

## Deniz Suyu ve Hava Debi Oranının Toprak Isı Değiştiricili Bir Damıtma Sistemi Performansına Etkisinin İncelenmesi

Ertaç HÜRDOĞAN\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0003-1054-9964  
Abdulkadir GÜNEŞ<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-9005-5106  
Osman KARA<sup>1</sup> ORCID 0000-0003-1501-677X

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği  
Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 16.03.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atf şekli/ How to cite: HÜRDOĞAN, E., GÜNEŞ, A., KARA, O., (2022). Deniz Suyu ve Hava Debi Oranının Toprak Isı Değiştiricili Bir Damıtma Sistemi Performansına Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 429-438.

### Öz

Bu çalışmada, nemlendirme-nem alma (NNA) teknolojisi çalışma prensibine dayalı güneş enerji destekli ve toprak ısı değiştiricili bir damıtma sistemi ele alınarak sistemin Termodinamiğin II. Yasasına göre analizleri (Ekserji analizi) yapılmıştır. Sistemde, deniz suyu önce güneş kolektörleri kullanılarak ısıtılmakta ve daha sonra nemlendiricide, dış ortamdan alınan havanın nemlendirilmesinde kullanılmaktadır. Nemi ve sıcaklığı yükselmiş olan hava, nem alıcıya gönderilerek, toprak ısı değiştiricisiyle soğutulan suyla yoğunlaştırularak damıtılmış (temiz) su elde edilmektedir. Çalışmada, sistemin farklı deniz suyu ve hava debi oranında (MR) çalışma durumu farklı konfigürasyonlar için değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, sistemde en fazla tersinmezliğin güneş kolektörlerinde meydana geldiği, sistemin ekserji veriminin farklı konfigürasyonlara göre %5 ile %22 arasında değiştiği ve MR'nin artması ile sistemin ekserji veriminin tüm konfigürasyonlar için azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Damıtma, Toprak ısı değiştiricisi, Güneş enerjisi, Ekserji

### Investigating the Effect of Sea Water and Air Flow Rate Ratio on the Performance of a Desalination System with Ground Heat Exchanger

#### Abstract

In this study, solar energy and ground heat exchanger assisted desalination (distillation) system working with the principle of humidification-dehumidification (HDH) was considered and analyzes were made according to the II. Law of Thermodynamics (Exergy analysis). In the system, sea water is first heated using solar collectors and then used in the humidifier to humidify the air taken from the outside. The air with increased humidity and temperature is send to the dehumidifier, and then moisture inside the air condense with water cooled by a ground heat exchanger to obtain distilled (clean) water. In the study, the performance of the system was evaluated for different configurations and operating at different seawater and air flow rate ratios (MR). It has been seen from the results that the most irreversibility in the system occurs in the solar collectors, the exergy efficiency of the system varies between 5% and 22% according

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

to different configurations and exergy efficiency of the system decreased for all configurations with increasing MR.

**Keywords:** Desalination, Ground heat exchanger, Solar energy, Exergy

## 1. GİRİŞ

Günümüzde su talebi karşılanabilecek değerlerin üzerine çıkmaktadır. Bunun temel sebepleri ise; şehirleşmenin bir sonucu olarak hızlı nüfus artışına bağlı olarak orantısız su kullanımı, evsel atıklar, büyük oranlarda su tüketen sanayileşme, bilinçsiz su tüketimi ve temiz suyun kirlenmesidir. Devletlerin artan su talepleri ve nihayetinde azalan temiz su kaynakları dünyanın çoğu yerinde su kıtlığını beraberinde getireceği düşünülmektedir [1]. Önümüzdeki yıllarda doğal su döngüsünün insanlığın ihtiyaçlarını karşılayamayacağı düşünülmektedir. Deniz suyunun temiz suya dönüştürüldüğü damıtma sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması, bu sorunun giderilebilmesi için önemli bir etki yaratabilecektir. Deniz suyu damıtma teknolojileri proses ve enerji kullanımları açısından sınıflandırılmaktadırlar. Proses açısından sınıflandırmada membran ve destilasyon yöntemleri, enerji kullanımına göre ise mekanik enerji (elektrik enerjisi) destekli ve termal enerji destekli teknolojiler bulunmaktadır. Bu damıtma sistemlerinden en çok kullanılanları ters osmoz (RO), elektrodializ (ED), membran damıtma, çok kademeli flaş (MSF), çok etkili damıtma (MED), nemlendirme-nem almadır (NNA/ HDH). NNA yöntemi daha çok küçük ölçekli damıtma gereken yerlerde ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem basitlik, düşük kurulum ve işletme maliyeti, düşük sıcaklıktaki enerjiden faydalanabilme ve küçük ölçeklerde yüksek verim gibi avantajları nedeniyle son yıllarda araştırmalara konu olmuş ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır [2-3].

