

Nemlendirme-Nem Almalı Bir Damıtma Sisteminde Güneş Enerjisi Kullanımının Değerlendirilmesi

Osman KARA¹, K. Neyfel ÇERÇİ¹, Ertaç HÜRDOĞAN*¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 13.06.2018

Kabul tarihi: 15.10.2018

Öz

Günümüzde hızla azalan temiz su kaynakları, yeryüzünde yaşayan canlıları ve çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Temiz su kaynaklarının azalmasında belli başlı sebepler bulunmaktadır. Bu sebeplerden bazıları, dünyanın farklı bölgelerinde oluşan küresel ısınmanın etkisi, dünyada artan nüfusla birlikte su kullanımındaki yanlışlıklar, tarım ve sanayi sektörlerindeki su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmamasıdır. Öncelikli olarak mevcut temiz su kaynaklarının verimli ve bilinçli bir şekilde kullanılması insanoğlu için en önemli hedef olmalıdır. Dünya üzerindeki su rezervlerinin çok büyük bir oranının tatlı olmayan sular (deniz suyu) oluşması, damıtma sistemlerinin önemini ortaya koymakta ve damıtma teknolojilerinin gelişimini her geçen gün artırmaktadır. Bu teknolojilerden en basit ve en yaygın kullanılanı nemlendirme-nem almalı damıtma (HDH) sistemleridir. Bu çalışmada, HDH teknolojisi çalışma prensibine dayalı güneş enerji destekli ve toprak kaynaklı ısı değiştiricili bir damıtma sistemi tasarlanmıştır. Sistemin ana elemanları; nemlendirme (su kulesi) ve nem alma (yoğuşturucu) ünitesi, güneş kolektörleri, ısı değiştiricileri, pompalar ve fanlardır. Ele alınan sistemin detaylı termodinamik analizlerini yapabilmek için bir model oluşturulmuş ve Fortran Programlama Dili kullanılarak sistemde bulunan tüm noktaların özellikleri analitik olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, güneş enerjisinin tasarlanan sistemin performansına etkisi araştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Damıtma, Nemlendirme, Nem alma, Güneş enerjisi, Model

Evaluation of Solar Energy Usage in a Humidification-Dehumidification Desalination System

Abstract

Nowadays, rapidly declining clean water resources are affecting the living creatures and the environment negatively. There are certain reasons for the reduction of clean water resources. Some of these reasons are the effects of global warming in different parts of the world, inaccuracies in the use of water together with the increasing population in the world, and the inefficient use of water resources in the agricultural and

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ertaç HÜRDOĞAN, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

industrial sectors. Firstly, effective and conscious use of existing clean water resources should be the most important goal for human beings. The fact that a very large proportion of the water reserves on the earth is composed of non-sweet water (sea water), reveals the importance of desalination systems and increases the development of desalination system. The simplest and most widely used system is the humidification-dehumidification desalination (HDH) system. In this study, a HDH desalination system assisted with solar energy and ground source heat exchanger was designed. Main component of the system are humidification (water tower) and dehumidification (condenser) unit, solar collectors, heat exchangers, pumps and fan. A model was developed to perform detailed thermodynamic analysis of the system and the properties of all points in the system were analytically calculated by using Fortran Programming Language. In this study, the effect of solar energy on the performance of the designed system was investigated and the results were evaluated.

Keywords: Desalination, Humidification, Dehumidification, Solar energy, Model

1. GİRİŞ

Su yaşam için en temel gereksinimdir. Aynı zamanda su, toplum için refahı da temsil etmektedir. Dünya üzerinde ki suyunun yaklaşık %97,5'i tuzlu su iken, sadece %2,5'i insanlar tarafından kullanılabilir temiz sulardır. Bu oranlara bakıldığında tuzlu suyun temiz suya dönüştürülmesinde kullanılan damıtma sistemlerinin büyük öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde, farklı birçok damıtma teknolojileri bulunmakta ve uygulanmaktadır. Deniz suyundan temiz su üretiminin gerçekleştirildiği iki temel yöntem membran ve destilasyon yöntemidir. Membran damıtma metotları arasında; ters osmoz (Reverse osmosis-RO), membran destilasyonu (Membrane Distillation-MD) ve elektrodializ (Electrodialysis-ED) yer almaktadır. Çok Kademeli Şok Damıtma (Multi-Stage Flash-MSF) ve Çok İşlemlili Damıtma (Multi-Effect Distillation-MED), güneş enerjili deniz suyu damıtma teknolojilerinde kullanılan iki geleneksel damıtma yöntemidir. Bu yöntemlerde enerji girdisi olarak, elektrik veya termal enerjiye gereksinim vardır. Son yıllarda, fosil yakıtlara kıyasla çevre dostu nitelikleri nedeniyle yenilenebilir enerjinin (özellikle güneş enerjisi) damıtma sistemlerinde kullanımına büyük önem verilmiştir [1].

