

Bir Güneş Havuzundan Üretilen Elektrik ile Hidrojen Elde Etme Sisteminin Performansının Teorik Olarak İncelenmesi

Ayhan ATIZ¹, Mehmet KARAKILÇIK^{*2}

¹Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Matematik ve Fen Bilimleri Bölümü, Antalya

²Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 06.03.2018 Kabul tarihi: 25.12.2018

Öz

Bu çalışmada, dikdörtgen prizma tuz eğimli güneş havuzu (DPTEGH)'nin elektrik ve hidrojen üretim performansı incelendi. Güneş enerjisinden ısı enerjisi üretmek için $1,5 \times 8 \times 8$ m³ boyutunda dikdörtgen prizma şeklinde bir güneş havuzu, Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) ve elektroliz sisteminden oluşan bir birleşik sistem tasarlandı. Tasarlanan bu sistemin analizi mühendislik eşitlikleri çözücü (EES) benzetim programı kullanılarak gerçekleştirildi. Havuzda depolanan ısı enerjisi Organik Rankine Çevrimi (ORÇ)'ye aktarıldı. Böylece, başarılı bir şekilde depolanan ısı enerjisi kullanılarak ORÇ'de elektrik üretildi. Ancak, hem ısının hem de elektriğin verimli bir şekilde depolanamaması yüzünden, üretilen enerji bir elektroliz sisteminde hidrojen üretiminde kullanıldı. Böylece suyun elektrolizi ile hidrojen gazı üretildi. Analizler, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için ayrı ayrı yapıldı. Sonuç olarak, ORÇ'nin enerji verimi Haziran Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için sırasıyla %16,20, %16,73, 17,47 ve %15,32 olarak bulundu. Aynı aylar için üretilen elektrik ise sırasıyla, 143,2 MJ, 156,2 MJ, 168,5 MJ ve 130,5 MJ olarak hesaplandı. Bu elektriğin, bir elektroliz sisteminde kullanılmasıyla da sırasıyla 1,216 kg, 1,326 kg, 1,431 kg ve 1,108 kg hidrojen üretilebileceği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş havuzu, Organik rankine çevrimi, Elektrik ve hidrojen üretimi

The Theoretical Investigation of Performance of the Hydrogen Attainment System with Electricity from a Solar Pond

Abstract

In this study, the electricity and hydrogen production performance of the rectangular prism salt sloped solar pond (RPSSSP) was examined. In order to generate thermal energy from solar energy, an integrated system consisting of a solar pond in the form of a rectangular prism of $1.5 \times 8 \times 8$ m³, Organic Rankine Cycle (ORC) and electrolysis system was designed. The analysis of the designed system was carried out using an engineering equations solver (EES) program. Thermal energy stored in the pond was transferred to the Organic Rankine Cycle. Thus, electricity was generated in the ORC by using thermal energy, successfully. However, due to the fact that both heat and electricity cannot be efficiently stored, the energy produced is used in the production of hydrogen in an electrolysis system. Hydrogen gas was

*Corresponding author (Sorumlu yazar): Mehmet KARAKILÇIK, kkilcik@cu.edu.tr

produced by electrolysis of water. The analysis was done separately for June, July, August and September. As a result, the energy consumption of the ORC was 16.20%, 16.73%, 17.47% and 15.32% for June July, August and September respectively. Electricity generated for the same months was 143.2 MJ, 156.2 MJ, 168.5 MJ and 130.5 MJ, respectively. By using this electricity in an electrolysis system, 1.216 kg, 1.326 kg, 1.431 kg and 1.108 kg of hydrogen can be produced, respectively.

Keywords: Solar energy, Solar pond, Organik rankine cycle, Electric and hydrogen production

