



Güneş Enerjisi Destekli Vakum Distilasyon Yöntemi ile Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Enerji Analizi

Energetic Analysis of Freshwater Production from Sea Water by Vacuum Distillation with Solar Energy Support

Mükerrem Sinem Mungan¹, Orhan Arpa^{2*}

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü sinemungan@artuklu.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3286-4332>

² Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü orhana@dicle.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8129-1548>

MAKALE BİLGİLERİ

MakaleGeçmişi:

Geliş 17 Ocak 2023
Revizyon 15 Şubat 2023
Kabul 20 Şubat 2023
Online 23 Mart 2023

AnahtarKelimeler:

*Güneş Enerjisi
Deniz Suyu
Tatlı su
Vakum Distilasyon
Optimum Çalışma Basıncı.*

ÖZ

Günümüzde tüm dünyanın sorunu haline gelen temiz su ihtiyacını karşılamak için yeni çözümler bulunması gerekmektedir. Bu çözümlerden bir tanesi de deniz suyundan tatlı su elde edilmesidir. Üç tarafı denizlerle kaplı olan ülkemiz hem bu açıdan hem de bu sistemler için gerekli olan enerji göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisini kullanmak açısından da oldukça şanslı bir konumda bulunmaktadır.

Bu çalışmada güneş enerji destekli vakum destilasyon yöntemi kullanılarak deniz suyundan tatlı su elde edilmesinin teorik analizi yapılmıştır. Sistem için gerekli olan enerji ihtiyacı da yine güneş enerjisi kullanılarak PV paneller tarafından sağlandığı düşünülmüştür. Sistemden vakum altında ve atmosferik basınçta üretilecek olan su miktarları hesaplanarak kıyaslama yapılmış ve vakum altında üretim yapılmasının avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Sistemin maliyet analizi de yapılmış olup yaklaşık olarak üretilecek suyun metreküp fiyatı belirlenmiştir.

Bu çalışmada İzmir ili iklim koşulları ve Ege denizi değerleri kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda 100,30,20,10 ve 5 kPa basınç altında elde edilen su miktarları, sistemin enerji ihtiyacı hesaplanmış ve maliyet analizi yapılarak m³ su maliyeti hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda en yüksek su üretimi 5 kPa basınç altında elde edilmiş olup maliyeti yıllık üretime göre 19.50₺ olarak hesaplanmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 January 2023
Received in revised form 15 February 2023
Accepted 20 February 2023
Available online 23 March 2023

Keywords:

*Solar Energy
Sea Water
Fresh Water
Vacuum Distillation
Optimum Operating Pressure*

ABSTRACT

New solutions must be found to meet the clean water need, which has become the problem of the whole world today. One of these solutions is obtaining fresh water from seawater. Our country, which is covered by sea on three sides, is in a very lucky position in terms of using solar energy, which is one of the renewable energy sources, both in this respect and considering the energy required for these systems. theoretical analysis was made.

The energy requirement for the system is also thought to be provided by PV panels using solar energy. The amount of water to be produced from the system under vacuum and at atmospheric pressure has been calculated and compared, and the advantages and disadvantages of producing under vacuum have been evaluated. The cost analysis of the system was also made and the cubic meter price of the water to be produced was determined. In this study, the climatic conditions of the province of İzmir and the values of the Aegean Sea were used.

As a result of the study, the amount of water obtained under 100, 30, 20, 10 and 5 kPa pressure, the energy need of the system was calculated and the cost analysis was made and the m³ water cost was calculated. As a result of the calculations, the highest water production was obtained under 5 kPa pressure, and its cost was calculated as 19.50 ₺ according to the annual production.

Doi: 10.24012/dumf.1237643

* SorumluYazar

Giriş

Dünyadaki suyun % 97'si okyanus suyudur. Kalan % 3'ünün de % 80'i ya tuzludur ya da kullanıma uygun değildir. Ancak % 5'i içilebilecek sudur. Bu yüzden pek çok kişi içecek su bulamamaktadır. Bu durum, düşük yaşam standartlarına ve sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Temiz ve ucuz su elde etmek için pek çok teknolojiler geliştirilmiştir [1].

Desalinasyon yöntemi ile temiz su üretimi basit, verimli ve güvenlidir. Desalinasyon işlemi için gerekli olan enerji güneşi ısı enerjisi olarak kullanılabilir. Desalinasyon işleminde önce su buharlaşır içindeki istemediğimiz bileşenlerden ayrışarak temiz su olarak yoğunlaştırılır. Güneş enerjili desalinasyon ile elde edilen su piyasadaki işelenmiş suların çoğundan daha kalitelidir [2].

Güvenilir içme suyunun dağıtımı ve kullanılabilirliği ile ilgili durum, gelişmekte olan ve hatta gelişmiş ülkelerde bile ortadadır. Bu durum; gelecekte artan nüfusun baskısı, tarımsal koşullar, iklim değişiklikleri, karaların ve su kaynaklarının aşırı kullanımı yüzünden daha da kötüleşecektir [3].

Yenilenebilir enerji kaynaklı tuzdan arındırma sistemleri, suyu ekonomik ve çevre dostu bir şekilde tuzdan arındırmak için yenilikçi bir yaklaşım olarak kapsamlı bir şekilde tartışılmaktadır [4].

Suyun dünyadaki yeri

Önemi giderek artan su dünyadaki canlıların temel ihtiyaçlarındandır. Son dönemlerde yaşanan su rezervlerindeki düşüş ve temiz su kaynaklarındaki azalmanın sebepleri arasında nüfus artışı ve küresel ısınma sayılmaktadır [5]. Yeryüzündeki insanların yaklaşık dörtte biri önemli anlamda temiz su problemi yaşamaktadır. Bahsetmiş olduğumuz bu tuzlu su kaynakları içme suyu olarak kullanılabilir hale getirilirse su sorunun çözümü için çok ciddi bir rezerv elde edilmiş olacaktır [6]. Son dönemlerde enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerjilerin kullanılmasının yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmıştır. Genellikle deniz bulunan bölgeler güneş enerjisi bakımından da şanslı bölgelerdir [5]. Temiz su için yapılan çalışmaların önem kazanmasının nedenleri su kaynaklarının sonuna geliniyor olması ve mevcut rezervlerin kullanılabilir durumda olmamasıdır. Su tüketim miktarı nüfusun artışı ve sanayinin gelişmesi ile sürekli artmaktadır. Su sorunu yaşayan ülkelerin çoğunun denize kıyısı bulunmaktadır. Deniz suyunun tuzlu olması nedeniyle bu rezervler doğrudan içme ve kullanım için uygun değildir [7].

