Güneş Enerjisi Destekli Entegre Su Isıtma-Damıtma Sisteminin Teorik Analizi

Cihan YILDIRIM
İsmail SOLMUŞ

Abstract:

In this study, a distillation system integrated with solar-assisted hot water system was theoretically investigated. The system produces hot water for domestic usage and distillates the brackish water into the clean water by means of humidification-dehumidification princple. The main parts of the system are flat plate hot water collector, humidifier, dehumidifier, hot water storage tank and clean water tank. According to different operating and design parameters, the system was investigated and examined the effects of these parameters on the yield of the system.

Key Words:

Solar Energy, Distillation, Humidification, Dehumidification.

ÖZET

Bu çalışmada güneş enerjisi destekli su ısıtma sistemine entegre edilmiş bir damıtma sisteminin teorik analizi yapılmıştır. Sistem bir yandan evsel kullanım amaçlı sıcak su hazırlarken diğer yandan da nemlendirme-nemalma esasına göre çalışarak kuyu suyundan temiz içme suyu üretmektedir. Sistemi oluşturan başlıca elemanlar sırasıyla; güneş enerjili düzlemsel su ısıtıcısı, nemlendirici, nemalıcı, sıcak su deposu ve temiz su deposudur. Sistem farklı işletme ve tasarım parametrelerine göre incelenerek bu parametrelerin sistem verimi üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Güneş Enerjisi, Damıtma, Nemlendirme, Nem Alma.*

1. GİRİŞ

Biyolojik yaşamın devamı için vazgeçilmez bir ihtiyaç olan su, uygarlığın ve endüstrinin gelişimi ve devamı için de önemlidir. Bu temelde, ihtiyaç duyulan suyun belli kalite değerlerini sağlaması gerekmektedir [1]. Bununla beraber hızla artan insan nüfusu, endüstriyel kirlenme, kentleşme ve yanlış tarım politikaları gibi nedenlerle kullanılabilir su rezervleri hızla azalmaktadır. Yerkürenin önemli miktarını suyun oluşturmasına rağmen, bu suyun %99'u kullanılamamaktadır [2].

Tuzlu su ya da kullanılamayacak kadar çok miktarda mineral içeren yeraltı ve yerüstü sularından damıtma yolu ile içme suyu üretimi çok eski bir yöntemdir [2]. Uzunca bir süre kullanılabilir su kaynakları yetersiz olan ülkeler, petrol gibi fosil yakıtlar kullanarak deniz suyundan tatlı su elde etmişlerdir. Fakat fosil yakıtların sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmadığı ve çevreye verdiği zararların daha iyi anlaşılması sonucunda bu alanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı araştırılmaya başlanmıştır [3].

Deniz suyundan tatlı su elde etme işlemi ilk defa M.Ö. 4. Yüzyıl'da

Yunanlı denizciler tarafından kullanılmıştır. Bu alandaki yazılı ilk çalışma ise 1551 yılında Arap simyacılar tarafından yapılmıştır.

Güneş enerjisinin damıtma işlemine ilk uygulaması ise 1872 yılında Carlos Wilson isimli bir mühendis tarafından Şili'de gerçekleştirilmiştir. Uzunca bir süre bu alanda çalışma yapılmış olmamasına rağmen İkinci Dünya Savaşı'nda Amerikan Deniz Kuvvetleri için üretilen portatif acil durum damıtma üniteleri ile beraber bu konu tekrar popülerlik kazanmıştır.

Deniz suyundan temiz su elde etme işlemi, kullanılan enerji türüne göre iki farklı ana kategoride gruplandırılabilir. Bunlar termal enerji destekli yöntemler ve mekanik enerji (ya da elektrik enerjisi) destekli yöntemlerdir. 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. Bununla beraber küçük ölçekli termal sistemler, merkezi su şebekesinin ulaşamadığı ada gibi yerlerdeki veya merkezi su şebekesi için yatırım yapmanın mümkün olmadığı (yüksek maaliyet, sit alanı, coğrafi kısıtlar vb.) yerlerdeki ev, otel, küçük sanayi vb. birimler için oldukça caziptir. Küçük ölçekli sistemler üzerine yapılan çalışmalar içerisinde Nemlendirme-Nem Alma (NNA) prensibine dayanan damıtma işlemi ön plana çıkmaktadır. NNA 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 sistemler yüksek teknoloji gerektirmediğinden ötürü tasarımları, üretimleri ve işletimleri kolaydır. Ülkemizdeki teknik altyapı bu tür sistemlerin evsel kullanım amacıyla üretimini elverişli kılmaktadır. Sistem modüler olduğundan ötürü ilave toplayıcılar ve eşanjörler ile sistem kapasitesini arttırmak mümkündür.