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı her geçen gün daha da artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların yenilenebilir olması ve çevreye zarar vermesinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru yoğun çalışmalar başlamıştır. Bu nedenle dünya temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru yönelmeye başladı. Bu kaynaklar temiz ve sürekli olduklarından onlardan enerji elde edilmesi oldukça önemli bir hale gelmiştir [1]. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden yararlanarak ısı depolaması yapan önemli sistemlerden birisi güneş havuzlarıdır. Güneş havuzları, iyi ısı depolayan sistemlerinden biridir. İç bölgelerdeki güneş havuzunun her katının sıcaklığı, giren güneş radyasyonuna, tabaka kalınlıklarına, bölgelerin gölgeleme alanlarına ve genel ısı kaybına bağlıdır. Tabaka kalınlıklarının değiştirilmesi havuz performansını ve havuzun kararlılığını artırır [2]. Güneş havuzlarının ısı depolama kapasitesi dolayı bu sistemden ısı çekilmesi mümkündür. Sürdürülebilir ısı enerjisi kaynağı olarak güneş havuzlarından yararlanabilir. Hem deneysel hem de teorik olarak bu mümkündür [3]. Güneş havuzu üç tabakadan oluşmaktadır. Bunlar; üst ısı yama bölgesi, yalıtım bölgesi ve depolama bölgesidir. Havuzun yalıtım bölgesi ve depolama bölgesinden ısı çekildiğinde havuzun depoladığı ısı daha verimli kullanılmaktadır [4]. Güneş havuzlarının depolama bölgesinde var olan bu ısı kapasitesinden yararlanarak elektrik üretildiği birçok çalışma gösterilmiştir. Bu çalışmaların birisinde üretilen elektrik miktarı 5000 MW'a kadar çıkmıştır [5]. Düşük ısı enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi için kullanılan sistemlerden biri Organik Rankine Çevrimi (ORÇ)'dir [6]. Bir güneş havuzu ve düzlemsel toplayıcılardan oluşan sistemde yüksek sıcaklıkta su elde edilir. Isı dönüştürücüsünden yararlanarak ORÇ'ye sıcak su

gönderilmiştir. Bu sıcak suyun ısı enerjisinden yararlanarak ORÇ'de elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu elektrik ise elektroliz için de kullanılarak hidrojen enerji üretimi için kullanılmıştır. Bu üretim mühendislik eşitlikleri çözücü (EES) benzetim programı yardımıyla yapılmıştır [7]. Elektroliz teknolojisi, elektrokimyasal reaksiyonlar yoluyla hidrojen üretmek için etkili ve pratik bir yöntem olarak kabul edilir [8]. Hidrojen enerji sistemleri temiz, güvenilir, uygun fiyatlı, güvenli ve sürdürülebilir akıllı enerji çözümleri parçası olma potansiyeline sahiptir. Hidrojenin, fosil yakıtlarla birlikte nükleer güç, biyokütle ve yenilenebilir enerji gibi çeşitli kaynaklardan üretilmesidir. Böylece Dünya benzeri görülmemiş enerji sorunları ile karşı karşıya olduğundan, birçok ülke, sürdürülebilir bir geleceğe ulaşmak için akıllı enerji çözümlerinden biri olan hidrojeni kullanabilir [9]. Hidrojen enerjisi, sistemlerde fazla üretilen elektriği depolayarak daha sonra kullanılmak üzere kullanılabilir son derece önemli bir kaynaktır [10]. Bu kaynaklardan biri olan güneş enerjisinden yararlanarak hidrojen üretimi yapmak hem temiz hem de sürdürülebilir hidrojen üretimi için son derece önem arz etmektedir [11].

Yukarıdaki çalışmalarda görüldüğü gibi, güneş enerjisinden yararlanarak bütünleşmiş sistemlerde ısı enerjisi üreterek hidrojen üretmek mümkündür. Bunun için bu sistemde güneşten yararlanan bir güneş havuzu ORÇ'ye bütünleştirilmiştir. Bu sistemin en önemli özelliği ise, üretilen ısı enerjisi sadece güneş havuzundan gönderilmiştir. Böylece düşük sıcaklarda Adana çevre koşullarında daha önce yapılmayan dikdörtgen bir güneş havuzunun hidrojen üretim performansı incelenmiştir. Hidrojen üretimi için güneş havuzunda depolanan ısı enerjisi bir pompa yardımıyla ORÇ'ye gönderilerek elektrik üretimi olmuştur. Böylece üretilen elektrikten yararlanarak elektrolizde

hidrojen gazı üretimi yapılmıştır. Bu tarz çalışmalar artırılarak geleceğin enerjilerinden biri olan hidrojen üretiminin çeşitlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma için Adana'da güneş havuzunda ısı enerjisinin en fazla depolanabildiği, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için sistem çalıştırılmıştır. Bu çalışmada, mühendislik alanında kabul görmüş EES benzetim programı kullanılmıştır. Yaz aylarında elde edilen hidrojen depolanarak daha sonra bir enerji kaynağı olarak kullanılabileceği düşünülmüştür.