Ülkemizdeki su verileri

Ülkemizin iklim özelliği yarı kurak olarak nitelendirilmektedir. Yağışlar, iklim özellikleri ve mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Ülkemizin ortalama yıllık yağış miktarı 574 mm, toplam yıllık yağış miktarı 450 milyar m³'tür.

Ülkemiz bulunduğu bölge itibari ile su potansiyeli

açısından sorunları olmayan bir ülke olarak görülmektedir. Ancak kişi başına temiz su miktarına bakıldığında durumun böyle olmadığı görülmektedir. Uluslararası kriterlerde kişi başına 10 000 m³ su düşen durumlarda o ülke "su zengini" sayılmakta; su miktarı, 3 000 ile 10 000 m³ arasında olan ülkelerde "yeterli suyu olan ülke", 1 000 ile 3 000 m³ arasında olan ülkelerde "su sıkıntısı olan ülke" olarak nitelendirilmektedir. Su miktarı 1 000 m³'ün altında olan ülkeler su fakiri sayılmaktadır. Türkiye'nin kişi başına düşen kullanılabilir miktarı dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında su zengini olmayan ülke olduğu görülmektedir [8].

Türkiye güneş enerji potansiyeli

Ülkemiz şanslı coğrafi yerleşimi ile ciddi bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Toplam yıllık güneşlenme süresi 2737 saattir. Toplam güneş enerjisi miktarı ortalama 1527 kWh/m² yıl'dır. Türkiye'nin neredeyse tüm bölgelerinde güneş enerjisi kullanılabilir. Ülkemizde potansiyelinin yüksek oluşu, kullanımının kolaylığı, yenilenebilir olması ve çevreci olması nedenleri ile yenilenebilir enerji kaynakları içinde hızla kullanımı artış göstermektedir [9].

Deniz suyu özellikleri ve kalitesi

Dünyadaki denizlerin tuzluluk oranları Tablo 1'de verilmiş olup tuz seviyeleri % 0.7 - % 4.3 aralığındadır. Bağlı olan tatlı su kaynaklarına göre deniz tuz oranları değişiklik göstermektedir [6].

Tablo 0 Dünyadaki denizlerin tuzluluk oranları (%)

Denizler	Tuz Konsantrasyonu %
Standart Deniz Suyu	3.5
Baltık Denizi	0.7
Hazar Denizi	1.3
Pasifik Okyanusu	3.4
Atlantik Okyanusu	3.6
Kızıldeniz	4.3
Basra körfezi	4.3
Karadeniz	1.8
Marmara Denizi	2.2
Ege denizi	3.8
Akdeniz	4.3

Deniz suyundan temiz su üretme yöntemleri

Desalinasyon, deniz suyundan tuz ve diğer bileşenlerin ayrıştırılarak temiz su elde edilmesi yöntemidir [10].

Desalinasyon tesisleri genellikle başka su kaynağı olmayan Orta Doğu'nun kurak bölgelerinde kurulmaktadır. Desalinasyon tesislerinin en önemli sıkıntısı kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olmasıdır [11].

Membran teknolojileri ve ısı yöntemleri olmak üzere tuzdan arındırma yöntemleri iki bölümde incelenebilir.

En eski tuzsuzlaştırma yöntemleri ısı yöntemleridir. Ayrılması ve daha sonra buharın yoğunlaştırılması ile temiz su elde edilmesi yöntemidir [12].

Deniz suyu arıtımında uygulanan prosesler şöyledir.

Isıl Yöntemler

- Çok işlemlili damıtma
- Çok kademeli şok damıtma
- Mekanik buhar sıkıştırma
- Güneşle damıtma [13].

Membran Yöntemler

Membran yöntemler, destilasyon işleminde membran sistemlerinin kullanıldığı yöntemlerdir. Ters ozmos ve elektrodializ deniz suyu destilasyonunda en yaygın kullanılan yöntemlerdir [14]. Bunlar;

- Ters ozmos
- Elektrodializ
- Membran Distilasyon

Yenilenebilir enerji kaynakları

Doğal çevrim sürecinde değişmeden kalan, harcanmasına karşın eksilmeyen, kaynaklara yenilenebilir enerji kaynakları denir [15].

Yenilenebilir enerjinin çeşitleri: Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Jeotermal enerji, Hidrolik Enerji [15].

Güneş enerjisi

Güneşin çekirdeğindeki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi sonucu açığa çıkan büyük enerjiye güneş enerjisi denir. Dünyaya güneş ışınları ile ulaşan bu enerjiden faydalanmak için çeşitli teknolojik sistemler geliştirilmiştir. Bunlar ile doğrudan ısı enerjisi olarak veya elektrik enerjisine dönüşmüş olarak güneş enerjisini kullanabiliriz [15].

Güneşten fazla yararlanamayan ülkeler dahi çevreye çok düşük zarar vermesi nedeni ile güneş enerjisini elverişli bir kaynak olarak değerlendirmektedirler. Ayrıca güneş tarafında üretilen enerjinin halihazırda çok düşük bir miktarı kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin yaygın olarak öncelikle fotovoltaik ve termal olmak üzere değişik tekniklerle elektrik üretiminde kullanılmasının temel nedenidir [16].

