçekleştirmiştir. Üniversite ara dönemlerinde İZFAŞ İzmir Fuarçılık bünyesinde çeşitli fuarlarda kültür ve sanat bölümünde çalışmıştır. Üniversite dönemi zorunlu stajlarını ise İzdemir Enerji A.Ş. ve Schnedier

Elektrik A.Ş. 'de tamamlamıştır. Upper-intermediate seviyesinde İngilizce ve A1 seviyesinde Almanca bilmektedir.

Başar ÇAĞLAR

1983 yılı Ankara doğumludur. 2006 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesini aldıktan sonra aynı kurumda 2009 yılında Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans derecesini almıştır. Doktora çalışmalarını katalizör, yüzey kimyası, spektroskopi ve reaksiyon mühendisliği alanlarında Hollanda'da Eindhoven University of Technology üniversitesinde tamamlamış ve 2014 yılında doktora derecesini almıştır. Doktora çalışmasından sonra Türkiye'ye dönen yazar önce TÜPRAŞ'da danışman eğitici olarak kısa süreli çalışmış; daha sonra Avrupa Birliği projesi kapsamında GATE Elektronik A.Ş.'de Ar-Ge mühendisi olarak çalışmıştır. Endüstri deneyimden sonra TÜBİTAK 2232 Yurda Dönüş Destek Programı kapsamında "Biyokütle Gazlaştırma ve Gazlaştırma Sonrası Oluşan Kirleticilerin Giderimi" adlı projesini yürütmüştür. Proje çalışmaları devam ederken, 2016 yılında Yaşar Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen Yaşar Üniversitesi'nde çalışan yazar önümüzdeki dönemde Yardımcı Doçent olarak akademik yaşamına devam edecektir. Yazarın yakın zamandaki çalışma konuları, biyokütle kaynaklarının kullanılması, biyorafineri, kimyasal çevrimli yakma teknolojisi, birlikte yakma teknolojisi, fotokataliz, güneş yoluyla ısı güç elde etme mühendisliği ve hidrojen depolama malzemeleridir.

Arif HEPBAŞLI

1958 yılı İzmir doğumludur. 35 yıllık iş yaşamı olup, bunun 10 yılı değişik sanayi kuruluşları ve geri kalanı ise, 1996 yılından beri, yurt içi ve dışındaki değişik üniversitelerde çalışarak geçmiş olup, halen Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 600 adetten (290'dan fazlası SCI kapsamında makale) fazla bilimsel yayının yazarı/ortak yazarıdır. Web of Science (WOS) kategorisinde akademik ayak izi (h-indeks) 40 ve atıf sayısı 5468 (kendi atıfı dahil edilmeden) iken, Google Akademik kapsamında ise, akademik ayak izi; 56 olup, 10896 atıf almıştır. Çok sayıda ulusal/uluslararası bilimsel etkinliklerin organizasyonunda yer alan/almakta olan Dr. Hepbaşlı, prestijli 7 derginin Uluslararası Yayın Danışma Kurulu Üyesi ve 1 uluslararası derginin Yardımcı Editörü olup, ayrıca, enerjiyle ilgili çok sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. HORIZON 2020 Enerji Programı Türkiye Uzmanlarından biridir. Bunun yanı sıra, ulusal ve uluslararası bazda, değişik meslek kuruluşları üyelikleri olup, ilgi alanları çerçevesinde sanayiye de uzun yıllardır danışmanlık hizmeti vermektedir. Sertifikalı Enerji Yöneticisi olan Dr. Hepbaşlı; İngilizce ve Almanca bilmekte olup bir kız babasıdır.

Mustafa ARAZ

1986 yılında Karaman'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 2010 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mustafa Araz, Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 2011 - 2013 yılları arasında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Makine Yüksek Mühendisi unvanını aldı. Aynı bölümde doktora eğitimine devam etmekte olup, aynı zamanda Ekim, 2012 itibarıyla Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Mustafa Araz, çeşitli ulusal (TÜBİTAK ve SANTEZ) ve uluslararası (AB 7. Çerçeve Programı) projelerde bursiyer ve araştırmacı olarak yer almış olup, çalışma konuları arasında termodinamik, soğutma ve ısı pompası sistemleri, alternatif soğutucu akışkanlar, ısı güneş sistemleri, binaya entegre fotovoltaik sistemler (BIPV) ve enerji sistemlerinin ekserjetik analizi yer almaktadır.