2. SİSTEM AÇIKLAMASI

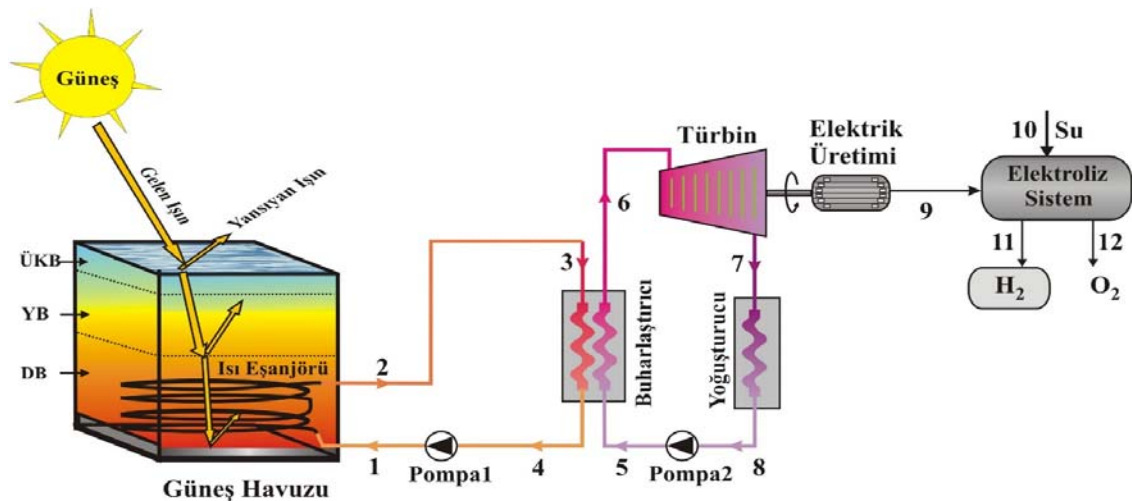
Şekil 1'de, bütünleşmiş sistemin bileşenleri görülmektedir. Bütünleşmiş üretim sistemleri enerji girdisinin mümkün olan en yüksek geri kazanımını sağlamak için farklı sistemlerin bütünleşmesiyle daha yüksek verim sağlar [12]. Bu bütünleşmiş sistemde güneş havuzu, ısı dönüştürücü, pompa, ORÇ ve elektroliz sisteminden oluşmaktadır. Bu sistemde en önemli bileşenlerinden birisi güneş havuzudur. Çünkü güneş havuzu gelen güneş enerjisini önemli bir kısmını kendi içerisinde depolamaktadır. Sistemdeki güneş havuzunun boyutları $1,5 \times 8 \times 8$ m³'dir. Güneş havuzları üç bölgeden oluşmaktadır. Üst ısı yama bölgesi (ÜYB) temiz sudan oluşan bölgedir. Bu bölgenin kalınlığı 0,1 m'dir. Yalıtım bölgesi (YB) yoğunluğu depolama bölgesine doğru artan bölgedir. Bu bölge

depolama bölgesindeki ısının hızlı şekilde dışarı çıkmasını engelleyen ısı yalıtım bölgesidir ve kalınlığı 0,5 m'dir Depolama bölgesi (DB) güneş enerjisinin ısı enerjisi olarak depolandığı bölgedir ve bu bölgenin kalınlığı ise 0,9 m'dir [13]. Bu sistemde pompa1 aracılığıyla ılık su havuzun depolama bölgesine gönderilir. Bu su DB'nden ısı dönüştürücü yardımıyla ısınarak ORÇ'ye gönderilir. ORÇ'ye gelen sıcak sudan yararlanarak izobütan sıvısı pompa2 yardımıyla buharlaştırıcıya ısınarak türbine gönderilir. Böylece türbin dönerek bir elektrik elde edilir. Bu döngü böyle devam eder. Sistemden üretilen bu elektrik elektroliz sistemine verilerek hidrojen elde edilir.

Bu sistem çalışmasında bazı kabuller yapılmıştır.

Güneş havuzunun çok iyi yalıtıldığı ve depolama bölgesi sıcaklığının güneş varken değişmediği kabul edilmiştir. Dört ay boyunca depolama bölgesi sıcaklığının 55 °C olarak alınmıştır.

- Her ay için depolama bölgesinde depolanan ısı enerjisi bir ısı dönüştürücü yardımıyla %90'ı kullanıldı.
- Türbin verimi ise, %40 alınmıştır.
- Çevre sıcaklığı ise, meteorolojiden alınan ortalama aylık sıcaklık değerleridir.



Şekil 1. Güneş havuzu ile bütünleşik hidrojen üretim sistemi

3. SİSTEMİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Sistemin termodinamik analizinin yapılabilmesi için her bir bileşenin incelenmesi gerekir. Bunun için sistemdeki enerji dağılımlarının nasıl olduğunun belirlenmesi gerekir.