G. Xie ve ark; [17] bu çalışmada, büyük ölçüde geliştirilmiş üretkenliğe sahip yeni bir üç tüplü güneş enerjisi (TSS) etkisi sunmaktadır. Çin'in Chengdu kentinde dört gün boyunca yapılan bir deneyde bir prototip üretilmiş ve test edilmiştir. Hareketsiz suyun tatlı su verimi dört çalışma basıncında ölçülmüştür. Bunlar 95 (yerel atmosferik), 60, 40 ve 20 kPa'dır. Çalışma basıncı düşürüldüğünde hem çalışma sıcaklığı hem de üç oda arasındaki sıcaklık farkı azalmıştır. Tatlı su verimleri sırasıyla 0.77, 1.28, 1.39 ve 0.8; enerji kullanım verimleriyle sırasıyla 3.27, 6.323, 7.056 ve 4.287 kg / gün olmuştur. En iyi toplam performans 40 kPa'lık bir çalışma basıncında görülmüştür. Yıllık% 5 faiz, 20 yıl, ortalama 270 günlük çalışma süresi ve ortalama günlük 5 kg / m² / gün verimlilik göz önüne alındığında,

önerilen güneş tuzdan arındırma sistemi için tatlı su birim maliyeti yaklaşık olarak \$ 0.0082 / kg. hesaplanmıştır.

T. Ayhan ve H. Al Madani; [18] Çalışmaları yenilenebilir enerji kaynakları ve doğal vakum tekniği kullanan enerji verimli deniz suyu tuzdan arındırma sistemi ile ilgilidir. Natural Vacuum Desalination adlı yeni bir tuzdan arındırma teknolojisi önerilmiştir. Yeni tuzdan arındırma tekniği, deniz suyunun vakum altında buharlaştırılması yoluyla kayda değer bir enerji verimliliği sağlar ve benzer kapasiteye sahip herhangi bir geleneksel tuzdan arındırma tesisine kıyasla çok daha az elektrik enerjisi gerektirdiğini göstermişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla avantajlı bağlantı sağlayan umut verici tekno-ekonomik potansiyele sahip görünen önerilen doğal vakumlu deniz suyu tuzdan arındırma teknolojisinin ana işletim ve bakım özellikleri anlatılmıştır.

S. N. Kane ve ark; [19] Değişken düşük dereceli ısı kaynağı sıcaklığına sahip doğal bir vakumlu tuzdan arındırma ünitesi sayısal olarak incelenmiştir. Amaç, düşük dereceli ısı kaynağının değişken sıcaklığının tuzdan arındırma ünitesinin performansları ve özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Simülasyon 9 saat boyunca gerçekleştirilir, yerel saatle 8.00'de başlar ve 17.00'de biter. Sonuçlar, 9 saat çalışma süresine sahip tuzdan arındırma ünitesinin 5.705 L tatlı su ürettiğini ve ısı veriminin % 81.8 olduğunu göstermektedir. Bu, doğal vakumlu tuzdan arındırma ünitesinin ısı kaynağının değişen sıcaklığının, ısı kaynağının sabit sıcaklığına göre daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

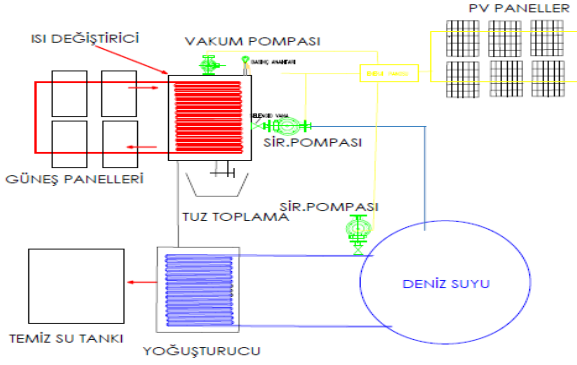
M. J. Abbaspour ve ark; [20] güneş doğal vakum tuzdan arındırma sistemini deneysel olarak araştırmışlardır. Barometrik bir su sütunu kullanılarak ve atmosferik basınç ve yerçekimi ile bir denge oluşturularak, buharlaşma odasının içinde gün boyunca vakum koşulları korunmuş ve bu da daha düşük sıcaklıklarda buharlaşmanın başlamasına ve bunun sonucunda geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük enerji tüketimine yol açmıştır. Dört farklı çalışma basıncına sahip bir vakum oluşturmanın tatlı su üretimini üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, sistemin azaltılmış sistem basıncında daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. En yüksek saatlik ve günlük üretimler 1.134 kg/m² hr ve 8.065 kg/m² gün olmuştur. Üretilen tatlı su maliyeti 0.094 \$ / L olarak elde edilmiştir.

T. Yan ve ark; [21] vakum koşullarında çalışan iki etkili borulu güneş enerjisi damıtma sisteminin performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Vakum, bir vakum pompası kullanılarak oluşturulmuş ve çalışma basıncı 20 ila 101 kPa arasında seçilmiştir. Sonuçlar, sistemin vakum koşulu altında çalıştırılmasının tatlı su verimini önemli ölçüde arttırdığını ve kabul edilebilir elektrik pahasına verimliliğini iyileştirdiğini göstermektedir. Atmosfer basıncına kıyasla 20 kPa basınçta verim oranında iki kat artış sağlandı. Performans oranları ısıtmada sırasıyla 101, 60 ve 20 kPa'da 0.57, 0.70 ve 1.27 olarak hesaplanmıştır. Vakum işleminin, çok etkili güneş damıtıcıları için tek etkili damıtıcılardan daha ekonomik olduğu bulunmuştur.

I. J. Esfahani ve ark; [22] bu derlemede yenilenebilir enerjiyle çalışan termal tuzdan arındırma sistemleri

kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Açıklanan tüm işlemler arasında, güneş enerjisi damıtıcıları ekonomik olarak en uygun olanıdır, ancak geniş alanları işgal eder. Bir güneş enerjisi tarafından üretilen su hala yüksek kalitededir ancak üretkenlik çok düşüktür, 4 ila 6 L/m²/gün arasında; bu nedenle, su üretim maliyetleri 0,5 ila 14 \$/m³ arasında yüksektir.