Damıtma işleminin tarihi, bugünkü durumu, gelecekteki potansiyel kullanım imkânları, farklı teknolojilere dair incelemeler, güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının bu alandaki kullanımları üzerine literatürde çeşitli incelemeler [1, 2] ve kitaplar [3] mevcuttur.

Bourouni vd. [4] farklı NNA sistemleri hakkında bilgiler vererek bu sistemler hakkında genel bir değerlendirme yapmıştır. Düşük sıcaklıklı damıtma, nemli havanın mekanik sıkıştırması gibi farklı sistemleri değerlendirilmiştir.

Al-Enezi vd. [5] NNA prensibi ile çalışan damıtma sistemlerinin işletme koşullarının sistem verimliliğini belirlemek üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. Düşük kapasiteli bir sistem için besleme suyu ve hava debisi ile besleme suyu sıcaklığı ve soğutma suyu sıcaklığını incelemişlerdir. Temiz su üretimi ile besleme suyu sıcaklığı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

NNA işlemi ile ilgili literatürdeki önemli katkılardan biri de Nafey vd. tarafından yapılan teorik [6] ve deneysel [7] çalışmalardır. Yapılan çalışmalarda düzlemsel güneş toplayıcısı hava ısıtıcı olarak, yoğunlaştırıcılı güneş toplayıcısı da su ısıtıcısı olarak kullanılmıştır. Teorik çalışmada sadece hava ısıtıcı, sadece su ısıtıcı, açık devre hava ve su ısıtıcı ile kapalı devre hava ve su ısıtıcı gibi farklı çevrim tiplerinin matematiksel modeli oluşturularak incelenmiştir. Deneysel çalışmada ise matematiksel modeli çıkarılan sistem kurulmuştur. Her iki çalışmada besleme suyu debisi, taşıyıcı hava debisi, soğutma suyu debisi ve hava koşulları gibi farklı parametreler incelenerek literatürdeki değerlerle karşılaştırılmıştır.

Fath ve Ghazy [8] NNA tekniği ile çalışan bir damıtma sistemine etki eden çevre ve tasarım parametrelerinin etkisini incelemek üzere matemetiksel bir modelin bilgisayar simulasyonunu yapmışlardır. Kapalı hava açık su devresi esasına göre çalışan sistemin yatırım ve işletim maliyetlerini düşürmek için, havanın doğal sirkülasyon (termosifon) ile de taşınabileceğini göstermişlerdir. Böyle bir sistemde hava ısıtıcısının veriminin önemli olduğu tesbit edilmiştir.

Chafik [9] NNA prensibi ile çalışan yeni bir güneş enerjili damıtma sistemi önermiştir. Havayı ısıtmak için piyasada bulunan emsallerinden daha düşük maliyetli bir toplayıcı tasarlamış ve pilot sistemde kullanmıştır. Hava sıcaklığını aşırı derecede yükseltmek yerine 4 basamaklı bir NNA sistemi kullanmıştır. Laboratuvar ortamında suni güneş ışığının kullanıldığı sistem ile günlük 400 litrelik su üretim değerlerine ulaşmıştır.

Fath vd. [10] güneş enerjili damıtma sistemleri için yeni bir NNA sisteminin ısıl analizini yapmıştır. Damıtma sisteminin izolasyonlu-basamaklı akış küveti ile ikiye ayrıldığı bu sistemde nemlendirme ve nem alma işlemleri havanın üst kısımdaki buharlaştırıcı ve alt kısımdaki yoğuşturucu içerisinde sürekli devri-daim ettirilmesi ile sağlanmaktadır. Enerji ve kütle korunum denklemlerinden türetilen temel denklemler sayısal olarak çözülerek farklı ortam koşulları için sistem peformansı araştırılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde güneş ışınımı miktarı, ortam sıcaklığı, emici yüzeyin güneş ışınımı emme kapasitesi ve başlangıçtaki su sıcaklığının verimliliğe önemli etkileri olduğu tesbit edilmiştir.

Orfi vd. [11] hava ve su için iki farklı düzlemsel güneş toplayıcısı kullanan bir damıtma sisteminin deneysel ve teorik incelemesini yapmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden nemlendiricinin zamana göre verimi hesaplanmış ve teorik çalışma vasıtasıyla da maksimum damıtma kapasitesi için gerekli olan akış oranı (su/hava) belirlenmiştir.

Ettouney yaptığı bir çalışmada [12] çeşitli NNA süreçlerini değerlendirmiştir. Klasik yoğuşmalı sistem, mekanik sıkıştırmalı sistem, kurutucu maddeli sistem ve membran hava kurutmalı sistemlerin enerji dengesini kullanarak kurutucu ve yoğuşturucular için gerekli olan ölçüleri hesaplamıştır.