3.1. Güneş Havuzu

Güneş havuzunda gelen enerjinin depolandığı yer güneş havuzunun depolama bölgesidir. Sistemdeki enerjisi buradan temin edilmektedir. Güneş havuzunun depolama bölgesine ulaşan güneş aşağıdaki gibi bulunur [14].

$$\dot{Q}_{YB} = \eta A_{GH} I_{DB} \quad (1)$$

Burada η güneş havuzunun depolama bölgesinin enerji verimidir. I_{DB} havuzun depolama bölgesine gelen güneş enerjisi (W/m^2) dir. $A_{GH}=64 m^2$ havuzun toplam yüzey alanını ifade etmektedir. Burada güneş havuzunun verimi gölgeleme alanı küçüldükçe verimi artmaktadır. Yaz ayları havuzun depolama bölgesi sıcaklığının $55^\circ C$ ve üzerine çıkabildiği zamandır [14]. Güneş havuzunun yüzey alanı yeterince büyükse, gölgeleme etkisi oldukça azalacaktır [15]. Ayrıca, güneş havuzunun gölgeleme etkisi yansıtıcı kapaklı güneş havuzlarında havuz yüzeyine gelen güneş enerjisi artırılabilir. [16]. Ancak bu çalışmada, gölgelemenin verim üzerindeki etkisi yok sayılmıştır. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül için depolama bölgesinin verimleri sırasıyla, %29,03, % 31,65, %37,25 ve %35,07 olarak alınmıştır. Bu verimler gelen güneş enerjisinin yoğunluğu ve geliş açısı yüzünden değişmektedir.

3.2. Isı Dönüştürücü

Isı dönüştürücü, birbirinden ayrılmış farklı sıcaklıklardaki iki akışkan arasında ısı değişimini kolaylaştıran aygıtlardır İki akışkan arasındaki ısı aktarımı aşağıdaki elde edilir [17].

$$\dot{Q}_{TR} = U A_y \Delta T_{lg} \quad (2)$$

Burada, U bütün yüzey boyunca hem konveksiyon ve iletim yoluyla elde edilen ısı transfer

katsayısıdır. Bu çalışmada $U=1000 W/m^2C$, A_y ısı transferi sağlayan metalin yüzeyi, ΔT_{lg} logaritmik sıcaklık fark aşağıdaki elde edilir.

$$\Delta T_{lg} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3)$$

$$\Delta T_1 = T_{DB} - T_{DB,\phi} \quad (4)$$

$$\Delta T_2 = T_{DB} - T_{DB,g} \quad (5)$$

Burada T_{DB} depolama bölgesinin sıcaklığıdır. $T_{DB,g}$ ve $T_{DB,\phi}$ ise havuzun depolama bölgesine gönderilen ve depolama bölgesinden ısınarak çıkan suyun sıcaklığıdır. Yaz aylarında sıcaklık depolama bölgesi sıcaklığı gölgelemenin yüksek olduğu zamanda bile $DB 50^\circ C$ üzerine çıkabilmektedir. Yaz ayları dışında diğer aylarda ısı depolama bölgesinin sıcaklığı $50^\circ C$ 'nin üzerine çıkmamaktadır [2]. Bu benzetim sisteminde havuzun depolama bölgesi sıcaklığı Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için $55^\circ C$ olarak alınmıştır.

3.3. Organik Rankine Çevrimi (ORÇ)

Organik Rankine Çevrimi, yüksek basınçlı bir sıvının buharlaşmasına dayanır ve bu da daha düşük bir basınca kadar genişerek mekanik bir iş çıkarır. Çevrim, düşük basınçlı buharın yoğunlaştırılması ve onu yüksek basınçta pompalayarak kapatılır. Bu nedenle, Organik Rankine Çevrimi klasik bir buhar santrali (kazan, genişleme cihazı üreten bir iş, bir kondansatör ve bir pompa) ile aynı bileşenleri içerir [18]. Düşük dereceli ısı kaynağı kullanan ümit vaat eden bir enerji dönüştürme teknolojisi olan ORÇ endüstriyel atık ısı, güneş enerjisi, jeotermal enerji gibi düşük dereceli ısı kaynağı kullanılarak ayırt edici avantajları nedeniyle son yıllarda büyük bir araştırmanın odak noktası olmuştur. Birçok araştırmacı, ORÇ'nin termodinamik analizini ve performansının iyileştirilmesini yaparak veriminin artması için çalışmalar yapılmıştır [19]. ORÇ'nin içine giren suyun sıcaklığın (T_3) $50^\circ C$ 'den yüksek olması ORC'nin daha verimli olmasını sağlar [20]. Bu çalışmada, bu yüzden $50^\circ C$ 'den yüksek sıcaklık tercih edilmiştir. ORÇ'den elde edilen net güç aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_G - (\dot{W}_{pompa1} + \dot{W}_{pompa2}) \quad (6)$$