Meteryal ve Metot



Şekil 1 Tasarlanan sistem

Yapacağımız bu çalışmada güneş enerjisi ile ısıtılan su direk olarak vakum altındaki ısı değiştiricide bulunan deniz suyunu buharlaştırmak için kullanılacaktır.

Sistemde kullanılacak olan pompaların enerji ihtiyacı PV paneller ile sağlanacaktır.

Buharlaştırılan suyun denizden alınan soğuk su ile yoğuşması sağlanarak temiz su tankına alınması düşünülmektedir.

Bu çalışmada hangi sıcaklıklarda, hangi basınç değerlerinde ve hangi mevsim şartlarında en verimli kullanılabilir su elde edilebileceği çalışılmıştır.

Bununla ilgili gerekli hesaplamalar yapılarak sonuçları analiz edilmiştir.

Hesaplamalarda İzmir ili ve Ege denizi özellikleri kullanılacaktır. Ege denizi ve İzmir ilinin seçilmesinin nedeni deniz tuz oranı ve güneşlenme süresi göz önüne alındığında en iyi verimi verebilecek olmasıdır. Güneş radyasyon değerleri, deniz suyu sıcaklığı, ortalama güneşlenme süreleri meteoroloji genel müdürlüğü verilerinden alınmıştır [23].

Kabuller:

- Hesaplamalarda sistem kontrol hacim olduğundan sürekli akışlı açık sistem kabul edilmiştir.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Sistemde meydana gelecek ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
- Sistemde iş geçişi yoktur.

Sistem bileşenleri:

1. Güneş kolektöründen elde edilen enerji;

$$Q_{\text{kolektör}} = R * F * A * \eta_K \quad (1)$$

formülü ile hesaplanacaktır.

Q : Kolektörler tarafından üretilen enerji

R : Güneş radyasyon değeri

F : Geliş açısı düzeltme faktörü

A : Kolektör alanı

η_K : Kolektör verimi

2. Buhar Üretici Isı Değiştirici:

Shell & tube ısı eşanjörleri endüstriyel sıvıları ısıtmak veya soğutmak için tasarlanmıştır.

Üretilecek buhar miktarı;

Kütlenin korunumu ilkesi gereği:

$$\dot{m}_g = \dot{m}_ç$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{su}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{ds}$$

Enerjinin korunumu ilkesi gereği:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = \frac{dE_{\text{sistem}}}{dt} \quad (2)$$

Sürekli akış olduğu için $dt = 0$ olur.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç$$

$$\bar{Q} \cong 0, \bar{W} = 0, ke \cong 0, pe \cong 0$$

$$\bar{Q}_{su} = \bar{Q}_{ds}$$

$$\bar{Q}_{su} = \dot{m}_{ds} * (u_g - u_{ds}) + \dot{m}_{ds} * h_{fg} \quad (3)$$

3. Yoğuşturucu:

Shell & tube ısı eşanjörleri endüstriyel sıvıları ısıtmak veya soğutmak için tasarlanmıştır.

Soğutma için gerekli deniz suyu miktarı;

Kütlenin korunumu ilkesi gereği:

$$\dot{m}_g = \dot{m}_ç$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{su}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{ds}$$

Enerjinin korunumu ilkesi gereği:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = dE_{\text{sistem}}/dt$$

Sürekli akış olduğu için $dt = 0$ olur.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c$$

$$\dot{Q} \cong 0, \dot{W} = 0, ke \cong 0, pe \cong 0$$

$$\dot{Q}_{\text{buhar}} = \dot{Q}_{\text{deniz suyu}}$$

$$\dot{m}_{su} = (\dot{m}_b * h_{fg}) / (c_p * (T_{çıkış} - T_{ds})) \quad (4)$$

4. Vakum Pompası:

Isı değiştiricinin vakum altında çalışmasını sağlamak için vakum pompası bağlanacaktır.

Tablo 2 Vakum pompası teknik özellikleri

Model		DRV10	DRV16	BSV24	
Pumping Rate	m ³ /h(L/min)	50 Hz	9.9(165)	14.4(240)	20(336)
		60 Hz	12(200)	17.4(290)	24(403)
Ultimate Pressure	Pa	Gas Ballast Closed	5x10 ⁻¹		
		Gas Ballast Opened	5		
Motor Power(4P)	kW	0.4	0.55	0.75	
Voltage	V	Three Phase	380, 400		
		Single Phase	220, 230		
Oil Needs	L	0.55-1.1	0.65-1.2	0.75-1.5	
Inlet	KF	25			
Outlet	-	25			
Ambient Temp.	°C	5-40			
Weight	kg	25	27	32	

Tablo 2 değerleri esas alınarak güç sarfiyatı ve gerekli PV panel sayısı belirlenmiştir.

5. Pompa:

Her bir eşanjöre deniz suyu basmak için sisteme bağlanacak olan 2 adet pompa gerekli olduğuna karar verilmiştir.

6. Basınç Anahtarı:

Vakum altında olan ısı değiştiriciyi sürekli aynı basınçta tutmak, basıncı kontrol etmek ve ayarlamak için kullanılmıştır.

7. Selonoid Vana:

Isı değiştiriciye istenilen zamanda ve miktarda deniz suyunu kontrollü olarak aktarmak için kullanılmıştır.

8. Pv Panel:

Sistemdeki pompalar için gerekli olan enerjiyi sağlamak için kullanılacaktır. Sistem enerji ihtiyacı için 2 adet PV panel kullanılacaktır.

9. Temiz Su Tankı:

Yoğuşturulmuş olan temiz kullanım suyunu depolamak için kullanılacak paslanmaz çelik modüler temiz su deposu seçilmiştir. Tankın hacmi en uzun güneşlenme süresi ve en çok yoğuşan su miktarı esas alınarak bir günlük depolamaya yetecek şekilde seçilmiştir.

Günlük yoğuşan su miktarı:

$$\dot{m}_{\text{günlük}} = \dot{m}_s * 3600 * t_{\text{güneşlenme}} \quad (5)$$

Buna göre 1000 lt'lik paslanmaz çelik su deposu maksimum günlük üretim için seçilmiştir.