Al-Enezi vd. [13] farklı işletme parametreleri için NNA tekniğinin verimini ölçmüşlerdir. Küçük ölçekli bir deney düzeneği üzerinde yapılan deneyler vasıtasıyla besleme suyu miktarı, taşıyıcı hava miktarı, besleme suyu sıcaklığı, taşıyıcı hava sıcaklığı ve soğutma suyu sıcaklığının sistem performansına etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre damıtılan su miktarının besleme suyu sıcaklığı ile doğrudan ilişkisi vardır.

Yamalı ve Solmuş, NNA esasına dayanan bir güneş enerjili damıtma sistemini teorik [14] ve deneysel [15] olarak incelemişlerdir. Çift geçişli ve çift camlı düzlemsel hava ısıtıcı ve elektrikli su ısıtıcısının kullanıldığı sistemde kapalı su ve açık hava döngüsü vardır. Teorik çalışmada sistemin matematiksel bir modeli geliştirilmiş ve bu model vasıtasıyla çeşitli çalışma parametrelerinin sistem performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada besleme suyunun debisi ve sıcaklığının artması ile sistem performansının arttığı gözlemlenmiştir. Soğutma suyunun miktarının artması ve sıcaklığının düşmesi de yine sistem performansını olumlu etkilemektedir. Bununla beraber ısıtılan havanın debisinin artması belli bir noktaya kadar sistem performansını iyileştirmektedir. Deneysel çalışmada ise aynı sistem oluşturulmuş ve dış ortam koşullarında test edilmiştir. Elde edilen bulgular daha önce yapılan teorik çalışma ve literatürdeki diğer verilerle uyumlu çıkmıştır. Ayrıca vakumlu tüplü su ısıtıcısı da sisteme ilave edilerek sistemin performansı incelenmiştir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalardan anlaşılacağı üzere üretilen kullanılabilir temiz su miktarını belirleyen en önemli parametrelerin başında, nemlendiriciye giren suyun sıcaklığı, nemlendiriciye giren havanın sıcaklığı ve yoğuşturucu sıcaklığı gelmektedir. Bunlarla beraber nemlendirici ve nem alıcı üzerinde yapılan iyileştirmelerin de sistem verimini arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca gerek deneysel çalışmalarda gerekse teorik hesaplamalarda rüzgâr hızının, ısı yalıtımı iyi yapılmış bir sistem üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Farklı araştırmacıların farklı coğrafyalarda yaptıkları benzer çalışmaların sonuçlarının da meteorolojik farklılıklardan kaynaklı olarak önemli değişiklikler gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışmada, yukarıdaki literatür özetinde verilen çalışmalar yardımı ile güneş enerjili evsel sıcak su hazırlama sistemine entegre edilmiş, nemlendirme

6Cihan Yildirim:Sablon 24.11.2014 14:40 Page 58

nem alma prensibine göre çalışan damıtma sisteminin teorik analizi yapılmıştır. Sistem bir pompa vasıtasıyla suyu belli bir debide kolektör üzerinden sirküle ettirerek sıcak su hazırlamakta, bu sıcak su da hem damıtma işlemi için kullanılmakta hem de banyo ve mutfak gibi yerlerdeki sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Sistem farklı işletme parametrelerine ve sıcak su kullanım durumuna göre incelenmiş ve günlük üretilebilen temiz su miktarları hesaplanmıştır. Sistemden günde iki kez bir saat süre ile 0,15 kg/s debi ile sıcak su çekildiği kabul edilmiş ve bu durumun depodaki suyun sıcaklığına ve üretilebilen günlük temiz su miktarına etkisi incelenmiştir.