Burada \dot{W}_G turbin jeneratör gücü, \dot{W}_{pompa1} ve \dot{W}_{pompa2} pompalama güçleridir.

$$\dot{W}_T = \eta_T \eta_G \dot{m}_6 (h_6 - h_7) \quad (7)$$

Burada η_T , η_G , \dot{m}_6 , h_5 ve h_6 sırasıyla, türbin izentropik verimliliği, jeneratörün mekanik verimi, izobütan sıvısının döngüdeki kütle akış hızı, 6 ve 7 noktalarının entalpisidir. ORÇ'nin enerji verimi sistemde üretilen net elektriğin ile buharlaştırıcıya giren net enerjiye oranı olarak elde edilir. Böylece ORÇ'nin enerji verimi aşağıdaki elde edilir [21].

$$\eta_{ORC} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{bh}} \quad (8)$$

Burada \dot{Q}_{bh} buharlaştırıcı yardımıyla ORÇ'ye giren ısı miktarıdır.

$$\dot{Q}_{bh} = \dot{m}_5 (h_6 - h_5) \quad (9)$$

Burada, \dot{m}_5 , h_6 ve h_5 sırasıyla, çalışılan sıvının kütle akış hızı, 5 ve 6 noktalarının entalpisidir.

Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'de, Farklı aylar için sistemde kullanılan sıvıların sıcaklıkları, basıncı ve kütle akış hızı verilmiştir. Bu değerler termodinamik hesaplamaları yapmak için EES'te kullanılmıştır. Bu sistemde ORÇ'ye giriş sıcaklığı ve çevre sıcaklığı aydan aya değişmektedir. Diğer değerler her ay için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 1. Sistemin termodinamik parametreleri (Haziran ayı için)

No	Sıvı	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Kütle akış hızı (kg/s)
0	Hava	25,5	101,3	-
1	H ₂ O	35	150	0,040
2	H ₂ O	53,48	150	0,040
3	H ₂ O	53,48	150	0,040
4	H ₂ O	36	150	0,040
6	İzobütan	53	2000	0,010
7	İzobütan	35	1750	0,010
8	İzobütan	32	1750	0,010
5	İzobütan	30	2000	0,010

Çizelge 2. Sistemin termodinamik parametreleri (Temmuz ayı için)

No	Sıvı	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Kütle akış hızı (kg/s)
0	Hava	28	101,3	-
1	H ₂ O	35	150	0,040
2	H ₂ O	54,08	150	0,040
3	H ₂ O	54,08	150	0,040
4	H ₂ O	36	150	0,040
6	İzobütan	53,5	2000	0,010
7	İzobütan	35	1750	0,010
8	İzobütan	32	1750	0,010
5	İzobütan	30	2000	0,010

Çizelge 3. Sistemin termodinamik parametreleri (Ağustos ayı için)

No	Sıvı	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Kütle akış hızı (kg/s)
0	Hava	28,4	101,3	-
1	H ₂ O	35	150	0,040
2	H ₂ O	54,75	150	0,040
3	H ₂ O	54,75	150	0,040
4	H ₂ O	36	150	0,040
6	İzobütan	54,25	2000	0,010
7	İzobütan	35	1750	0,010
8	İzobütan	32	1750	0,010
5	İzobütan	30	2000	0,010

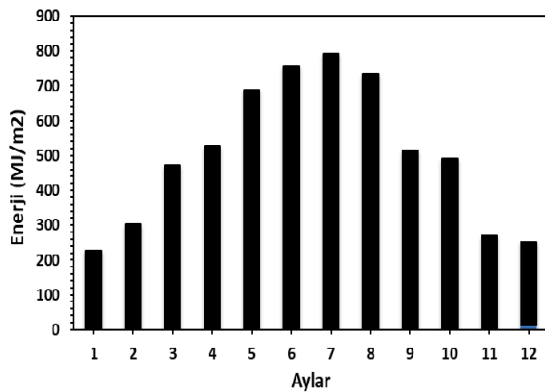
Çizelge 4. Sistemin termodinamik parametreleri (Eylül ayı için)

No	Sıvı	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Kütle akış hızı (kg/s)
0	Hava	25,8	101,3	-
1	H ₂ O	35	150	0,040
2	H ₂ O	52,70	150	0,040
3	H ₂ O	52,70	150	0,040
4	H ₂ O	36	150	0,040
6	İzobütan	52,2	2000	0,010
7	İzobütan	35	1750	0,010
8	İzobütan	32	1750	0,010
5	İzobütan	30	2000	0,010