Giwa ve arkadaşları [4], literatürdeki NNA sistemlerinde, yapılan tasarımları ve sistemlerin termodinamik verimliliğini incelemişlerdir. Yazarlar yaptıkları çalışmada, NNA teknolojisinin küçük ölçekli bireysel uygulamalarda çevreci olması açısından nispeten düşük maliyetli ve güvenilir bir damıtma sistemi olduğunu, ayrıca NNA tesislerinin kapasitelerinin büyütülmesinden

ziyade, enerji verimliliğinin daha yüksek seviyelere çıkartabilecek teknolojiler ile kullanılmasının daha avantajlı olacağı ifade etmişlerdir. He ve arkadaşları [5], nemli havayı ısıtmak için düşük sıcaklığa sahip atık ısı kullanan bir NNA sisteminin termodinamik ve termoekonomik analizini yapmışlardır. Analizlerde maksimum temiz su üretimi 289,32 kg/saat ve maksimum GOR değeri 3,06 olarak bulunmuştur. Çalışmada atık ısı ile ısıtma yapılan NNA sisteminin toplam ilk yatırım maliyeti 112550 \$ olarak hesaplanmıştır. El-Said ve arkadaşları [6], nemlendirme ve nem alma teknolojisinin kullanıldığı güneş enerjili bir damıtma sistemi tasarlamışlar ve farklı hava debilerinde sistemin performansını ve günlük su üretimini Mısır'ın Süveyş iklim koşullarında deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, maksimum su üretiminin günde 6,12 kg olduğunu ayrıca enerji ve ekserji verimlilikleri ile kazanç çıktı oranının sırasıyla %26,73 ve %1,57 ve 1,24 olduğunu belirlemişlerdir. Shalaby ve arkadaşları [7], aşırı tuzlu suyun tuzdan arıtılabilmesi için hibrit bir güneş enerjili nemlendirme-nem alma sistemine sahip bir damıtma sistemini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada yazarlar, sistemde güneş kolektörlerinde güneş reflektörünün kullanılmasının günlük elektrik enerjisi tüketiminde %16,5 oranında tasarruf sağlayabileceğini tespit edilmişlerdir. NNA damıtma sistemlerinde güneş enerjisi ile birlikte farklı teknolojilerin de kullanılabilirliği. Morad ve arkadaşları [8], güneş enerji destekli nemlendirme nem almalı bir damıtma sisteminin performansını, sistemde vakumlu pompa kullanılıp kullanılmama durumları için ele almışlardır. Yapılan çalışma sonunda, sistemin veriminin vakumlu pompanın kullanılması durumunda arttığı, ayrıca sistemde akış hızının artması ile üretilen su miktarının arttığı, üretilen suyun maliyetin ise azaldığı görülmüştür. Kargar ve arkadaşları [9], güneş enerji destekli nemlendirme nem almalı bir damıtma sisteminde tuzlu suyu ısıtmak için yüksek ısı transfer katsayısına sahip

PHP (pulsating heat pipe) kullanmışlardır. Çalışma sonunda güneş kolektörü ile birlikte PHP borunun kullanımının sistem verimini arttırdığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında güneş enerjisi destekli nemlendirme-nem almalı bir damıtma sistemi ele alınarak bu tür sistemler için önemli bir parametre olan deniz suyu-hava debi oranının (MR) sistem performansı üzerine etkisi incelenmiştir. Termodinamiğin II. yasasına göre yapılan analizler (Ekserji analizi) ile ayrıca sistemin farklı konfigürasyonlarda çalışma durumu da değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Sistem Tanımı

Çalışmada ele alınan damıtma sisteminin genel görünüşü Şekil 1’de verilmiştir. Sistem; deniz suyu depolama tankı, güneş kolektörü, ısı değiştiricileri, su kulesi (nemlendirici), yoğunlaştırıcı (nem alıcı) ve temiz su depolama tankından oluşmaktadır. 1 noktasında deniz suyu depolama tankından çıkan deniz suyu, ısı değiştiricisi I’de güneş kolektöründen gelen sıcak su (3 noktası) ile ısıtılmakta ve su kulesine (2 noktası) nemlendirme işlemi için gönderilmektedir. Isı değiştiricisi I’de sıcaklığı arttırılan deniz suyu su kulesinde fan vasıtasıyla dış ortamdan alınan havanın (6 noktası) içine püskürtülerek havanın nemlendirilmesi sağlanmaktadır. Su kulesinden çıkan deniz suyu (5 noktası) ardından ısı geri kazanımı ve deniz suyu tuzluluk oranının düzenlenmesinde kullanılmak amacıyla deniz suyu depolama tankına gönderilmektedir. Su kulesinden gönderilen deniz suyunun deniz suyu depolama tankındaki kullanımı otomatik kontrol sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Su kulesinden çıkan nemli hava (7 noktası) ısı değiştiricisi II’ye (nem alıcı) gönderilmektedir. Hava içerisindeki nem burada toprak ısı değiştiricisi kullanılarak (10→11) yoğunlaştırılmakta (7→8) ve elde edilen temiz su temiz su depolama tankında (9 noktası) depolanmaktadır. Nem alıcı çıkışında sistemde kullanılmış olan hava (8 noktası), özelliklerine

(nem ve sıcaklık) bağlı olarak sistemde tekrar kullanılabilir. Sistemde kullanılan hava ile sisteme girecek olan havanın karışım oranlarını ise otomatik kontrol sistemleri vasıtasıyla ayarlanmaktadır [1,10].