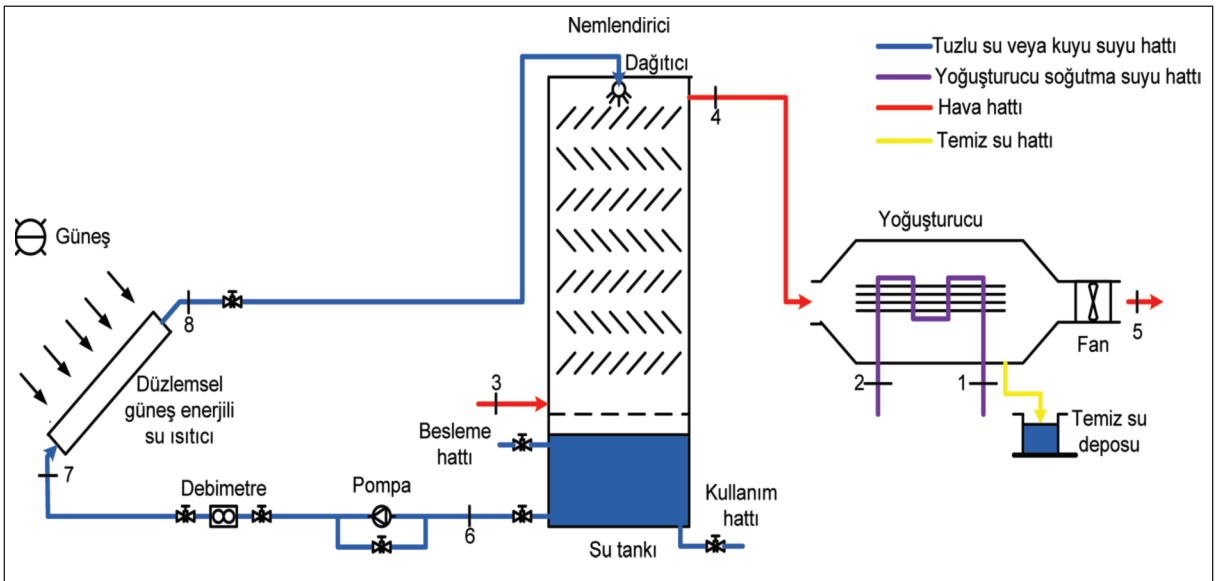
2. SİSTEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL

2.1. Sistem Tanımı

Sistem açık hava/kapalı su döngüsü prensibi temelinde çalışmaktadır. Dış ortam havası nemlendiricide, düzlemsel güneş enerjili su ısıtıcısından gelen sıcak su ile temasa getirilmekte ve bu şekilde su buharı ile yüklenmektedir. Burada nemlendiriciden ayrılan su, depo-kolektör-nemlendirici hattını takip ederek sürekli sirküle ettirilmektedir. Nemlendiriciden hemen hemen doymuş olarak çıkan hava sonrasında yoğuşturucuya girmekte ve %100 bağıl nem eğrisi üzerinde yoğuşma olayı gerçekleşmektedir.

Nemlendirici içerisine giren hava (3), yüzey alanı arttırılmış nemlendirici içinde sıcak su ile temasa getirilerek nemlendirilir. Nem bakımından doymuş hava buradan yoğuşturucuya gönderilir. Nemlendirici çıkışında (4) nemli havanın sıcaklık bilgileri hesaplanır. Serpantinlerle yüzey alanı arttırılmış yoğuşturucuya giren hava, burada kısmi buhar basıncına karşılık gelen doyma sıcaklığının altında yüzey sıcaklığına sahip yüzeylerle temasa geldiğinde yoğuşur ve mutlak nem miktarı azalır. Yoğuşarak biriken temiz su bir depoda toplanarak zamana bağlı olarak artışı hesaplanır. Nemini kaybeden hava fan tarafından emilerek atmosfere atılır. Havanın dışarı atıldığı bu noktada (5) nem ve sıcaklık bilgileri hesaplanarak yoğuşturma işleminin etkinliği belirlenir.

Besleme hattı üzerinden su tankına doldurulan kuyu suyu (6) pompa vasıtasıyla, debisi ayarlanarak, düzlemsel güneş enerjili su ısıtıcısına pompalanır. Su ısıtıcısı girişindeki (7) suyun sıcaklığı depodan çıkan suyun sıcaklığına eşit kabul edilerek çıkıştaki (8) suyun sıcaklığı hesaplanır. Nemlendirici girişinde sıcak su, dağıtıcı vasıtasıyla dağıtılarak nemlendirici yüzey alanı genişletilmiş olur. Bu geniş yüzey alanı üzerinden akan hava ise bu sayede nemlendirilir. Damıtılması istenilen su, sistemde sürekli olarak sirküle ettirilerek kazanılmış ısıdan maksimum biçimde yararlanılmaya çalışılır. Güneşten elde edilen



Şekil 1. Güneş Enerjisi Destekli Entegre Su Isıtma-Damıtma Sisteminin Şematik Gösterimi

enerji vasıtasıyla psikometrik özelliklere bağlı olarak bir miktar temiz su üretilir. Bu su, damıtma yoluyla elde edildiği için organik ve inorganik bileşikler ihtiva etmez. Bu sayede içme suyu olarak kullanılabilir. Elde edilen ve sıcak su deposunda saklanan su ise banyo ve mutfakta diğer günlük ihtiyaçlar için kullanılır.

Sistemde dolaştırılan taşıyıcı havanın debisi, sıcak su hattında sirküle ettirilen suyun debisi, soğutma suyu sıcaklığı, soğutma suyu debisi ve sıcak su kullanımı sistemimizin kontrol parametreleridir.