Termal enerji destekli damıtma işlemi termal enerji girdisi gerektirirken, ters osmoz ve elektroliz yöntemleri mekanik ya da elektrik enerjisi

gerektirmektedir. Ters osmoz ve elektroliz yöntemleri yüksek miktarda enerji gerektiren işlemler olduğundan ekonomik olarak kullanılması için büyük ölçekli sistemlerin kurulması gerekmektedir. Merkezi su şebekesinin ulaşamadığı yerlerde veya merkezi su şebekesi için yatırım yapmanın mümkün olmadığı yerler için oldukça caziptir. Küçük ölçekli sistemler üzerine yapılan çalışmalarda, nemlendirme-nem alma (HDH) prensibine dayanan damıtma işlemi ön plana çıkmaktadır. HDH tekniği, düşük sıcaklıklı enerji (jeotermal, güneş, atık enerji) kullanabilme, basitlik, düşük kurulum ve işletme maliyeti, küçük ölçekler için yüksek verime sahip olma gibi özellikleri nedeniyle son yıllarda pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Ayrıca, atmosfer basıncında çalışmaları nedeni ile basit sirkülasyon pompaları ve fanları dışında mekanik enerjiye ihtiyaç duymazlar. Bu tür sistemlerin tasarımları, üretimleri ve işletimleri ileri teknoloji gerektirmediklerinden diğer sistemlere göre çok daha kolaydır [2]. HDH tekniği, doğanın yağış döngüsünü taklit eden termal bir damıtma teknolojisidir. Temel bileşenleri nemlendirici, nem alma cihazı ve ısıtıcıdır. Bu teknolojinin kullanıldığı sistemlerde, öncelikle nemlendiricide hava, tuzlu su ile doğrudan temas yoluyla nemlendirilmekte daha sonra nemden arındırmada, sıcak nemli hava, soğuk su (genelde tuzlu su) ile dolaylı olarak temas ettirilerek temiz su üretimi sağlanmaktadır [3]. HDH çevrimleri, hava veya suyun ısıtıp ısıtılmadığına ve hava veya su

devresinin açık veya kapalı devre olup olmadığına göre sınıflandırılmaktadır.

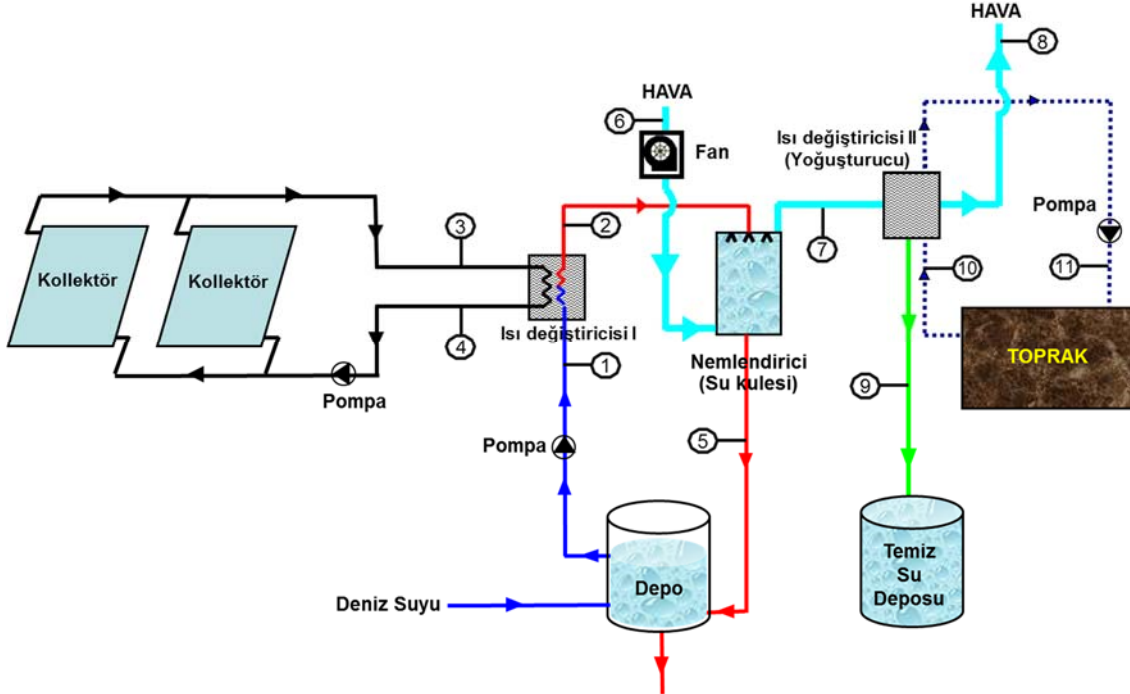
HDH tekniğinin kullanıldığı damıtma sistemleri ile ilgili birçok çalışma, sistem performansını iyileştirmeye, sistem bileşenlerini optimize etmeye ve performansını iyileştirmeye yönelik olmuştur. Giwa ve arkadaşları [4], HDH damıtma teknolojisindeki, sistem tasarımları ve verimliliği açısından son gelişmeleri incelemiş ve özellikle HDH damıtma teknolojisinin güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile olumlu entegrasyonu da kanıtlanmıştır. Niroomand ve arkadaşları [5], nem alma ünitesinde kullanılan geleneksel dolaylı kondenserler yerine yeni bir nem alma sistemi kullanılmışlardır. Hava debisi, girişteki soğuk ve çıkıştaki sıcak suyun koşulları, damlacıkların hız ve çapları gibi çeşitli parametrelerin sistem performansı üzerinde tatlı su üretimini, verimliliğini ve etkisini incelemiştir. Sonuçlar da, sıcak suyun debisinin ve sıcaklığının artırılmasının yanı sıra soğuk suyun debisinin ve sıcaklığının azaltılmasının, tatlı su üretimini ve sistemin genel verimini artırdığını göstermiştir. Yıldırım ve Solmuş [6] güneş enerji destekli bir HDH sistemini Antalya ilindeki iklim koşulları için ele almışlardır. Sistem performansı, bu iklim koşulunda çeşitli işletme ve tasarım parametrelerini kullanarak teorik olarak incelenmiştir. Su ısıtmanın temiz su üretimi üzerinde büyük bir öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir. HDH sistemlerin performans değerini artırmak için, damıtma sistemine güneş enerjisi destekli ısı pompası da eklenebileceği vurgulanmıştır. Xu ve arkadaşları [7], deniz suyundan temiz suyun damıtılması için yeni bir güneş enerjili ısı pompası ünitesi önermişler ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, ele almış oldukları ısı pompa destekli HDH sistemi ile literatürde bulunan diğer ısı pompası destekli HDH damıtma sistemleri arasında, en yüksek damıtılmış su miktarını elde ettiği görülmüştür. Gang ve arkadaşları [8], ısı geri kazanımın yapıldığı 3 kademeli çok etkili güneş enerjisi destekli bir HDH damıtma sisteminin tasarlayıp çalışma prensibini incelemiştir. Yazarlar, HDH sistem performansının tek çevrimli