Çalışmada sistemin üç farklı konfigürasyonda (A, B, C) çalışma durumu değerlendirilmiştir. A konfigürasyonu; hava ve deniz suyunun kullanım sonunda atmosfere verildiği açık sistem, B konfigürasyonu; hava kapalı (sistemde tekrar değerlendiriliyor) deniz suyu açık sistem. C konfigürasyonu ise hava açık sistem, deniz suyu kapalı sistemdir.

### 2.2. Analizler

Ele alınan sistemin ekserji analizlerini gerçekleştirebilmek için bir model oluşturulmuş ve Engineering Equation Solver (EES) kullanılarak hesaplamaların yapılabilirdiği bir program yazılmıştır. Yapılan enerji analizleri sonucunda belirlenen, sistemdeki tüm noktalara ait özellikler, [10] numaralı kaynaktan alınmıştır. Damıtma sisteminin ekserji analizleri kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, öncelikle genel bağıntılar, daha sonra sistemin performansının değerlendirilmesine yönelik bağıntılar verilmiştir.

Sürekli-akışlı açık sistemler için, kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları şöyle sıralanabilir:

Birim zaman bazında kütle (kütleli debi) dengesi:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

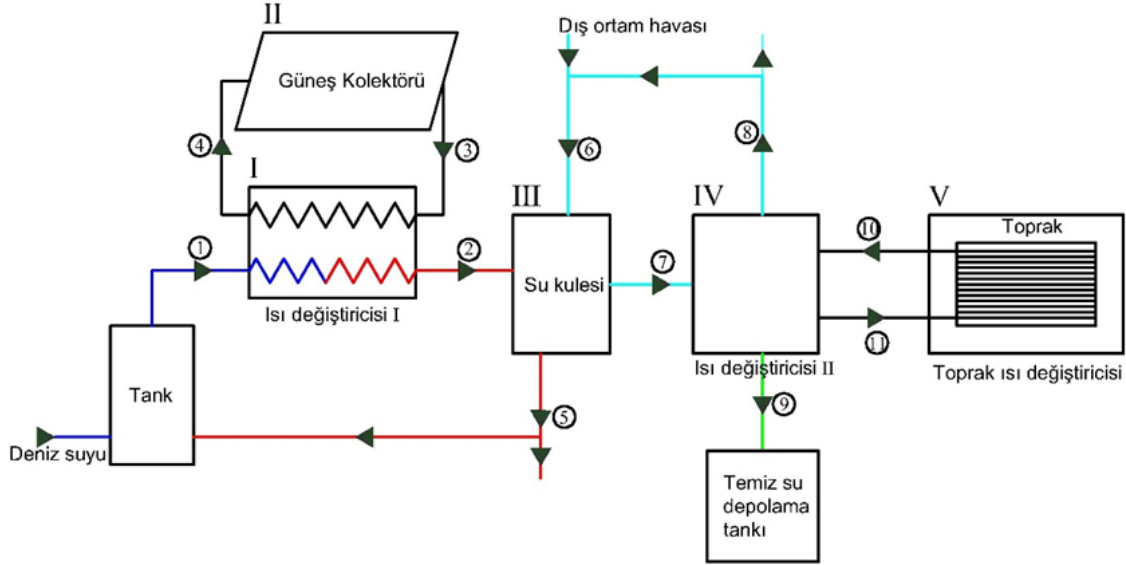
Eşitlik 1’de sürekli akışlı açık sistemlerde ve kontrol hacmi içerisindeki toplam kütleli zamanla değişmediğini kütleli korunumu ilkesi ile ifade edilmektedir. Eşitlikte ( $\dot{m}_g$ ); sisteme giren kütleli debiyi (kg/s), ( $\dot{m}_ç$ ); sistemden çıkan kütleli debiyi (kg/s) ifade etmektedir.

Birim zamanda enerji dengesi (enerji akımı dengesi):

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

(2) enerji miktarını (kW),  $\dot{E}_ç$  sistemden birim zamanda çıkan enerji miktarını (kW),  $dE_{sistem}/dt$  birim zamandaki enerji değişimini ifade etmektedir.

Eşitlik 2, birim zamanda sistemin enerji değişimini göstermektedir.  $\dot{E}_g$  sisteme birim zamanda giren



Şekil 1. Ele alınan damıtma sisteminin genel görünüşü [1]

Birim zamanda ekserji dengesi (ekserji akımı dengesi):

$$\dot{E}X_g - \dot{E}X_ç - \dot{E}X_{yıkım} = dEX_{sistem}/dt$$

Eşitlikte  $\dot{E}X$ ; ekserji akımını (kW),  $\dot{m}$ ; kütleli debiyi (kg/s),  $\psi$ ; akış ekserjisi veya özgül ekserjidir (kJ/kg).

veya

$$\dot{E}X_{ısı} - \dot{E}X_{ış} + \dot{E}X_{kütle, g} - \dot{E}X_{kütle, ç} = \dot{E}X_{yıkım}$$

Özgül ekserji su ve soğutucu akışkan için:

$$\psi_{su, sa} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

Eşitlik 3 ve 4, birim zamandaki ekserji dengesini ifade eden iki farklı eşitliktir. Eşitliklerde  $\dot{E}X_g$ ; sisteme birim zamanda giren ekserjiyi (kW),  $\dot{E}X_ç$  sistemden birim zamanda çıkan ekserjiyi (kW),  $\dot{E}X_{yıkım}$ ; sistemde birim zamanda yok olan ekserjiyi (kW),  $dEX_{sistem}/dt$ ; ise sistemin birim zaman içerisindeki ekserji değişimini (kW) ifade etmektedir.

olarak ifade edilmektedir. Özgül ekserji için verilen eşitlikte h; entalpiyi (kJ/kg), T; sıcaklığı (°C), s; entropiyi (kJ/kg K), alt indis "o" ise ölü hali ifade etmektedir.