2.2. Matematiksel Model

NNA tekniği temel olarak havanın su buharı taşıma kabiliyetini esas alır. Yüzey alanı artırılmış ıslak bir yüzey üzerinden akan sıcak hava termodinamik koşullara bağlı olarak bir miktar su buharı taşır. Su buharı ile nemlendiricide doyurulmuş hava, nemalıcı ya da yoğuşturucu denilen ünitede havanın kısmi buhar basıncına karşılık gelen doyma sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki bir yüzey ile temasa getirildiğinde taşımakta olduğu nemi bırakır. İncelenecek olan sistemin oluş mekanizması bu psikometrik özelliğe dayanır. Bu psikometrik mekanizmanın incelenmesi için teorik bir çalışma yürütülecektir.

Sistemin teorik analizi; her sistem bileşeni için, enerji ve kütle korunumu esasına göre türetilen denklemlerden oluşturulan matematiksel modelin sayısal çözümü şeklinde olacaktır. Bu matematiksel model farklı işletme ve kullanım parametreleri için çözülerek sisteminin günlük üretebildiği kullanılabilir temiz su miktarı hesaplanacaktır.

Oluşturulacak olan matematiksel model için bir takım temel kabuller yapılması gerekmektedir. Bu kabuller şu şekildedir:

- Nemlendirici ve nem alıcının dış ortama ısı kaybı ya da kazancı ihmal edilecek seviyededir.
- Sistemde hava kaçağı nedeniyle oluşan kütle kaybı yoktur.
- Nemlendiriciden çıkan suyun sıcaklığı havanın yaş termometre sıcaklığına eşittir.
- Nemlendiricinin yüzey alanının yeterince geniş tutulduğu varsayılır. Nemlendirici verimi bire eşittir. Nemlendiriciden çıkan hava tam doymuş, yani yaş ve kuru termometre sıcaklıkları eşittir.
- Nem alma işlemi doyma eğrisi boyunca gerçekleşir.
- Yoğuşan suyun sıcaklığı ve soğutma suyunun çıkış sıcaklığı nem alıcıdan çıkan havanın kuru termometre sıcaklığına eşittir.
- Su deposu içerisindeki suyun sıcaklık değişimi ihmal edilebilir seviyededir.
- Kolektöre giren suyun sıcaklığı sıcak su deposundan çıkan suyun sıcaklığına eşittir.
- Soğutma suyunun sıcaklığı gün içerisinde sabit kalmaktadır.
- Güneş ışınımı, rüzgâr hızı, bağıl nem ve dış ortam sıcaklığı belirlenen saat diliminde sabit kabul edilmiştir.
- Sistemde kullanılacak olan kuyu suyunun fiziksel özellikleri saf su ile aynı kabul edilmiştir.

Damıtma sistemimizde damıtılacak olan kuyu suyunu ısıtmak amacıyla tek camlı, bakır yutucu plakalı standart bir düzlemsel güneş kolektörü kullanılmıştır. Kolektörün yutucu yüzeyine gelen güneş ışınımı değerleri, istatstiksel yöntemlerle elde edilmiş korelesyonlardan [16] yararlanılarak yatay yüzeye gelen toplam güneş ışınımı değerlerinden 30° derece eğim açısı için hesaplanmıştır [17].

Sıcak su deposu için yazılan zamana bağımlı enerji denklemi dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi ile integre edilmiştir. Sistemin 24 saat boyunca çalışacağı düşünülerek yapılan integrasyon sonucu günlük üretilebilen temiz su miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar için MATLAB ortamında program yazılmıştır.

Toplayıcımızda kullandığımız yutucu yüzey tarafından absorbe edilen faydalı enerji [17]:

$$S = I_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho_g \cdot (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (1)$$

Yutucu tabaka üzerine düşen güneş ışınımı toplayıcı üzerinde faydalı enerjiye dönüşür:

$$Q_u = A_c\left[S - U_L\left(T_{pm} - T_a\right)\right] = A_c \cdot F_R\left[S - U_L\left(T_i - T_a\right)\right]$$
$$= M_{w1} \cdot c_{p_w} \cdot \left(T_o - T_i\right) \quad (2)$$

Matematiksel modelin oluşturulması için her sistem bileşeninin enerji dengesi yazılmalıdır.