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

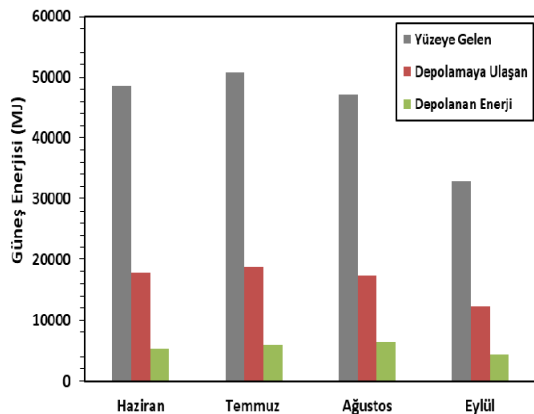
Bu çalışmada, sistemin termodinamik analizini yapmak için havuzun yüzeyine gelen güneş enerjisi bilinmelidir. Şekil 2'de aylara göre toplam yatay yüzeye gelen güneş enerjisi verilmiştir. Bu veriler Adana Meteoroloji İstasyonundan elde edilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, Adana için

yatay yüzeye gelen güneş enerjisi en fazla Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında olup sırasıyla 756 MJ/m², 792 MJ/m², 735 MJ/m² ve 513 MJ/m²'dir. Gelen güneş enerjisi miktarına bağlı olarak güneş havuzunun depolama bölgesinin de en yüksek sıcaklıklara ulaştığı görülmüştür.



Şekil 2. Adana için aylara göre toplam gelen güneş enerjisi değişimi

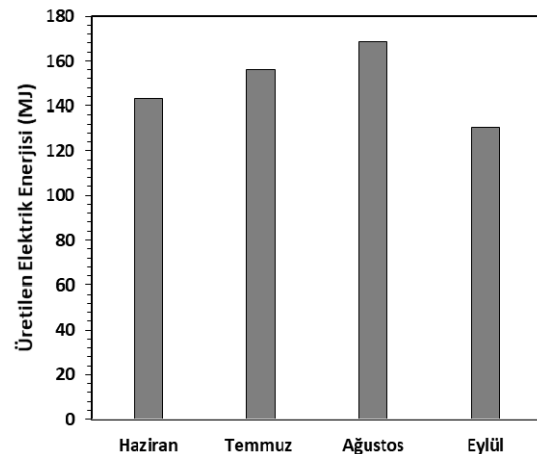
Şekil 2'de tüm yıl için yatay yüzeye gelen güneş enerjisinin aylara göre değişimi incelendiğinden yüzeye gelen güneş enerjisinin en yüksek olduğu ay Temmuz ve en düşük olduğu ay ise Ocak olduğu görülmektedir. Güneş havuzunun en verimli olduğu aylar Haziran, Temmuz ve Ağustos ayıdır. Ancak Eylül ayı güneş havuzunun ısı depolama veriminin iyi olduğu için bu çalışmada Eylül ayında kullanılmıştır [14].



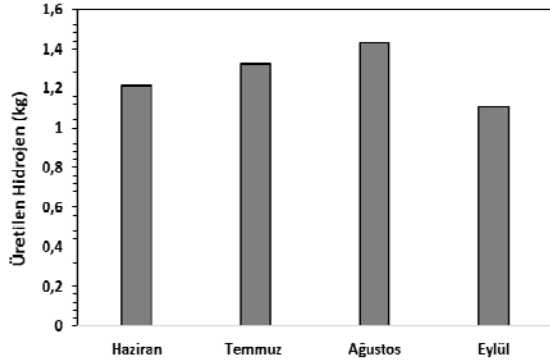
Şekil 3. Farklı aylarda güneş havuzuna gelen güneş enerjisinin değişimi

Şekil 3'te Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için güneş enerjisinin havuzun yüzeyinden girerek depolama bölgesine geldikten sonra depolama bölgesine ulaştıktan sonra ne kadar enerjinin depolandığı verilmektedir. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında güneş havuzunun yüzeyine gelen enerji sırasıyla 48410 MJ, 50730 MJ, 47071 MJ ve 32889 MJ'dür. Daha sonra güneş enerjisi yüzeyden girerek ÜYB ve YB geçerken bir kısmı soğurularak DB'ye ulaşır. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında depolama bölgesine ulaşan güneş enerjisi sırasıyla 17911 MJ, 18770 MJ, 17416 MJ ve 12168 MJ'dür. En sonunda çevresel şartlardan ve iletim kayıplarından dolayı bir miktar ısı kaybı gerçekleşerek depolama bölgesine ulaşan güneş enerjisi ısı enerjisine dönüştürülür ve DB'de depolanır. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında depolama bölgesinde depolanan ısı enerjisi sırasıyla 5199 MJ, 5865 MJ, 6487 MJ ve 4267 MJ'dür. Ağustos ayının diğer aylardan daha yüksek ısı enerjisi depolamasının sebebi: Güneş havuzu en yüksek verime bu ayda ulaştığından daha fazla ısı enerjisi depolanır.