döngüden, çok kademeli döngüye geçtikçe arttığını ifade etmişlerdir. Chang ve arkadaşları [9], iki aşamalı çok etkili bir HDH sistemi üzerinde farklı parametreler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Soufaria ve arkadaşları [10], HDH sistemini matematiksel bir programlama yöntemi kullanılarak optimize etmiştir. Bu yöntemin avantajı, çeşitli parametrelerin süreç performansı üzerindeki eş zamanlı etkisinin değerlendirilmesidir. Narayan ve arkadaşları [11], güneş enerji destekli bir HDH sisteminin ana bileşenlerini ve farklı sistem konfigürasyonlarını tek tek ele alarak incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda, tüm HDH sistemleri arasında en etkili sistemin kapalı-hava açık-su döngülü su ısıtmalı sistem olduğunu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, HDH tekniğinin kullanıldığı güneş enerji destekli ve toprak kaynaklı ısı değiştiricili bir damıtma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin farklı parametrelere bağlı olarak performansını değerlendirebilmek amacıyla bir modeli oluşturulmuş ve FORTRAN programlama dili kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

2. SİSTEMİN TANITILMASI

Şekil 1'de ele alınan HDH'li damıtma sisteminin genel görünüşü verilmiştir. Sistem güneş kolektörleri, ısı değiştiricileri, nemlendirici (su kulesi), nem alıcı (yoğusturucu), pompalar, fan, deniz suyu ve temiz suyun depolandığı tanklardan oluşmaktadır. 1 noktasından pompayla alınan deniz suyu öncelikle ısı değiştiricisi I'de güneş kolektörlerinden gelen sıcak su (3 noktası) ile ısıtılmakta ve nemlendiriciye (su kulesi) gönderilmektedir (2 noktası). Sıcaklığı yükselmiş deniz suyu daha sonra su kulesinde dış ortamdan fan yardımıyla alınan hava (6 noktası) içerisine püskürtülerek havanın deniz suyu ile nemlenmesi sağlanmaktadır. Nemli hava (7 noktası) son olarak ısı değiştiricisi II'ye (yoğusturucu) gönderilmektedir. Burada hava içerisindeki nem, toprak içerisinden geçirilerek (10-11 noktaları) soğutulan su kullanılarak yoğusturulmakta (7-8 noktaları) ve temiz su depolanmaktadır (9 noktası).



Şekil 1. Sistemin genel görünümü

3. ANALİZLER

Tasarlanan damıtma sisteminin detaylı analizlerini yapabilmek için bir model oluşturulmuş ve FORTRAN programla dili kullanılarak sistemde bulunan tüm noktaların özelliklerinin analitik olarak hesaplanabildiği bir program yazılmıştır. Sistemde dolaşan akışkanların (nemli hava, deniz suyu ve temiz su) termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında [12-14] nolu referanslardan faydalanılmıştır.

Modelleme çalışmaları kapsamında, sistem üç çevrime ayrılmıştır. Birinci çevrimde (I); deniz suyunun ısıtılması işlemi (1, 2, 3 ve 4 noktaları), ikinci çevrimde (II); nemlendirme işlemi (2, 5, 6 ve 7 noktaları) ve üçüncü çevrimde (III) ise temiz su elde etme (yoğuşma, nem alma) işlemi (7, 8, 9, 10 ve 11 noktaları) gerçekleşmektedir.