• Nemlendirici

$$M_a \cdot \left(h_{a3}(t) - h_{a2_e}(t)\right)$$
$$= M_{w1} \cdot c_{p_w} \cdot T_{w1}(t) + M_{w2}(t) \cdot c_{p_w} \cdot T_{w2}(t) \quad (3)$$

• Nem alıcı

$$M_a \cdot \left(h_{a3}(t) - h_{a4}(t)\right)$$
$$= M_{w3} \cdot c_{p_w} \cdot \left(T_{w4}(t) - T_{w3}\right) + M_c(t) \cdot c_{p_w} \cdot T_{w5} \quad (4)$$

• Depo

$$M_{w1} \cdot c_{p_w} \cdot \frac{dT_{w1}(t)}{dt} = M_{w2}(t) \cdot c_{p_w} \cdot T_{w2}(t) \quad (5)$$
$$+ M_{mw}(t) \cdot c_{p_w} \cdot T_{mw}(t) - M_{w1}(t) \cdot c_{p_w} \cdot T_{w1}(t) - q_{l,w1_amb}$$

Hava ısıtıcı kolektörün çıkışından nemlendiriciye giren havanın entalpisi:

$$h_{a2_e}(t) = c_{p_a} \cdot T_{a2_e}(t) + W_1(t) \cdot h_g(t) \quad (6)$$

Doymuş su buharının entalpisi

$$h_g(t) = -9.3 \times 10^{-6} \times T^3 - 1.9 \times 10^{-5} \times T^2 + 1.8 \times T - 2500 \quad (7)$$

Nemlendirici çıkışındaki doymuş havanın nem miktarı,

$$W(t) = 7.7 \times 10^{-7} \times T^3 - 1.95 \times 10^{-5} \times T^2 + 0.00071 \times T + 0.002 \quad (8)$$

ve entalpisi

$$h_a(t) = 2.82 \times 10^{-5} \times T^4 - 0.00106 \times T^3 + 0.0615 \times T^2 + 1.32 \times T + 10.5 \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır.

Nem alıcıda üretilen temiz su miktarı ise havanın kaybettiği nem miktarı bulunarak hesaplanır,

$$M_c(t) = M_a \cdot (W_3(t) - W_4(t)) \quad (10)$$

2.3. Çözüm Yöntemi

Yukarıda açıklanan matematiksel modele uygun olarak MATLAB yazılımı ile simülasyon programı geliştirilmiştir. Bu simülasyon programı kullanılarak, işletme ve kullanım parametrelerinin üretilen temiz su miktarına etkisi incelenmiştir.

Matematiksel modelde yer alan zamana bağlı diferansiyel denklem seti dördüncü dereceden Runge-Kutta metodu kullanılarak integre edilmiştir. Zaman adımı için yapılan testler neticesinde 1 saniyelik zaman arttırımlarının sistemi çözmek için uygun olduğuna karar verilmiştir. Başlangıç koşulu olarak sıcaklık değerleri ortam sıcaklığına eşit alınmıştır. Düzlemsel su ısıtıcının ortalama plaka sıcaklığı başlangıç koşulu olarak ortam sıcaklığından 10 °C yüksek kabul edilmiş ve her zaman adımında iteratif olarak çözülmüştür. Elde edilen değer bir sonraki zaman adımı için iterasyon başlangıç değeri olarak kullanılmıştır.

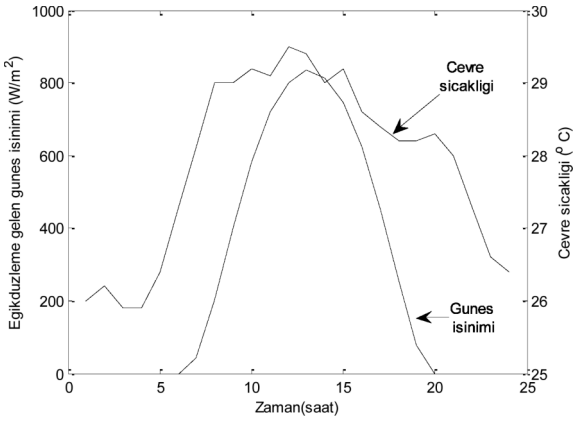
Başlangıç koşulu olarak kabul edilen sıcaklık değerleri kullanılarak her zaman adımı için psikometrik değerler hesaplanmış ve diferansiyel denklemler çözülerek yeni sıcaklık değerleri bulunmuştur. Her zaman adımı için sistemi oluşturan bileşenlerin enerji ve kütle dengesi dikkate alınarak yoğuşan temiz su miktarı hesaplanmıştır.

Gün içerisindeki sıcak su kullanımı, aile fertlerinin sayısı ve kullanım alışkanlıkları gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik göstermekle beraber hesaplamalarımızda gün içerisinde iki kez, ilki saat 12 ile 13 arasında ikincisi ise saat 21 ile 22 arasında olmak üzere, 0,15 kg/s debi ile sıcak su kullanıldığı kabul edilmiştir. Kullanılan sıcak suyun yerine aynı miktarda su depoya ilave edilmiştir. Eksilen suyun tamamlanması için sisteme ilave edilen suyun sıcaklığı 20 °C kabul edilmişdir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