10. Tuz Toplama Tankı:

Buharlaşma esnasında ısı değiştiricide biriken tuzun günlük tahliyesi için kullanılacaktır. Hacmi bir günlük tuz miktarı esas alınarak belirlenecektir.

Günlük tuz miktarı :

$$\dot{m}_{\text{tuz}} = \dot{m}_{ds} * z * 3600 * t_{\text{güneşlenme}} \quad (6)$$

Buna göre 20 kg lik tuz deposu maksimum günlük üretim için seçilmiştir.

Tuzsuz buhar miktarının belirlenmesi :

Tablo 3 Denizlerimizin tuzluluk oranları

Denizlerin tuz oranları (z)	(%)
Karadeniz	1.8
Marmara denizi	2.2
Ege denizi	3.8
Akdeniz	4.3

Ege denizi tuz oranı % 3.8 olduğuna için

$$\dot{m}_b = \dot{m}_{ds} - (\dot{m}_{ds} * z) \quad (7)$$

Maliyet analizi

Sistemde kullanılacak olan tüm ekipmanın maliyeti aşağıda gösterilen tablodaki birleşenler için maliyet hesabı değişen basınç ve dönüş suyu sıcaklıklarına göre yapılmıştır. Sistem toplam çalışma süresi, yıllık üretilen su miktarı ve amortisman değerleri düşünülerek elde edilen temiz su birim maliyeti bulunmuştur.

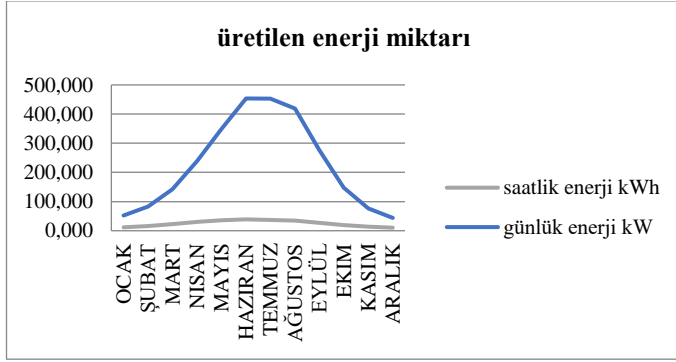
Araştırma bulguları

Öngörülen sistem üzerinde hesaplamalar :

- 100, 30, 20, 10 ve 5 kPa basınç değerlerine göre yapılmıştır.
- Yoğuşturma için kullanılacak deniz suyu dönüş sıcaklığı ısıl kirlenme düşünülerek 30 ° C ve 40° C ye göre hesaplanmıştır.
- PV panel elektrik üretimi için [24] linki kullanılarak İzmir iline göre 0.5 kW kapasiteli panelin aylara göre ürettiği enerji miktarı hesaplanmıştır.
- Pompalar için harcanacak olan enerji miktarı kataloglardan alınan değerlere göre hesaplanmıştır.
- Sistemde kullanılacak olan tüm ekipmanın maliyeti hesaplanmış buna göre 1 m³ su fiyatı hesaplanmıştır. 100 kPa için vakum pompası ve bileşenleri hesaba katılmamıştır.
- Hesaplamalar 20 yıl ömür üzerinden %10 yıpranma payı düşünülerek yapılmıştır.

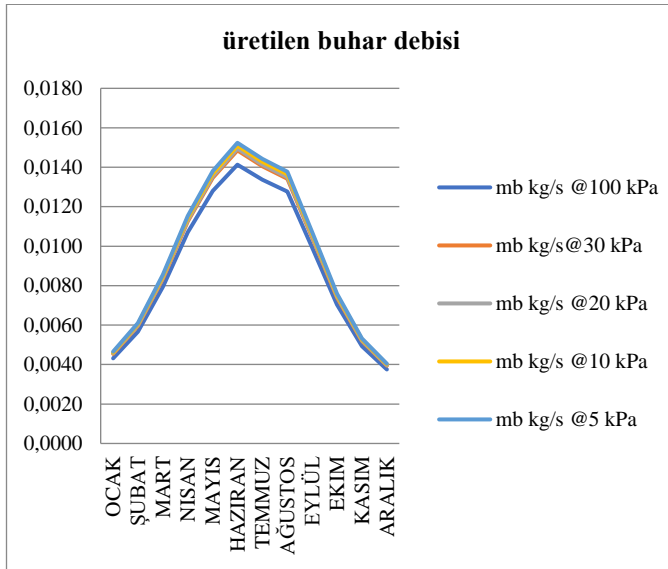
İzmir şartlarında aylara göre 4 adet kolektörden elde edilen saatlik ve günlük enerji değerleri hesaplanmıştır. En yüksek enerji değerine ortalama 453 kW ile Haziran ve Temmuz aylarında; en düşük enerji değerine 44 kW ile Aralık ayında ulaşıldığı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda

ortalama günlük ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri meteoroloji genel müdürlüğü verileri kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2 Üretilen Enerji Miktarı

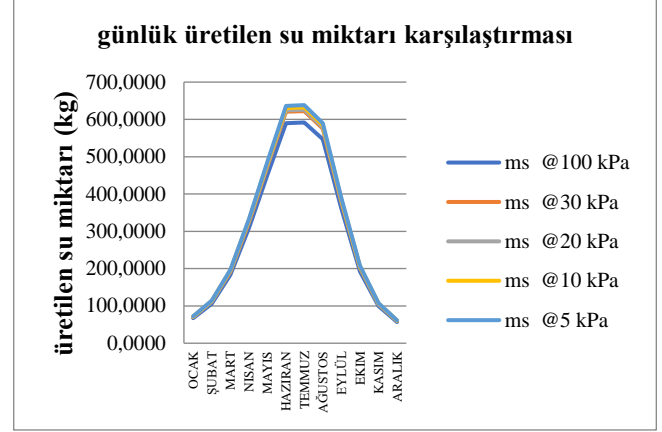
1. Buharlaştırılan su miktarı ve tuzsuz su buharı miktarı hesaplanmıştır. Ege denizi tuzluluk oranı olan %3.8 kullanılmıştır. Öncelikle buharlaştırılan su miktarı formül (4) kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra Ege Denizi tuzluluk oranı olan %3.8 lik kısmı bu değerden çıkarılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan basınç değerlerine göre hesaplanan buhar miktarı aşağıdaki gibidir. En yüksek buhar debisi 5 kPa da Haziran ayında 0.0152 kg/s olarak hesaplanmıştır. En düşük buhar debisi 100 kPa da Aralık ayında 0.0038 kg/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3 Aylara göre buhar debisi grafiği