Özgül ekserji hava için ise;

$$\psi_h = (C_{p,h} + \omega C_{p, sb}) T_0 \left[ \left( \frac{T}{T_0} \right) - 1 - \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \right] + (1 + 1,6078\omega) R_h T_0 \ln \left( \frac{P}{P_0} \right) + R_h T_0 \left\{ \frac{(1 + 1,6078\omega) \ln \left[ \frac{(1 + 1,6078\omega)}{(1 + 1,6078\omega)} \right]}{(1 + 1,6078\omega)} + 1,6078\omega \ln \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right\} \quad (7)$$

Ekserji akımını aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\dot{E}X = \dot{m} \psi \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eşitlikte  $C_{p,h}$  ve  $C_{p, sh}$ ; sırasıyla hava ve su buharının sabit basınçtaki

özgül ısısını (kJ/kg K),  $\omega$ ; özgül nem oranını (kg/kg<sub>hava</sub>),  $R_h$ ; gaz sabitini (kJ/kg K) ifade etmektedir.

Özgül nem oranı, hava içerisinde bulunan su buharının havanın kütle debisine oranı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\omega = \dot{m}_{sb} / \dot{m}_h \quad (8)$$

Eşitlikte  $\omega$  ;özgül nem oranını,  $\dot{m}_{sb}$ ; su buharının kütleli debisi (kg/s),  $\dot{m}_h$ ; havanın debisini (kg/s) ifade etmektedir.

Ekserji verimi ( $\epsilon_{II}$ ), kazancın (ürünün) ekserjisinin ( $\dot{E}X_{ürün}$ ), yakıtın ekserjisine ( $\dot{E}X_{yakıt}$ ) oranı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\epsilon_{II} = \frac{\dot{E}X_{ürün}}{\dot{E}X_{yakıt}} \quad (9)$$

Van Gool's ekserjetik iyileştirme potansiyel akımı (İP):

$$İP = (1 - \epsilon_{II})(\dot{E}X_g - \dot{E}X_c) \quad (10)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Rölatif tersinmezlik (RT) sistemdeki bir elemanın ekserji yıkımının sistemin toplam ekserji yıkımına oranı olarak aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$RT = \frac{\dot{E}X_{yıkım,i}}{\dot{E}X_{yıkım,toplam}} \quad (11)$$

Damıtma sistemlerinde performans değerlendirilmesi için ele alınan ve bu çalışmada da etkisi incelenen debiler oranı (MR), sistemdeki deniz suyu kütleli debisinin ( $\dot{m}_{sw}$ ), havanın kütleli debisine ( $\dot{m}_a$ ) oranını olarak aşağıda verilmiştir [1].

$$MR = \frac{\dot{m}_{sw}}{\dot{m}_a} \quad (12)$$

Kütle, enerji ve ekserji denge denklemleri Şekil 1'de görülen sistemin her ekipmanına uygulanmış ve aşağıda verilmiştir. Eşitliklerde alt

indis olarak verilen numaralar, Şekil 1'deki numaraları ifade etmektedir.

### Isı Değiştiricisi I (I)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 ; \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (13.a)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_3 = \dot{E}_2 + \dot{E}_4 \quad (13.b)$$

$$\dot{E}X_{yıkım,I} = \dot{E}X_1 + \dot{E}X_3 - \dot{E}X_2 - \dot{E}X_4 \quad (13.c)$$

$$\epsilon_{II,I} = \dot{E}X_2 - \dot{E}X_1 / \dot{E}X_3 - \dot{E}X_4 \quad (13.d)$$

$$İP_I = (1 - \epsilon_{II,I}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,I} \quad (13.e)$$

### Güneş Kolektörü (II)

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (14.a)$$

$$\dot{E}_3 = \dot{E}_4 + \dot{Q}_{scol} \quad (14.b)$$

$$\dot{E}X_{yıkım,II} = \dot{E}X_{scol} + \dot{E}X_3 - \dot{E}X_4 \quad (14.c)$$

$$\dot{E}X_{scol} = A.I. [1 + \frac{1}{3} (\frac{T_0}{T_{SR}})^4 - \frac{4}{3} (\frac{T_0}{T_{SR}})] \quad (14.d)$$

$$\epsilon_{II,II} = (\dot{E}X_3 - \dot{E}X_4) / \dot{E}X_{scol} \quad (14.e)$$

$$İP_{II} = (1 - \epsilon_{II,II}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,II} \quad (14.f)$$

Eşitlik 14.d'de A; kolektör alanını (m<sup>2</sup>), I; ışınım şiddetini (W/m<sup>2</sup>), T<sub>0</sub>; ölü hal sıcaklığını (K), T<sub>SR</sub>; güneşin yüzey sıcaklığını (K) ifade etmektedir.