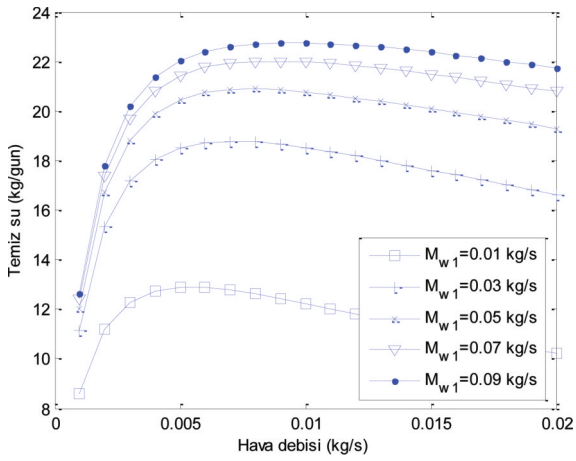
Çalışmada yapılan tüm simülasyonlar için Antalya iline ait 15.08.2011 tarihli meteorolojik verileri kul-

lanılmıştır. Rüzgâr hızı, bağıl nem ve ortam sıcaklığı değerleri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Güneş ışınımı değerleri ise eksik veri olması nedeni ile istatiksel yöntemlerden [16] yararlanılarak hesaplanmıştır [17]. Şekil 2'de güneye dönük, yatay ile 30 derece açı yapan eğik düzlem üzerine düşen güneş ışınımının ve ortam sıcaklığının gün içerisindeki değişimi verilmiştir.



Şekil 2. Antalya İli İçin 30 Derecelik Eğik Düzleme Gelen Güneş Işınımının ve Ortam Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi [19]

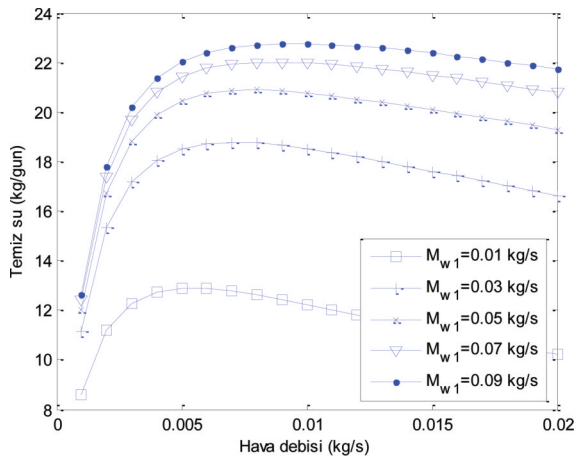
Nemlendiriciye giren hava debisi ve sirkülasyon debisinin üretilen temiz su miktarına etkisi Şekil 3'de gösterilmiştir. Nemlendiriciye giren suyun debisi üretilebilen temiz su miktarını arttırmıştır. Bununla beraber üretilebilen temiz su miktarındaki artım gittikçe azalmaktadır. Bunun nedeni nemlendirici içerisindeki havanın sıcaklığının artmasıyla nem tutma kapasitesinin artmasıdır. Nemlendirici içerisinde dolaşan hava sıcaklığı sirkülasyon debisinin artması ile nemlendiriciye giren suyun sıcaklığına yaklaşır. Hava ve suyun sıcaklıkları eşitlendiğinde ise üretilebilen temiz su miktarını daha fazla arttırmak mümkün olmaz.



Şekil 3. Üretilebilen Temiz Su Miktarının Hava Debisi (M_a) ve Sirkülasyon Debisi (M_{w1}) İle Değişimi [19]

Hava debisinin arttırılması ise nemlendiricideki buharlaşma hızını arttırmaktadır. Havanın debisinin artması nemlendirici içerisindeki suyun sıcaklığını düşürmektedir. Dolayısıyla hava debisinin artması ile üretilebilen temiz su miktarı önce hızlıca artmakta daha sonra ise belli bir maksimum noktaya ulaştıktan sonra ise yavaşça düşmektedir. Benzer sonuçlar literatürdeki farklı araştırmalarda da görülmektedir [7, 14, 15, 19].

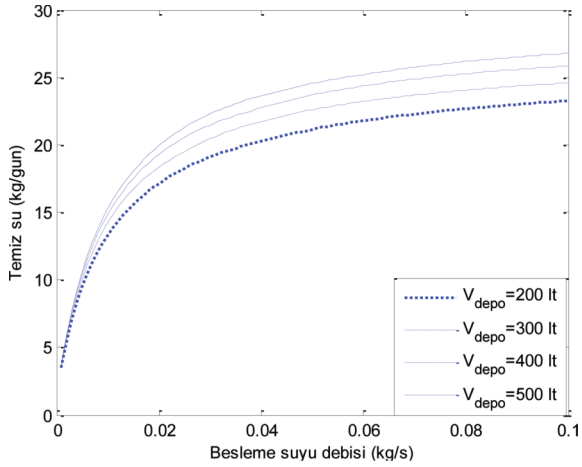
Üretilebilen temiz su miktarı nemalıcıya giren soğutma suyu debisi ve sıcaklığı ile de değişmektedir. Soğutma suyu debisi arttıkça ve soğutma suyu sıcaklığı düştükçe nemalıcıdan çekilen ısı miktarı yükselmekte ve bu sayade yoğuşma miktarı artmaktadır.