Birinci çevrimde (I); deniz suyunun ısıtıldığı ısı değiştiricisi I ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Isı değiştiricisi I'de kolektörden gelen su sıcaklığı (T_3 , °C); kolektör

verimine (η_k), kolektör yüzey alanına (A , m²), güneşten gelen ışıma miktarına (\dot{q} , kW) ve kolektör dönüş suyu sıcaklığına (T_4 , °C) bağlıdır. Kolektör dönüş suyu sıcaklığı ise, ısı

değiştiricisine giren su (kolektörden çıkan su) sıcaklığına, ısı değiştiricisine giren deniz suyu sıcaklığına (T_1 , °C) ve kullanılan ısı değiştiricisinin etkinliğine (ϵ) bağlıdır. Sistemde güneş kolektörü olarak EZİNÇ marka seçici yüzeyli güneş kolektörlerinin kullanıldığı düşünülmüş ve verim ifadesi aşağıdaki Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\eta_k = -11,235 \cdot \left(\frac{T_m - T_a}{\dot{q}}\right)^2 - 3,4165 \cdot \left(\frac{T_m - T_a}{\dot{q}}\right) + 0,728 \quad (1)$$

Eşitlikte, T_m , kolektöre giren ve çıkan suyun ortalama sıcaklığını (°C), T_a , dış hava kuru termometre sıcaklığını (°C) ifade etmektedir. Hesaplamalarda, kolektörden transfer edilen ısı miktarı (\dot{Q}_{kol} , kW) Eşitlik 2 kullanılarak belirlenmiştir

$$\dot{Q}_{kol} = \eta_k \cdot A \cdot \dot{q} \quad (2)$$

Sistemde kullanılan ısı değiştiricisinin etkinliği (ε) için aşağıda verilen eşitlikler kullanılmıştır [15].

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} \cdot (T_{hi} - T_{ci}) \quad (4)$$

$$C_h = \dot{m}_h \cdot c_{p,h} \quad (5)$$

$$C_c = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \quad (6)$$

Bu eşitliklerde (Eşit. 3-6), \dot{Q} ; sistemden transfer edilen gerçek ısıyı (kW), \dot{Q}_{\max} ; transfer edilebilecek en yüksek ısıyı (kW), T_{hi} ve T_{ci} ; sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanların giriş sıcaklıklarını ($^{\circ}\text{C}$), C_{\min} ; sıcak ve soğuk akışkanların ısı kapasitelerinden küçük olanını (kW/ $^{\circ}\text{C}$), ve \dot{m}_h , \dot{m}_c ; sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanların kütle debilerini (kg/s), $c_{p,h}$ ve $c_{p,c}$ ise sıcak ve soğuk akışkanların özgül ısılarını (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir.

İkinci çevriminde (II); dış havanın deniz suyu ile nemlendirildiği su kulesi ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Kule etkinliği (ε_h) ε -NTU yöntemine göre, zıt akışlı bir ısı değiştiricisi gibi düşünülerek Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmaktadır [15].

$$\varepsilon_h = \frac{1 - \exp[-NTU \cdot (1-R)]}{1 - R \cdot \exp[-NTU \cdot (1-R)]} \quad (7)$$

Burada R ifadesi, ısı kapasite oranı olup Eşitlik 8 ile belirlenmektedir.

$$R = \frac{\dot{m}_a \cdot C_{sa}}{\dot{m}_{sw} \cdot C_{sw}} \quad (8)$$

Burada \dot{m}_a ve \dot{m}_{sw} sırasıyla; kuleye giren havanın ve deniz suyunun kütleli debisi (kg/s) c_{sw} ; su kulesine gelen deniz suyunun özgül ısı ($\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$) olup, c_{sa} ise su kulesindeki doymuş havanın özgül ısı ($\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$) göstermektedir. Doymuş havanın özgül ısı ise Eşitlik 9 kullanılarak belirlenmektedir.

$$c_{sa} = \frac{h_{sai} - h_{sae}}{T_{we} - T_{wi}} \quad (9)$$

Eşitlik 9'da h_{sai} su kulesine giren deniz suyu sıcaklığındaki havanın doyma entalpisi (kJ/kg), h_{sae} , su kulesinden çıkan deniz suyu sıcaklığındaki doyma entalpisini (kJ/kg) ifade etmektedir. T_{wi} ve T_{we} , ise sırasıyla su kulesine giren ve çıkan deniz suyunun sıcaklıklarıdır. Doymuş havanın özgül ısı, havanın sıcaklığına bağlıdır. Bu yüzden, kulenin çalışma şartları bilinerek değerlendirilmelidir. Transfer birim sayısı (NTU) genellikle üretici firmanın katalog değerlerinden hesaplanmaktadır. Braun, Klein ve Mitchell [16-17] transfer birim sayısını hesaplanması için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$NTU = a \cdot \left(\frac{\dot{m}_{sw}}{\dot{m}_a} \right)^m \quad (10)$$

Burada a ve m katsayıları su kule üretici firmaların kataloglarında belirtilen çalışma eğrilerinden bulunmaktadır. a değeri, 1,0 ile 3,0 arasında değişkenlik gösterirken, m değeri ise 0,2 ile 0,6 aralığındadır. Bu çalışmada a ve m değerleri sırasıyla 2 ve 0,5 olarak alınmıştır. Su kulesi çıkışındaki havanın entalpisi Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$h_{ae} = h_{ai} + \varepsilon_h \cdot (h_{sai} - h_{ai}) \quad (11)$$