Su buharı debisi kullanılarak hesaplamalardaki basınç değerlerine göre günlük güneşlenme sürelerinde çalışıldığı

düşünülerek günlük toplam üretilen su miktarları hesaplanmıştır. En yüksek üretim 5 kPa basınçta Temmuz ayında 638.3 kg olarak hesaplanmıştır. En düşük üretim 100 kPa basınçta Aralık ayında 56.7 kg olarak hesaplanmıştır. Elde edilen toplam günlük su miktarları şekil 4 te verilmiştir.



Şekil 4 Değişen basınç değerlerinde günlük su miktarı karşılaştırması

Sistemin toplam enerji ihtiyacı ortalama 0.5 kW olarak hesaplanmıştır. Hesaplamada vakum pompası ve santrifüj pompa ve sirkülasyon pompasının değişken basınçlarda ve aylarda farklı üretilen su miktarları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Debi artışlarında pompa daha fazla enerji harcayacağından bunlar hesaplamalara eklenmiştir. Enerji ihtiyacı aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Yoğuşurma kısmında soğutma suyunun 40 °C veya 30 °C olması arasında harcanan enerji açısından büyük bir kayıp olmadığı için ısıl kirlenme de düşünülerek dönüş ısısının 30 °C olması daha uygun olacaktır.

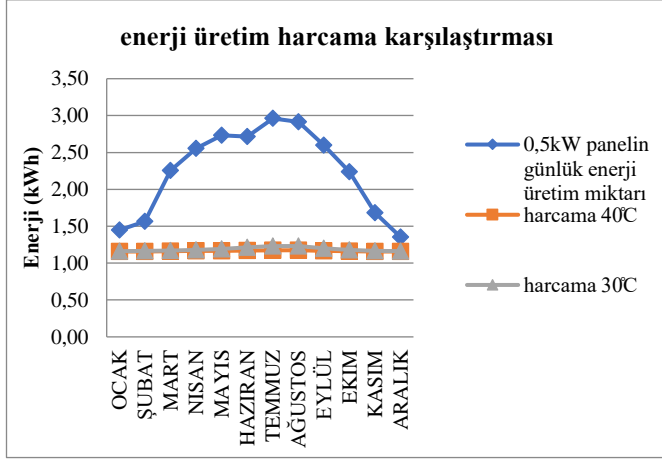
Tablo 4 Sistem enerji ihtiyacı

AYLAR	Vakum pompası	Santrifüj pompa	S.P. T _a =40°C	S.P. T _a =30°C	Toplam T _a =40°C	Toplam T _a =30°C
Ocak	0.4	0.75	0.01	0.01	1.16	1.16
Şubat	0.4	0.75	0.01	0.02	1.16	1.17
Mart	0.4	0.75	0.01	0.02	1.16	1.17
Nisan	0.4	0.75	0.01	0.03	1.16	1.18
Mayıs	0.4	0.75	0.02	0.04	1.17	1.19
Haziran	0.4	0.75	0.02	0.06	1.17	1.21
Temmuz	0.4	0.75	0.02	0.08	1.17	1.23
Ağustos	0.4	0.75	0.02	0.08	1.17	1.23
Eylül	0.4	0.75	0.02	0.05	1.17	1.20
Ekim	0.4	0.75	0.01	0.03	1.16	1.18
Kasım	0.4	0.75	0.01	0.02	1.16	1.17
Aralık	0.4	0.75	0.01	0.01	1.16	1.16

PV panel elektrik üretimi [24] linki kullanılarak İzmir iline göre 0.5 kW kapasiteli panelin aylara göre ürettiği enerji miktarı hesaplanmıştır. PV panellerin günlük enerji üretimi hesaplanmış ve sistem enerji tüketimi ile karşılaştırılmıştır.

PV panellerin en yüksek enerji üretimi Temmuz ayında 2,96 kWh olarak hesaplanmıştır. Sistemin en yüksek enerji sarfiyatı Temmuz ve Ağustos aylarında 1.23 kWh olarak hesaplanmıştır.

Üretilen enerji miktarı sistemin yıl boyunca ihtiyacını karşılayacak kapasitede olduğu görülmüştür. Enerji üretim ve üretim-harcama karşılaştırması aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

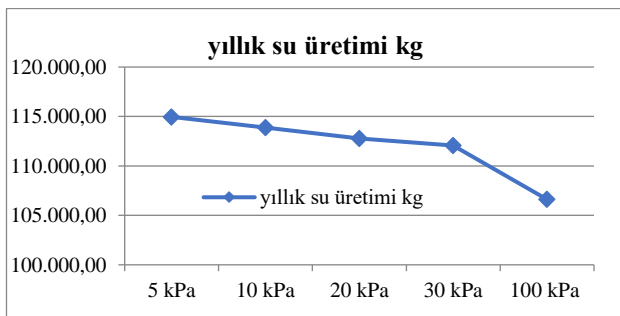


Şekil 5 Sistem enerji üretim-harcama karşılaştırması

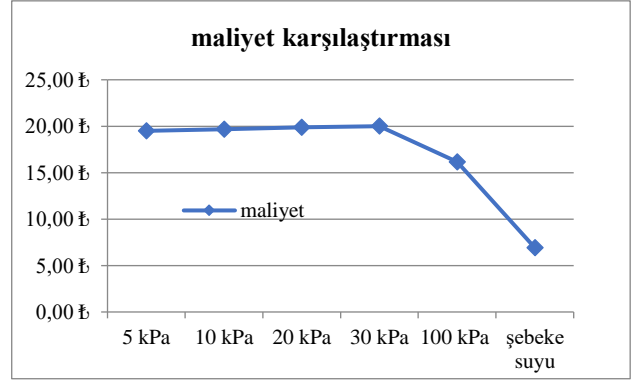
Son olarak sistemin tüm birleşenlerin maliyet hesapları yapılarak toplam **42.697,00 ₺** olarak belirlenmiştir.