### Su Kulesi (III)

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 ; \dot{m}_2 = \dot{m}_5 \quad (15.a)$$

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_6 = \dot{E}_5 + \dot{E}_7 \quad (15.b)$$

$$\dot{E}X_{yıkım,III} = \dot{E}X_2 + \dot{E}X_6 - \dot{E}X_5 + \dot{E}X_7 \quad (15.c)$$

$$\epsilon_{II,III} = (\dot{E}X_7 - \dot{E}X_6) / (\dot{E}X_2 - \dot{E}X_5) \quad (15.d)$$

$$İP_{III} = (1 - \epsilon_{II,III}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,III} \quad (15.e)$$

### Isı Değiştiricisi II (IV)

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 + \dot{m}_9; \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (16.a)$$

$$\dot{E}_7 + \dot{E}_{10} = \dot{E}_8 + \dot{E}_9 + \dot{E}_{11} \quad (16.b)$$

$$\dot{E}_{X_{yıkım,IV}} = \dot{E}X_7 + \dot{E}X_{10} - \dot{E}X_8 - \dot{E}X_9 - \dot{E}X_{11} \quad (16.c)$$

$$\mathcal{E}_{II,IV} = (\dot{E}X_8 + \dot{E}X_9 + \dot{E}X_{11}) / (\dot{E}X_7 + \dot{E}X_{10}) \quad (16.d)$$

$$\dot{I}P_{IV} = (1 - \mathcal{E}_{II,IV}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,IV} \quad (16.e)$$

### Toprak Isı Değiştiricisi (V)

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (17.a)$$

$$\dot{E}_{11} = \dot{Q}_t + \dot{E}_{10} \quad (17.b)$$

$$\dot{E}X_{yıkım,V} = \dot{E}X_{11} - \dot{E}X_{10} + (\dot{Q}_t \cdot (1 - T_0/T_k)) \quad (17.c)$$

$$\mathcal{E}_{II,V} = \dot{E}X_{10} / \dot{E}X_{11} + (\dot{Q}_t \cdot (1 - T_0/T_k)) \quad (17.d)$$

$$\dot{I}P_V = (1 - \mathcal{E}_{II,V}) \cdot \dot{E}X_{yıkım,V} \quad (17.e)$$

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, sistemde kullanılan deniz suyu kütle debisinin, hava kütle debisine oranı olan MR'nin değişiminin her bir konfigürasyon için sistem performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hesaplamalar MR değerinin 1-3 olduğu aralık için yapılmış ayrıca sistem girişindeki havanın kuru ( $T_a$ ) ve yaş termometre sıcaklıkları ( $T_w$ ) sırasıyla 30 °C ve 20 °C, toprak ( $T_s$ ) ve deniz suyu sıcaklığı ( $T_{sw}$ ) 20 °C, kolektör alanı 30 m<sup>2</sup> ve güneş ışınımı ( $\dot{q}_s$ ) 500 W/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır [1]. Çizelge 1'de sistemin A konfigürasyonunda çalışması durumu için sistemdeki noktaların termodinamik özellikleri verilmiştir. 1 noktasında 20°C deki deniz suyu ısı değiştiricisi I'de güneş kolektörlerinden (3 noktası) gelen 49,05°C'deki sıcak su yardımı ile 43,24 °C'ye kadar ısıtılıp ardından su kulesine (2 noktası) nemlendirme işlemi için transfer edilmektedir. Su kulesinde, 6 noktasında dış ortamdan fan vasıtasıyla alınan hava fanındaki sürtünmelerden dolayı bir miktar ısınmaktadır. Isıtılmış olan deniz suyu havanın içine püskürtülerek havanın 37,56 °C ve 35,08 g/kg mutlak nem değerlerine ulaştırılması sağlanır.

7 noktasında su kulesinden çıkan nemli hava yoğuşma işlemi için ısı değiştiricisi II'ye transfer edilir. Isı değiştiricisi II'de hava bünyesindeki nemli yoğuşturmak için toprak ısı değiştiricisinde soğutulan su (10 noktası) kullanılmaktadır. Nemli hava yoğuşma işlemi sonucunda, ısı değiştiricisi II'den 22,83 °C ve 20,00 g/kg nem değerlerinde çıkmaktadır (8 noktası). Yoğuşma işlemi sonucunda elde edilen temiz su depolama tankında depolanmaktadır (9 noktası). Çizelge 1'den ayrıca A konfigürasyonu için sistemde en yüksek ve en düşük ekserji akımı değerlerinin sırasıyla kolektör çıkışında 3,473 kW ve elde edilen temiz su için 0,003 kW olduğu görülmektedir. B ve C konfigürasyonları için de benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

Çizelge 4-6'da MR değerinin 1 olması durumunda sistemin farklı konfigürasyonlarda çalışması durumunda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde, sistemdeki elemanlar içerisinde en fazla tersinmezliğin ( $\dot{E}X_{yıkım,}$ ) dolayısıyla en yüksek iyileştirme potansiyeli ve en düşük ekserji veriminin her üç konfigürasyon için de güneş kolektörlerinde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi; sistemin en yüksek enerji girişi ve ekserji girişi değerlerinin, gelen güneş ışınımından kaynaklanmasıdır. Bu enerjinin büyük bir kısmının kayba ve tersinmezliklerden dolayı yıkıma uğradığı görülmektedir. Bu durum, düzlemsel güneş kolektörlerinin en büyük dezavantajı olarak değerlendirilmektedir. Sistemin enerji verimi ortalama bir değer olarak değerlendirilse de ekserji veriminin, düşük olduğu görülmektedir. Ekserji analizinde çevre koşulları göz önüne alındığından, ekserji ile ilişkili sürdürülebilirlik ve termoekolojik analiz sonuçları da düşük çıkmaktadır. Kayıpların azaltılması verim artışına sebebiyet vereceğinden, sistemin yalıtımının iyileştirilmesi gerekmektedir ve tersinmezliklerin azaltılması için de düzlemsel kolektör tasarımının geliştirilmesi önerilebilir [11].