Eşitlik 11'de h_{ai} , h_{ae} sırasıyla su kulesinden giren ve çıkan havanın entalpi değerini gösterirken h_{sai} ise su kulesindeki havanın doyma entalpisini ifade etmektedir. Soğutma kulesinden çıkan suyun sıcaklığı kuledeki su kaybı ihmal edilerek aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir.

$$T_{we} = T_{wi} - \frac{\dot{m}_a \cdot (h_{ae} - h_{ai})}{\dot{m}_{sw} \cdot c_{sw}} \quad (12)$$

Üçüncü çevriminde (III); deniz suyu ile nemlendirilen hava içerisindeki nemin yoğunlaştırılarak temiz su elde edildiği ısı değiştiricisi II (yoğuşturucu) ve toprak etkisi ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Nem alıcı olarak kullanılan ısı değiştiricisi II için enerji dengesi aşağıdaki Eşitlik 13'te verilmiştir.

$$\dot{m}_a (h_{aci} - h_{ace}) = \dot{m}_{pd} \cdot h_{fg} + \dot{m}_w (h_{wce} - h_{wci}) \quad (13)$$

$$\dot{m}_{pd} = \dot{m}_a \cdot (W_{ci} - W_{ce}) \quad (14)$$

Burada \dot{m}_{pd} ; damıtılan (elde edilen) temiz su miktarını (kg/s), \dot{m}_w ; toprak ısı değiştiricisinde dolaşan su miktarını (kg/s), h_{aci} ve h_{ace} ; sırasıyla yoğuşturucu girişi ve çıkışındaki havanın entalpisi (kJ/kg), h_{fg} ; sistemden elde edilen temiz suyun buharlaşma gizli ısısını (kJ/kg), h_{wce} ve h_{wci} ; sırasıyla yoğuşturucu girişi ve çıkışındaki suyun entalpisi (kJ/kg), W_{ci} ve W_{ce} ; sırasıyla yoğuşturucu giriş ve çıkışındaki havanın mutlak nemini (kg su buharı/kg kuru hava) ifade etmektedir.

Isıl enerjiyle çalışan damıtma sistemlerinin en önemli performans kriterlerinden biri performans oranı veya literatürde kullanılan şekliyle GOR (Gained Output Ratio) değeridir. GOR Eşitlik 15'te, elde edilen temiz suyu buharlaştırmak için gerekli gizli ısı miktarının, sisteme giren toplam ısı miktarına (\dot{Q}) oranı olarak verilmiştir [3]:

$$GOR = \frac{\dot{m}_{pd} h_{fg}}{\dot{Q}} \quad (15)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada tasarlanan damıtma sisteminin performansı, farklı parametreler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çizelge 1'de hesaplamalarda kullanılan bazı değerler verilmiştir. Ele alınan sistemin performansı öncelikle Osmaniye yaz iklim koşullarına göre belirlenmiştir. Osmaniye için yapılan hesaplamalarda kolektör yüzey alanı 30 m², sisteme giren (6 noktası) hava koşulları 38 °C kuru ve 26 °C yaş termometre sıcaklık değerinde ve güneş ışınım değeri ise 600 W/m² olarak alınmıştır. Çizelge 2'de oluşturulan model kullanılarak sistemde yer alan her bir nokta için hesaplanan değerler verilmiştir. Çizelge 1'den görüldüğü gibi 20 °C (1 noktası) alınan deniz suyu öncelikle ısı değiştiricisi I'de güneş kolektörlerinden gelen 55,70 °C'de sıcak su (3 noktası) ile ısıtılmakta ve 48,56 °C'de nemlendiriciye (su kulesi) gönderilmektedir (2 noktası). Sıcaklığı yükselmiş deniz suyu daha sonra su kulesinde dış ortamdan fan yardımıyla alınan 38 °C ve 16,29 g/kg mutlak nemde hava

(6 noktası) içerisine püskürtülerek havanın deniz suyu ile nemlenmesi sağlanmaktadır. 43,08 °C sıcaklık ve 45,34 g/kg mutlak nemli hava (7 noktası) son olarak ısı değiştiricisi II'ye (yoğuşturucu) gönderilmektedir. Burada hava içerisindeki nem, toprak içerisinden geçirilerek (10-11) soğutulan su kullanılarak 24,17 °C ve 19,67 g/kg mutlak nem değerine düşürülerek yoğuşturulmakta (7-8) ve 33,61 °C'de temiz su olarak (9 noktası) depoda toplanmaktadır. Şekil 2'de Osmaniye için elde edilen sonuçlar psikrometrik diyagram üzerinde verilmiştir. Sistem performans göstergesi GOR değeri, bu çalışma şartları için 0,55 ve elde edilen temiz su miktarı 9,36 kg/saat olarak hesaplanmıştır.