Şekil 4'te Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için ORÇ yardımıyla üretilen elektrik enerjisi verilmektedir. Bu aylarda, ORÇ'de üretilen elektrik enerjisi sırasıyla 143,2 MJ, 156,2 MJ, 168,5 MJ ve 130,5 MJ'dür. ORÇ'de en iyi elektrik üretimi depolanan enerjinin en fazla olduğu Ağustos ayında gerçekleşmiştir.

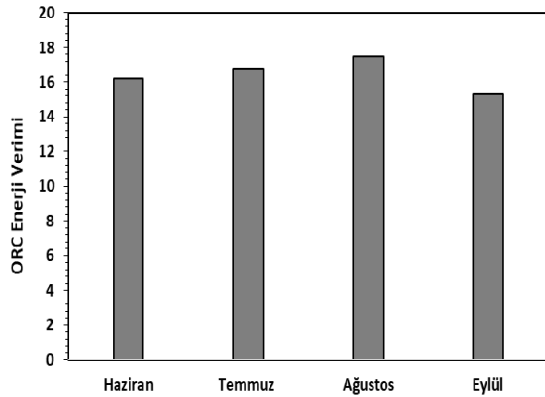


Şekil 4. Farklı aylar için ORÇ'nin elektrik üretimi



Şekil 5. Farklı aylarda üretilen hidrojen enerjisi

Şekil 5’de Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında üretilen hidrojen miktarı görülmektedir. Elektroliz sisteminde 1 kg hidrojen üretmek için 32,7 kWh enerji gerekmektedir. Bu enerji 1 saatte 117,72 MJ enerjiye denktir [22]. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül’de sırasıyla 1,216 kg, 1,316 kg, 1,431 kg ve 1,108 kg olarak elektroliz sistemde hidrojen üretilmiştir.



Şekil 6. Farklı aylar için ORÇ’nin enerji verimi

Şekil 6. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül’de ORÇ’nin enerji verimi denklem 8’den yararlanarak bulunmuştur. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında ORÇ’nin enerji verimi ise sırasıyla, %16,20, %16,73, %17,47 ve %15,32 olarak bulunmuştur. ORÇ’nin en verimli çalıştığı ay Ağustos iken, en düşük verimle çalıştığı ay ise Eylül ayıdır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, boyutları $1,5 \times 8 \times 8$ m³ dikdörtgen prizma şeklinde bir güneş havuzunun, Organik Rankine Döngüsü (ORÇ) ve elektroliz sistemi ile birbirine bütünleşmiş bir sisteminin modeli başarılı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu sistem, güneş havuzunun depolama bölgesinde bulunan ısı enerjisini bir pompa yardımıyla ORÇ’ye göndererek sistemin çalışması sağlanmıştır. Böylece düşük sıcaklıklarda elektrik ve hidrojen üretilmeye başlanmıştır. Sistemin analizi için EES benzetim programı başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Analizler güneş havuzunun depolama bölgesi sıcaklığının en yüksek değerlere ulaştığı Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için ayrı ayrı olarak yapılmıştır. Sistemde, Adana’da ORÇ yardımıyla Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için 143,2 MJ, 156,2 MJ, 168,5 MJ ve 130,5 MJ elektrik enerjisi üretilmiştir. Böyle bir sistemde ORÇ’nin enerji verimi ise sırasıyla, %16,20, %16,73, 17,47 ve %15,32 olarak bulunmuştur. Üretilen elektrik ile elektroliz sistemi aracılığıyla, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayı için sırasıyla, 1,216 kg, 1,326 kg, 1,431 kg ve 1,108 kg hidrojen üretilebileceği görülmüştür. Sonuç olarak, güneş havuzunun sıcaklığının en yüksek olduğu Ağustos ayında maksimum oranda elektrik ve hidrojen üretilmiştir. Böyle bir bütünleşik sistem sayesinde güneş enerjisi, başarılı bir şekilde depolanabilir bir enerji kaynağı olan hidrojen gazına dönüştürülmüştür. Benzer şekilde hidrojen gazı da yakıt pili ile yeniden elektrığe ve dolayısı ile ısı ve ışığa dönüştürülebilir. Böylece, bu sistem yenilenebilir enerji kaynağı ile çalıştığından, zararlı atık üretmez ve çevreye zarar vermediği için çevreci bir sistemdir. Böyle sistemler çoğaldıkça dünya daha uzun süre yaşanabilir bir yer olmaya devam edecektir.