Sistemde güneş kolektöründen sonra en fazla tersinmezlik, A ve B konfigürasyonları için ısı değiştiricisi I'de, C konfigürasyonu için ise su kulesindedir. Çizelgelerden ayrıca her üç konfigürasyon için de ekserji verimi en yüksek sistem elemanının ısı değiştiricisi I olduğu görülmektedir. Tüm sisteme ait sonuçlar

değerlendirildiğinde, konfigürasyonlara göre olduğu ayrıca ekserji verimi açısından en iyi değişmekle birlikte sistemde oluşan toplam konfigürasyonun (%21,01) suyun kapalı havanın tersinmezlik ve sistemin iyileştirme potansiyelinin açık çevrim olduğu C konfigürasyonu olduğu sırasıyla 15-16 kW ve 12,9-13,3 kW aralığında görülmektedir.

**Çizelge 1.** A konfigürasyonu için sistemin termodinamik özellikleri (MR=1)

No	Açıklama	Akışkan	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)	Nem (kg/kg)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kh.K)	Kütleli debi (kg/s)	EX (kJ)
0	-	Su	101,325	15,00	-	63,01	0,224	0,10	-
0'	-	Hava	101,325	15,00	0,0158	-	-	0,10	-
1	Isı değ. I giriş	Deniz suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,296	0,10	0,018
2	Isı değ. I çıkış	Deniz suyu	101,325	43,24	-	181,11	0,615	0,10	0,544
3	G.Kolek. çıkış	Isıtma suyu	101,325	49,05	-	205,40	0,691	0,45	3,473
4	G.Kolek. giriş	Isıtma suyu	101,325	44,05	-	184,50	0,626	0,45	2,555
5	Su kulesi çıkış	Atık deniz su	101,325	28,49	-	119,40	0,416	0,10	0,128
6	Su kulesi giriş	Hava	101,325	30,76	0,01054	-	-	0,10	0,056
7	Isı değ. II giriş	Hava	101,325	37,56	0,03508	-	-	0,10	0,202
8	Isı değ. II çıkış	Hava	101,325	22,83	0,02000	-	-	0,10	0,018
9	Isı değ. II çıkış	Temiz su	101,325	30,19	-	126,60	0,439	0,0017	0,003
10	T.I.D çıkış	Soğutma suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,296	0,10	0,018
11	T.I.D giriş	Soğutma suyu	101,325	23,00	-	96,48	0,339	0,10	0,046

**Çizelge 2.** B konfigürasyonu için sistemin termodinamik özellikleri (MR=1)

No	Açıklama	Akışkan	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)	Nem (kg/kg)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kh.K)	Kütleli debi (kg/s)	EX (kJ)
0	-	Su	101,325	15,00	-	63,01	0,224	0,10	-
0'	-	Hava	101,325	15,00	0,0158	-	-	0,10	-
1	Isı değ. I giriş	Deniz suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,2962	0,10	0,018
2	Isı değ. I çıkış	Deniz suyu	101,325	42,80	-	180,1	0,6121	0,10	0,535
3	G.Kolek. çıkış	Isıtma suyu	101,325	48,50	-	203,1	0,6842	0,44	3,298
4	G.Kolek. giriş	Isıtma suyu	101,325	43,50	-	182,2	0,6187	0,44	2,412
5	Su kulesi çıkış	Atık deniz su	101,325	30,07	-	126,1	0,4375	0,10	0,159
6	Su kulesi giriş	Hava	101,325	23,73	0,01777	-	-	0,10	0,015
7	Isı değ. II giriş	Hava	101,325	35,01	0,03716	-	-	0,10	0,205
8	Isı değ. II çıkış	Hava	101,325	22,92	0,01782	-	-	0,10	0,013
9	Isı değ. II çıkış	Temiz su	101,325	28,97	-	121,5	0,4223	0,0019	0,003
10	T.I.D çıkış	Soğutma suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,2962	0,10	0,018
11	T.I.D giriş	Soğutma suyu	101,325	23,00	-	96,48	0,3388	0,10	0,046