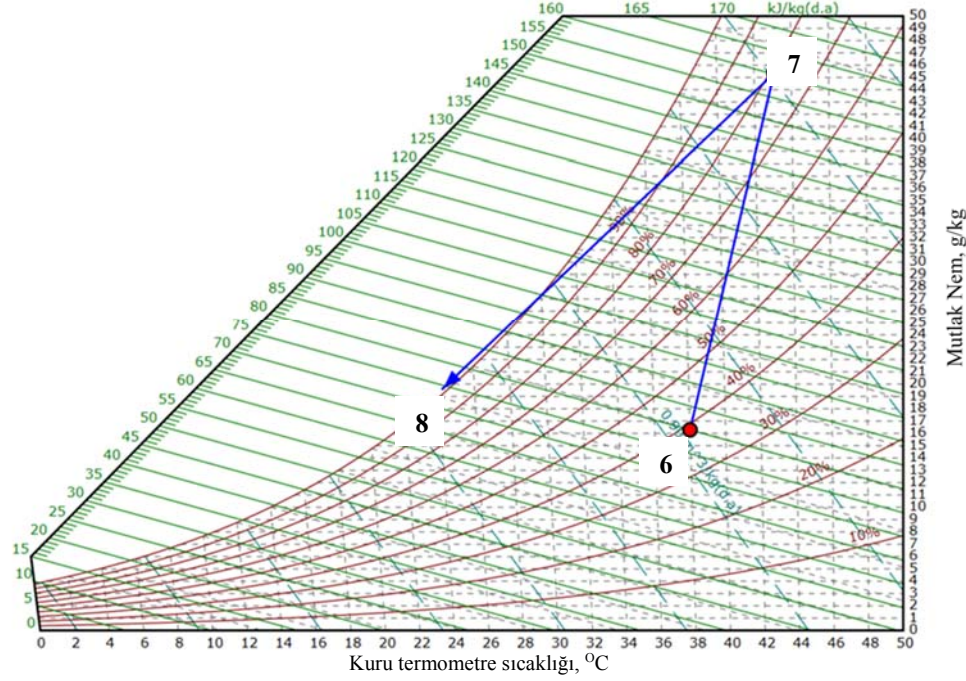
Çizelge 1. Hesaplamalarda kullanılan bazı değerler

Parametre	Değer
Deniz suyu tuzluluk oranı (gr/kg)	35
Toprak ve deniz suyu sıcaklığı (°C)	20
Isı değiştiricisi I-II etkinliği (%)	85
Güneş kolektörü su giriş-çıkış sıcaklık farkı (°C)	5
Toprak ısı değiştiricisi su giriş-çıkış sıcaklık farkı (°C)	3
Sistemde dolaşan deniz suyu ve hava debisi (\dot{m}_{sw} , \dot{m}_a) (kg/s)	0,1

Çizelge 2. Osmaniye için elde edilen sonuçlar

Özellik	Sistemde Bulunan Noktalar					
	1	2	3	4	5	6
T (°C)	20,00	48,56	55,70	50,70	28,50	38,00
W(g/kg)	-	-	-	-	-	16,29
	7	8	9	10	11	
T (°C)	43,08	24,17	33,60	20,50	23,50	
W(g/kg)	45,34	19,67	-	-	-	

Bu makale kapsamında yapılan bir diğer çalışma ise güneş enerjisinin sistem performansına etkisi incelemektir. Hesaplamalar öncelikle güneş ışınım değerinin sabit ve 600 W/m² olduğu durumda beş farklı kolektör alanı (10, 20, 30, 40 ve 50 m²) için yapılmıştır.



Şekil 2. Osmaniye için elde edilen sonuçların psikrometrik diyagram üzerindeki gösterimi

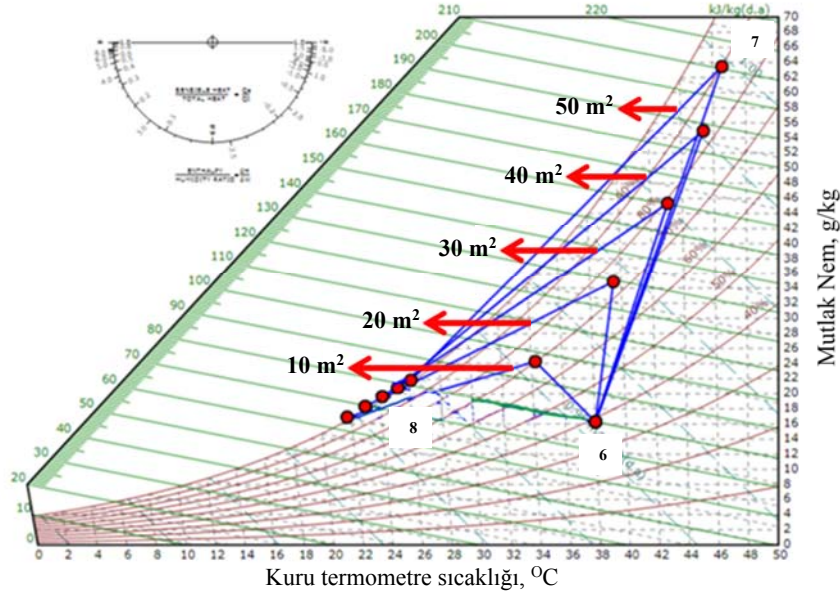
Çizelge 3. Farklı kolektör alanı için sistemdeki noktaların özellikleri