Farklı basınç değerlerinde yıllık üretilen su miktarı dikkate alınarak 1 m³ suyun üretim bedeli belirlenmiştir. Bu hesaplama yapılırken sistem yıpranma payı ve sistem ömrü düşünülerek hesaplanmıştır. Hesaplamalar 20 yıl üzerinden aylık 30 gün, güneşlenme süreleri boyunca ve %10 yıpranma payı eklenerek yapılmıştır. 100 kPa için vakum pompası ve bağlantıları hariç olarak hesaplama yapılmıştır. 100 kPa basınçta 1 m³ su bedeli bu nedenle daha ucuz çıkmıştır. En yüksek yıllık su üretimi 5 kPa basınç altında toplam 114 958 kg olarak hesaplanmıştır. En düşük yıllık su üretim miktarı 100 kPa basınç altında toplam 106 612 kg olarak hesaplanmıştır.

En düşük metreküp su maliyeti 100 kPa da 16.16 ₺ olarak hesaplanmıştır. En yüksek metreküp su fiyatı 30 kPa da 20₺ olarak hesaplanmıştır. İzmir için İZSU dan alınan verilere göre konutlar için suyun m³ fiyatı 6.92 ₺ dir. Bu fiyata göre kıyaslama yapıldığında üretilen suyun maliyeti oldukça yüksek çıkmaktadır.



Şekil 7 Yıllık su üretimi



Şekil 8 1 m³ su maliyet karşılaştırması

Sonuç

Yeryüzünde canlıların en önemli ihtiyaçlarının başında su gelmektedir. Su sıkıntısının tüm dünyayı tehdit etmeye başladığı günümüzde alternatif su kaynakları önem kazanmıştır. Bu konuda şanslı konumda olan ülkemiz hem denizlerle çevrili olması hem de yenilebilir enerji kaynakları açısından uygun konumda olması sebebi ile deniz suyunun artırılarak tatlı su olarak kullanılabilmesi açısından şanslı bir ülkedir.

Bu çalışmada Ege denizine kıyısı olan İzmir ili analiz için seçilmiştir. Seçim yapılırken deniz tuz oranı ile güneşlenme süresi ve ışınım değerleri göz önüne alınarak daha verimli olacağı düşünülmüştür. Güneş enerji destekli vakum destilasyon yöntemi ile tatlı su elde etmek için güneş kolektörü, ısı değiştirici, yoğunlaştırıcı vakum, santürlüj ve sirkülasyon pompaları seçilerek sistem tasarımı yapılmıştır. Sistemin ihtiyacı olan enerjiyi karşılamak üzere PV paneller kullanıldığı düşünülmüş ve bu paneller ile enerji üretimi hesaplanmıştır.

Seçilen konum olan İzmir ili için güneş radyasyon değerleri, güneşlenme süreleri, deniz suyu sıcaklığının aylara göre ortalama değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü sitesinden alınarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

Kolektörler yardımıyla elde edilen enerji ile vakum altındaki ısı değiştiricide deniz suyu buharlaştırılarak tuzdan arındırılmıştır. Daha sonra yoğunlaştırıcıya gelen su buharı denizden alınan su kullanılarak yoğunlaştırılmış burada ısı kirlenme düşünülerek olabilecek minimum çıkış suyu sıcaklığı dikkate alınmıştır. Yoğuşan su günlük depolama tankına alınarak destilasyon işlemi bitirilmiştir.

Vakum altında üretilen su miktarını belirlemek ve kıyaslama yapabilmek için 100,30,20,10 ve 5 kPa değerleri alınarak hesaplanmış ve kıyaslama yapılmıştır.

Tüm bu hesaplamalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır: 100 kPa basınç altında hesaplanan yıllık toplam tatlı su üretimi 106 612 kg olup 1 m³ maliyeti 16.16 ₺ olarak hesaplanmıştır. 30 kPa basınç altında hesaplanan yıllık toplam tatlı su üretimi 112 067 kg olup 1 m³ maliyeti 20.00 ₺ olarak hesaplanmıştır. 20 kPa basınç altında hesaplanan yıllık toplam tatlı su üretimi 112 761 kg olup 1 m³ maliyeti 19.88 ₺ olarak hesaplanmıştır.

10 kPa basınç altında hesaplanan yıllık toplam tatlı su üretimi 113 890 kg olup 1 m³ maliyeti 19.68 ₺ olarak hesaplanmıştır.

5 kPa basınç altında hesaplanan yıllık toplam tatlı su üretimi 114 958 kg olup 1 m³ maliyeti 19.50 ₺ olarak hesaplanmıştır.

100 kPa da su miktarının az olmasına karşılık birim maliyetin düşük olma sebebi vakum pompası kısmının olmayışıdır. Çalışma sonucunda en yüksek su üretimi 5 kPa basınç altında gerçekleşmiş olup en uygun fiyat 100 kPa da karşımıza çıkmaktadır.

Her ne kadar 100 kPa da birim su maliyeti düşük çıkmış olsada büyük ölçekli tesisler düşünüldüğü zaman düşük basınçtan elde edilecek su miktarı göz önüne alındığında su ihtiyacını karşılamak açısından düşük basınç değerlerinde çalışmak daha avantajlı olacaktır.