**Çizelge 3.** C konfigürasyonu için sistemin termodinamik özellikleri (MR=1)

No	Açıklama	Akışkan	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)	Nem (kg/kg)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kh.K)	Kütleli debi (kg/s)	EX (kJ)
0	-	Su	101,325	15,00	-	63,01	0,2242	0,10	-
0'	-	Hava	101,325	15,00	-	-	-	0,10	-
1	Isı değ. I giriş	Deniz suyu	101,325	29,70	-	-	0,4324	0,10	0,152
2	Isı değ. I çıkış	Deniz suyu	101,325	50,20	-	210,2	0,7063	0,10	0,832
3	G.Kolek. çıkış	Isıtma suyu	101,325	55,34	-	231,7	0,7722	0,39	4,260
4	G.Kolek. giriş	Isıtma suyu	101,325	50,34	-	210,8	0,7081	0,39	3,304
5	Su kulesi çıkış	Atık deniz su	101,325	29,68	-	124,4	0,4321	0,10	0,151
6	Su kulesi giriş	Hava	101,325	30,76	0,01054	-	-	0,10	0,056
7	Isı değ. II giriş	Hava	101,325	39,80	0,04403	-	-	0,10	0,326
8	Isı değ. II çıkış	Hava	101,325	23,73	0,01884	-	-	0,10	0,017
9	Isı değ. II çıkış	Temiz su	101,325	31,77	-	133,2	0,4608	0,0025	0,005
10	T.I.D çıkış	Soğutma suyu	101,325	20,00	-	83,93	0,2962	0,10	0,018
11	T.I.D giriş	Soğutma suyu	101,325	23,00	-	96,48	0,3388	0,10	0,046

**Çizelge 4.** A konfigürasyonu için sistem ve sistemdeki tüm ekipmanlar için elde edilen sonuçlar (MR=1)

No	Açıklama	EX <sub>yıkım</sub> (kW)	EX <sub>ürün</sub> (kW)	EX <sub>yakıt</sub> (kW)	ε <sub>II</sub> (%)	İP (kW)	RT (%)
I	Isı değiştiricisi I	0,392	0,526	0,918	57,26	0,168	2,48
II	Güneş kolektörü	14,960	2,555	17,513	14,59	12,780	94,54
III	Su kulesi	0,269	0,146	0,416	35,19	0,175	1,70
IV	Isı değiştiricisi II	0,154	0,003	0,227	30,03	0,108	0,97
V	Toprak ısı değiştiricisi	0,049	0,018	0,067	26,77	0,036	0,31
I-V	Tüm sistem	15,824	3,248	19,140	16,97	13,266	100,00

**Çizelge 5.** B konfigürasyonu için sistem ve sistemdeki tüm ekipmanlar için elde edilen sonuçlar (MR=1)

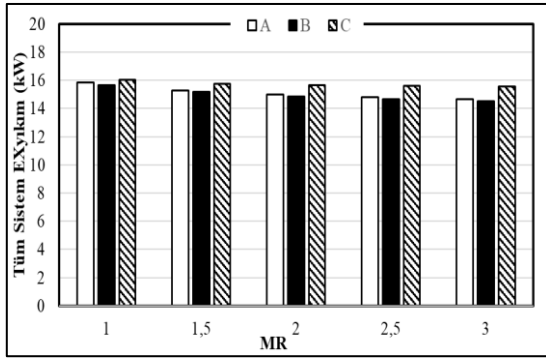
No	Açıklama	EX <sub>yıkım</sub> (kW)	EX <sub>ürün</sub> (kW)	EX <sub>yakıt</sub> (kW)	ε <sub>II</sub> (%)	İP (kW)	RT (%)
I	Isı değiştiricisi I	0,369	0,517	0,886	58,37	0,15	2,36
II	Güneş kolektörü	14,920	2,412	17,338	13,91	12,85	95,33
III	Su kulesi	0,185	0,190	0,375	50,66	0,09	1,18
IV	Isı değiştiricisi II	0,162	0,003	0,220	27,33	0,12	1,04
V	Toprak ısı değiştiricisi	0,015	0,018	0,067	26,77	0,04	0,10
I-V	Tüm sistem	15,651	3,139	18,886	16,62	13,25	100,00

**Çizelge 6.** C konfigürasyonu için sistem ve sistemdeki tüm ekipmanlar için elde edilen sonuçlar (MR=1)

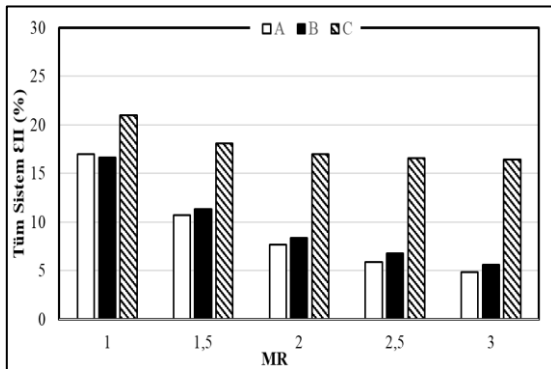
No	Açıklama	EX <sub>yıkım</sub> (kW)	EX <sub>ürün</sub> (kW)	EX <sub>yakıt</sub> (kW)	ε <sub>II</sub> (%)	İP (kW)	RT (%)
I	Isı değiştiricisi I	0,276	0,680	0,956	71,16	0,08	1,72
II	Güneş kolektörü	15,000	3,304	18,300	18,05	12,29	93,68
III	Su kulesi	0,410	0,271	0,681	39,77	0,25	2,56
IV	Isı değiştiricisi II	0,277	0,003	0,349	19,64	0,22	1,73
V	Toprak ısı değiştiricisi	0,049	0,018	0,067	26,77	0,04	0,31
I-V	Tüm sistem	16,011	4,276	20,353	21,01	12,87	100,00