No	Akışkan	KOLEKTÖR YÜZEY ALANI (m ²)									
		10		20		30		40		50	
		Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)
1	D. Suyu	20,00	-	20,00	-	20,00	-	20,00	-	20,00	-
2	D. Suyu	31,43	-	40,86	-	48,56	-	54,83	-	60,00	-
3	D. Suyu	34,29	-	46,08	-	55,7	-	63,54	-	70,00	-
4	D. Suyu	29,29	-	41,08	-	50,7	-	58,54	-	65,00	-
5	D. Suyu	27,28	-	28,51	-	28,51	-	27,95	-	27,27	-
6	Hava	38,00	16,29	38,00	16,29	38,00	16,29	38,00	16,29	38,00	16,29
7	Hava	34,27	24,27	39,51	34,87	43,08	45,34	45,38	54,95	46,57	63,47
8	Hava	21,74	16,91	22,99	18,33	24,17	19,67	25,22	20,85	26,11	21,86
9	Su	27,99	-	31,24	-	33,61	-	35,28	-	36,32	-
10	Su	20,53	-	20,53	-	20,53	-	20,53	-	20,53	-
11	Su	23,53	-	23,53	-	23,53	-	23,53	-	23,53	-

Çizelge 3'de sistemin her bir noktasının özellikleri, Çizelge 4'de ise sistem performansını gösteren GOR değeri ve sistemden elde edilen su miktarı verilmiştir. Şekil 3'de ise, kolektör yüzey alanlarının artırılmasına bağlı, nemlendirici girişinde (6 noktası), çıkışında (7 noktası) ve yoğunlaştırıcı çıkışındaki (8 noktası) hava değişiminin psikrometrik diyagram üzerindeki gösterimi verilmiştir.

Çizelge 4. Farklı kolektör alanı için elde edilen su miktarı ve GOR değeri

	Kolektör Yüzey Alanı (m ²)				
	10	20	30	40	50
m _{pd} (kg/saat)	2,52	6,12	9,36	12,24	15,12
GOR	0,40	0,48	0,54	0,60	0,63



Şekil 3. Kolektör yüzey alanındaki değişimi bağlı kule ve yoğuşturucuda havanın psikometri özelliklerinin değişimi

Çizelge 3 ve 4 ve Şekil 3’de görüldüğü gibi kolektör yüzey alanının artmasıyla kulede havaya verilen nem miktarı artmakta ve buna bağlı olarak sistemde elde edilen temiz su miktarında artış gözlemlenmektedir.

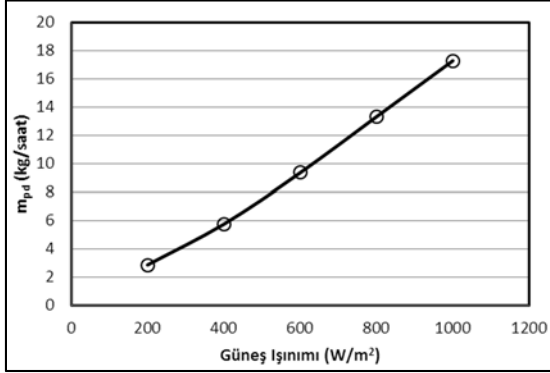
Güneş enerjisiyle ilgili hesaplamalar, 30 m² kolektör yüzey alanında farklı ışınım değerleri

(200-400-600-800-1000 W/m²) için de yapılmıştır. Çizelge 5’de sistemin her bir noktanın özellikleri verilmiştir. Işınım miktarının artmasıyla su kulesine giren deniz suyunun sıcaklığı artmakta bu da dışardan alınan taze hava ısınmasını ve tutabileceği su buharı miktarını artırmaktadır.

Çizelge 5. Farklı ışınım değerleri için sistem noktalarının özellikleri

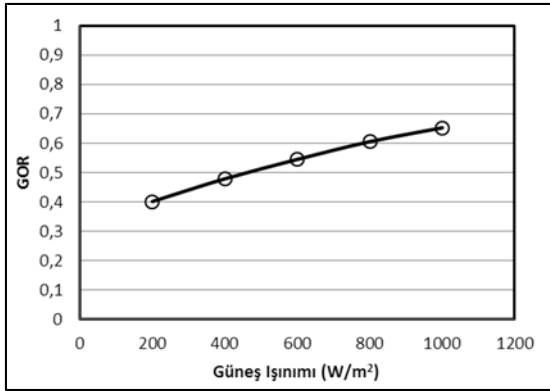
No	Akışkan	IŞINIM (W/m ²)									
		200		400		600		800		1000	
		Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)	Sıcaklık (°C)	Nem (g/kg)
1	D. Suyu	20,00	-	20,00	-	20,00	-	20,00	-	20,00	-
2	D. Suyu	32,16	-	40,48	-	48,56	-	56,57	-	64,56	-
3	D. Suyu	35,20	-	45,60	-	55,70	-	65,71	-	75,70	-
4	D. Suyu	30,20	-	40,60	-	50,70	-	60,71	-	70,70	-
5	D. Suyu	27,43	-	28,49	-	28,51	-	27,74	-	26,67	-
6	Hava	38,00	16,29	38,00	16,29	38,00	16,29	38,00	16,29	38,00	16,29
7	Hava	34,64	25,02	39,29	34,41	43,08	45,34	45,78	57,80	47,81	70,93
8	Hava	21,83	17,01	22,94	18,27	24,17	19,67	25,52	21,19	26,90	22,76
9	Su	28,23	-	31,10	-	33,61	-	35,62	-	37,33	-
10	Su	20,53	-	20,53	-	20,53	-	20,53	-	20,53	-
11	Su	23,53	-	23,53	-	23,53	-	23,53	-	23,53	-

Şekil 4’de sistemden elde edilen su miktarının aynı kolektör alanında güneş ışınım değerinin artışına bağlı değişimi gösterilmektedir. Sistemde ışınım miktarı arttıkça, elde edilen su miktarı artmaktadır.