İzmir ilinde belediyeden alınan şebeke suyu fiyatı İZSU internet sitesinde 6.92 ₺ dir. Görüldüğü üzere destilasyon ile su üretimi oldukça maliyetli bir yöntemdir. Ancak dünyada sürekli artan su sorunu ve teknolojinin de ilerlemesi ve bu sistemlerin yaygınlaşması ile bu maliyetin giderek daha çok düşecektir. Daha önce yapılan çalışmalar ile kıyasladığımız zaman şu andaki hesaplamalara göre birim m³ maliyetinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Yapılan literatür araştırmalarına kıyasla üretilen su miktarı ve maliyeti diğer bazı çalışmalarla yakın bazılarında daha ekonomik değerlerde çıkmıştır.

Ancak günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları teknolojisinin hızla ilerlemesi sistem kurulum maliyetlerini düşürecektir. İncelenen sistem çevreci ve tamamen kendi enerjisini kendi üreten bir sistem olduğu için uzun vadede temiz su ihtiyacı için kullanımının yaygınlaşacak ve buna bağlı olarak maliyeti düşecektir.

Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre aşağıda belirtilen önerilerin dikkate alınması daha sonraki çalışmalarda su üretimini arttıracaktır.

- Yoğuşturucu kısmında soğutma için kullanılan deniz suyu ısı kazanmış olduğunda buharlaştırma kısmında su kaynağı olarak kullanılarak bir miktar daha enerji tasarrufu yapılabilecek ve buharlaştırılacak su miktarı artacaktır.
- PV paneller vasıtası ile elde edilen enerjinin bir kısmı güneş pilleri ile depolanarak enerjiye daha fazla ihtiyaç duyulan zaman dilimlerinde kullanılabilir.

Kaynakça

- [1] J. N. Perlin, J. and Gordes, "An Historical and Prospective Review of Solar Water Purification, Bringing Water to the World, ASES, Riverton, Santa Barbara," 2005.
- [2] "Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü," *Kurs Notları*, pp. 26–27, 2004.
- [3] S. De Koning, J. and Thiesen, "Aqua Solaris- an Optimized Small Scale Desalination System with 40 Litres Output Per Square Meter Based Upon Solar-Thermal Distillation," *Desalination*, vol. 182, pp.

- 503–509, 2005.
- [4] C. Koroneos, A. Dompros, and G. Roumbas, "Renewable energy driven desalination systems modelling," *J. Clean. Prod.*, vol. 15, no. 5, pp. 449–464, 2007.
- [5] U. Kincay, O., Akbulut, "İstanbul Şartlarında Deniz Suyundan Temiz Su Eldesi," *Acad. Emerg. Med.*, vol. 18, pp. S257–S258, 2011.
- [6] A. Can, M., Etemoğlu A.B., Avcı, "Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Teknik ve Ekonomik Analizi," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.*, vol. 7, pp. 147–160, 2002.
- [7] İ. Yiğit, A. ve Atmaca, ., *Güneş Enerjisi, Alfa-Aktüel Yayınları, Bursa*. 2010.
- [8] H. Ünsal, "Güneş Enerjisi Destekli Su Damıtma Sistemi Performansının Araştırılması Yüksek Lisans Tezi," SELÇUK ÜNİVERSİTESİ, 2017.
- [9] F. Ç. Kılıç, "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu Ve Üretim Teknolojileri," *Mühendis ve Makina Derg.*, vol. 56, no. 671, pp. 28–40, 2015.
- [10] Wang Y., "Composite Fouling of Calcium Sulfate and Calcium Carbonate in a Dynamic Seawater Reverse Osmosis Unit, Master of Science, The University of New South Wales, Sydney, Australia," 2005.
- [11] M. D. Vishwanathappa, "Desalination of seawater using a high- efficiency jet ejector," no. May, pp. 1–146, 2005.
- [12] Dölgün ve Alpaslan, *Deniz Kıyısı Yerleşimlerde Su Temini İçin Tuzdan Arındırma (Desalinasyon) Tesislerinin Kullanılması. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IX. Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı*. 2012.
- [13] J. . Khawaji, A.D., Kutubkhanah, I.K., Wie, . "Advances in seawater desalination technologies," *Desalination*, vol. 221, pp. 47–69, 2008.
- [14] Y. Aydın, F., Ardalı, "Seawater Desalination Technologies," *J. Eng. Nat. Sci.*, no. 362, pp. 156–178, 2012.
- [15] K. Kaya and E. Koç, "Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu," *Mühendis ve Makina*, vol. 56, no. 668, pp. 36–47, 2015.
- [16] N. Bekar, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği," *Türkiye Siyaset Bilim. Derg.*, vol. 3, no. 1, pp. 37–54, 2020.
- [17] G. Xie, W. Chen, T. Yan, J. Tang, H. Liu, and S. Cao, "Three-effect tubular solar desalination system with vacuum operation under actual weather conditions," *Energy Convers. Manag.*, vol. 205, no. November 2019, p. 112371, 2020.
- [18] T. Ayhan and H. Al Madani, "Feasibility study of renewable energy powered seawater desalination technology using natural vacuum technique," *Renew. Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 506–514, Feb. 2010.
- [19] S. N. Kane, A. Mishra, and A. K. Dutta, "Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016)," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 755, no. 1, 2016.
- [20] M. J. Abbaspour, M. Faegh, and M. B. Shafii, "Experimental examination of a natural vacuum desalination system integrated with evacuated tube collectors," *Desalination*, vol. 467, pp. 79–85, Oct. 2019.

- [21] T. Yan, G. Xie, L. Sun, M. Du, and H. Liu, "Experimental investigation on a two-effect tubular solar still operating under vacuum conditions," *Desalination*, vol. 468, Oct. 2019.
- [22] I.J.Esfahani, J. Rashidi, P. Ifaei, and C. K. Yoo, "Efficient thermal desalination technologies with renewable energy systems: A state-of-the-art review," *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 33, no. 2, pp. 351–387, 2016.
- [23] "Radyasyon Mevsimler - Meteoroloji Genel Müdürlüğü." [Online]. Available: https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=izmir. [Accessed: 16-Jun-2021].
- [24] "JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission." [Online]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. [Accessed: 15-Jun-2021].