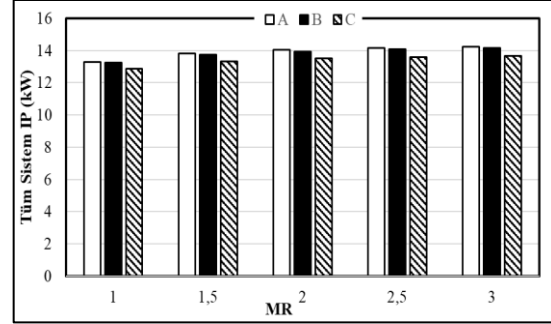
Şekiller 2-4'te farklı konfigürasyonlar için sırasıyla ekserji yıkımı, ekserji verimi ve iyileştirme potansiyelinin MR ile değişimi verilmiştir. Şekillerden MR'nin değişiminin sistemin ekserji yıkımı ve iyileştirme potansiyeli üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. MR'nin artması ile sistemin ekserji verimi tüm konfigürasyonlar için azalmaktadır. Sistemde en yüksek ekserji verimi, MR'nin 1 olduğu durumda C konfigürasyonu için elde edilmiştir. MR'nin artması sistemde dolayan havanın debisinin deniz suyuna göre az olması, bu durum da havanın taşıyabileceği nem miktarının sınırlanması anlamına gelmektedir. Havanın daha az nemlenmesi daha az temiz su eldesi dolayısıyla düşük performans (ekserji verimi) elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2. A-B-C konfigürasyonları için sistemin ekserji yıkımının debiler oranı ile değişimi



Şekil 3. A-B-C konfigürasyonları için sistemin ekserji veriminin debiler oranı ile değişimi



Şekil 4. A-B-C konfigürasyonları için sistemin iyileştirme potansiyelinin debiler oranı ile değişimi

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, toprak ısı değiştiricisinin kullanıldığı güneş enerji destekli bir damıtma sisteminde deniz suyu ve hava debi oranının (MR) sistem performansına etkisi incelenmiştir. Sistemin farklı konfigürasyonlarda çalışma durumunun da ele alındığı ekserji analizlerinde, performans göstergesi olarak ekserji yıkımı (tersinmezlik), ekserji verimi ve iyileştirme potansiyeli ele alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, sistemde en fazla tersinmezliğin ve iyileştirme potansiyelinin güneş kolektörlerinde olduğu görülmüştür. Tüm sisteme ait sonuçlar değerlendirildiğinde, konfigürasyonlara göre değişmekle birlikte sistemde oluşan toplam tersinmezlik ve sistemin iyileştirme potansiyeli sırasıyla 15-16 kW ve 12,9-13,3 kW aralığındadır. Sistemin ekserji verimi açısından en iyi konfigürasyonun suyun kapalı havanın açık çevrim olduğu C konfigürasyonu olduğu (ekserji verimi, %21,01) ayrıca MR'nin artması ile sistemin ekserji veriminin tüm konfigürasyonlar için azaldığı görülmüştür.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2020-PT3-017 projesi kapsamında desteklenmiştir. OKÜBAP'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. Güneş, A., 2022. Güneş Enerji Destekli Nemlendirme-Nem Almalı Bir Damıtma Sisteminin Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye, 97.
2. 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 Sustainable Energy Reviews.*, 14(4), 1187-1201.
3. Kara, O., Hürdoğan, E., 2019. Thermodynamic Analysis of a Novel Desalination System Assisted with Ground Source Heat Exchanger, *Energy Conversion and Management*, 200 (112104), 1-11.
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. He, W., Yang, H., Wen, T., Han, D., 2019. Thermodynamic and Economic Investigation of a Humidification Dehumidification Desalination System Driven by Low Grade Waste Heat, *Energy Conversion and Management*, 183, 848-858.
6. El-Said, E.M., Dahab, M.A., Omara, M.A., Abdelaziz, G. B., 2022. Humidification-Dehumidification Solar Desalination System Using Porous Activated Carbon Tubes as a Humidifier. *Renewable Energy*, 187, 657-670.
7. Shalaby, S.M., Kabeel, A.E., Moharram, B.M., Fleafl, A.H., 2021. Experimental Study of Hybrid Solar Humidification Dehumidification System for Extremely Saline Water Desalination. *Energy Conversion and Management*, 235, 114021.
8. Morad, M.M., Hend El-Maghawry, A.M., Kamal Wasfy, I., 2017. A Developed Solar-Powered Desalination System for Enhancing Fresh Water Productivity. *Solar Energy*, 146, 20-29.
9. Kargar Sharif Abad, H., Ghiasi, M., Jahangiri Mamouri, S., Shafii, M.B., 2013. A Novel Integrated Solar Desalination System with a Pulsating Heat Pipe, *Desalination*, 311, 206-210.
10. Kara, O., 2019. Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Değiştiricili bir Damıtma Sisteminin Analizi. Doktora Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye, 148.
11. Çalışkan, H., 2020. Güneş Kolektörlerinin Enerji, Ekserji, Termoeolojik, Sürdürülebilirlik, Termoeekonomik ve Eksergoekonomik Analizleri. *Mühendis ve Makina*, 61(700), 228-240.