Şekil 4. Sistemden elde edilen su miktarının güneş ışınımıyla değişimi

Şekil 5’de güneş ışınım değerinin artmasına bağlı olarak GOR değerinin değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ışınım miktarı arttıkça, GOR değeri artmaktadır.



Şekil 5. Sistemin GOR değerinin güneş ışınımıyla değişimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada nemlendirme-nem almalı bir damıtma sistemi ele alınmıştır. Sistem, öncelikle Osmaniye ili yaz dizayn iklim şartlarına göre değerlendirilmiş, daha sonra ise güneş enerjisinin sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmayla elde edilen sonuçlardan, sisteme giren

enerji miktarının (güneş enerjisi) artmasıyla damıtılan temiz su miktarının ve GOR değerinin arttığı görülmüştür. Bu durum, bu tür sistemler için yenilenebilir enerji kaynakları veya atık ısı kullanımının önemini göstermiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Ali, M.T., Fath, H.E.S., Armstrong, P.R., 2011. A Comprehensive Techno-economical Review of Indirect Solar Desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 4187–4199.
2. Solmuş, İ., Yıldırım, C., 2013. Güneş Enerjisi Destekli Entegre Su Isıtma-Damıtma Sisteminin Teorik Analizi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1215-1228, İzmir.
3. Narayana, G.P., Sharqawya, M.H., Lienhard, V.J.H., Zubair, S.M., 2010. Thermodynamic Analysis of Humidification Dehumidification Desalination Cycles. *Desalination and Water Treatment*, 16, 339–353.
4. Giwa, A., Akther, N., Al Housani, A., Haris, S., Hasan, S.W., 2016. Recent Advances in Humidification Dehumidification (HDH) Desalination Processes: Improved Designs and Productivity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57, 929–944.
5. Niroomand, N., Zamen, M., Amidpour, M., 2014. Theoretical Investigation of using a Direct Contact Dehumidifier in Humidification–dehumidification Desalination Unit Based on an Open Air Cycle. *Desalination and Water Treatment*, 54(2), 305-315.
6. Yıldırım, C., Solmus İ., 2014. A Parametric Study on a Humidification–dehumidification (HDH) Desalination Unit Powered by Solar Air and Water Heaters. *Energy Conversion and Management*, 86, 568–575.
7. Xu, H., Zhao, Y., Jia, T., Dai, Y.J., 2018. Experimental Investigation on a Solar Assisted Heat Pump Desalination System with Humidification-dehumidification. *Desalination*, 437, 89-99.
8. Gang, W., Hong-Fei, Z., Fei, W., Ze-Hui, C., 2017. Parametric Study of a Tandem Desalination System Based on Humidification-Dehumidification Process with 3-stage Heat Recovery. *Applied Thermal Engineering*, 112, 190-200.

9. Chang, Z.H., Zheng, H.F., Yang, Y.J., 2014. Experimental Investigation of a Novel Multi-effect Solar Desalination System Based on Humidification Dehumidification Process. *Renewable Energy*, 69, 253–259.
10. Soufaria, S.M., Zamena, M., Amidpourb, M., 2009. Performance Optimization of the Humidification–dehumidification Desalination Process using Mathematical Programming. *Desalination*, 237, 305–317.
11. Narayan, G.P., Sharqawy, M.H., Summers E.K., Lienhard J.H., Zubair S.M., Antar M.A., 2010. The Potential of Solar-driven Humidification–dehumidification Desalination for Small-scale Decentralized Water Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1187–1201.
12. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001. *ASHRAE Handbook: Fundamentals*, Chapter 6: Psychrometrics, 6.1-6.17.
13. Nayar, K.G., Sharqawy, M.H., Banchik, L.D., Lienhard, V.J.H., 2016. Thermophysical Properties of Seawater: A Review and New Correlations that Include Pressure Dependence. *Desalination*, 390, 1-24.
14. Yılmaz, T., Ünal, Ş., 1994. Su ve Su Buharının Termodinamik Özellikleri için Genel Eşitlikler, *J. of Engineering and Environmental Sciences*, 18, 113-117.
15. Kreider, J.F., Rabl, A., 1994. *Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency*. McGraw-Hill, Chapter 10, Cooling Equipment, 486-487.
16. Braun, J.E., Klein, S.A., Mitchell, J.W., 1989a. Effectiveness Models for Cooling Towers and Cooling Coils. *ASHRAE Trans*, 95(2), 164-174.
17. Braun, J.E., Mitchell, J.W., Klein, S.A., 1989b. Applications of Optimal Control to Chilled Water Systems Without Storage. *ASHRAE Trans*, 95(1), 663-675.