6. KAYNAKLAR

1. Öztürk, M., Özek, N., Berkama, B., 2012. Comparison of Some Existing Models for Estimating Monthly Average Daily Global Solar Radiation for Isparta, Pamukkale

- University Journal of Engineering Sciences, 18, 13-27.
2. Karakilcik, M., Dincer, I., Rosen, M., 2006. Performance Investigation of a Solar Pond, *Applied Thermal Engineering*, 26, 727-735.
 3. Abdullah, A.A., Lindsay, K.A., AbdelGawad, A.F., 2016. Construction of Sustainable Heat Extraction System and a New Scheme of Temperature Measurement in an Experimental Solar Pond for Performance Enhancement, *Solar Energy*, 130, 10-24.
 4. Date, A., Yaakob, Y., Date, A., Krishnapillai, S., Akbarzadeh, A., 2013. Heat Extraction from Non-Convective and Lower Convective Zones of the Solar Pond: A Transient Study, *Solar Energy*, 97, 517-528.
 5. Ding, L.C., Akbarzadeh, A., Tan, L., 2018. A Review of Power Generation with Thermoelectric System and its Alternative with Solar Ponds, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 799-812.
 6. Bertrand F., Tchanche, B.F., Lambrinos, G., Frangoudakis, A., Papadakis, G., 2011. Low-Grade Heat Conversion Into Power Using Organic Rankine Cycles—A Review of Various Applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3963-3979.
 7. Erden, M., Karakilcik, M., Dincer, I., 2017. Performance Investigation of Hydrogen Production by the Flat-Plate Collectors Assisted by a Solar Pond, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 2522-2529.
 8. Karapekmez, A., Dincer, I., 2018. Modelling of Hydrogen Production from Hydrogen Sulfide In Geothermal Power Plants, *International Journal of Hydrogen Energy* 43, 10569-10579.
 9. Dincer, I., Acar, C., 2018. Smart Energy Solutions with Hydrogen Options, *International Journal of Hydrogen Energy* 43, 8579-8599.
 10. Yüksel, Y.E., Öztürk, M., 2016. Thermodynamic Analysis of Integrated Wind-Solar-Hydrogen System for Residential Applications, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3, 401-416.
 11. Yüksel, Y.E., Öztürk, M., 2015. Thermodynamic Analysis of an Integrated Solar-based Chemical Reactor System for Hydrogen Production, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2, 19-27.
 12. Ozturk, M., Dincer, I., 2013. Thermodynamic Assessment of an Integrated Solar Power Tower and Coal Gasification System for Multi-Generation Purposes, *Energy Conversion and Management*, 76, 1061-1072.
 13. Bozkurt, I., Karakilcik, M., 2012. The Daily Performance of a Solar Pond Integrated with Solar Collectors. *Solar Energy*, 86, 1611-1620.
 14. Bozkurt, I., Karakilcik, M., 2015. The Effect of Sunny Area Ratios on the Thermal Performance of Solar Ponds. *Energy Conversion and Management*, 91, 323-332.
 15. Karakilcik, M., Dincer, I., Bozkurt, I., Atiz, A., 2013. Performance Assessment of a Solar Pond With and Without Shading Effect, *Energy Conversion and Management*, 65, 98-107.
 16. Karakilcik, M., 2016. The Effect on Performance of the Salt Gradient Zone of the Solar Pond Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 31, 391-400.
 17. Cengel, Y.A., 2006. *Heat and Mass Transfer*, Third Edition, Mc Graw Hill.
 18. Quoilin, S., Den Broek, M.V., Declaye, S., Dewallef, P., Lemort, V., 2013. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 168-186.
 19. Wang, J., Yan, Z., Wang, M., Maa, S., Dai Y., 2013. Thermodynamic Analysis and Optimization of an (Organic Rankine Cycle) ORC Using Low Grade Heat Source, *Energy* 49, 356-365.
 20. Tchanche, B.F., Papadakis, G., Lambrinos, G., Frangoudakis, A., 2009. Fluid Selection for A Low-Temperature Solar Organic Rankine Cycle, *Applied Thermal Engineering* 29, 2468-2476.
 21. Ozturk, M., Dincer, I., 2013. Thermodynamic Analysis of a Solar-Based Multi-Generation System with Hydrogen Production, *Applied Thermal Engineering*, 51, 1235-1244.
 22. Yılmaz, C., Kanoğlu, M., Bolattürk, A., 2011. Jeotermal Enerji ile Hidrojen Üretilmesi ve Sıvılaştırılması, X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.