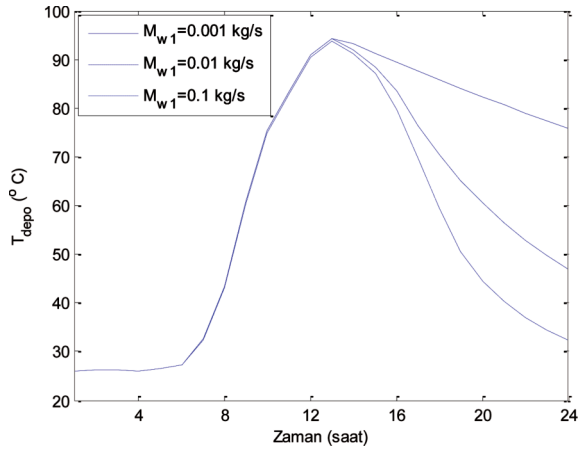
Şekil 4. Üretilebilen Temiz Su Miktarının Soğutma Suyu Debisi (M_{w3}) ve Soğutma Suyu Sıcaklığı (T_{w3}) İle Değişimi [19]

Sistem verimini etkileyen bir diğer önemli parametre de kullanılan sıcak su deposunun hacmidir. Depo hacminin artması ile daha fazla ısı depolanabilmekte ve bu depolanan ısı güneş battıktan sonra da kullanılabilmektedir. Depo hacmini arttırarak, üretilebilen

günlük temiz su miktarını arttırmak mümkündür (Şekil 5). Bununla birlikte daha büyük bir depo kullanmak her zaman ilk yatırım maaliyetini arttırmaktadır. Depo hacminin çok küçük seçilmesi ise sistemde sirküle ettirilen debiye bağlı olarak, depodaki suyun daha erken soğumasına neden olmaktadır (Şekil 6). Yüksek sirkülasyon debilerinde (M_{w1}=0,1 kg/s) depoyu büyük seçmek, depodaki su sıcaklığının daha geç düşmesine neden olacağı için (Şekil 7) özellikle sıcak su kullanımının ihtiyaç duyulduğu durumlarda gereklidir.

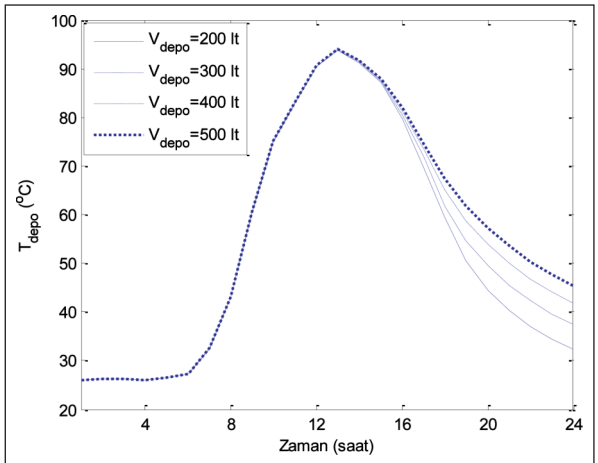


Şekil 5. Depo Hacminin Üretilebilen Temiz Su Miktarına Etkisi (M_{w1}=0,1 kg/s)



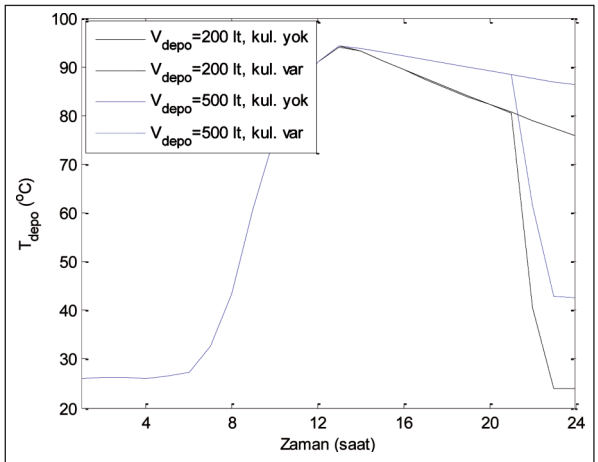
Şekil 6. Depo İçerisindeki Suyun Sıcaklığının Zamana Göre Değişimi (V_{depo}=200 lt)

Depodaki sıcak sudan, gün içerisinde kullanım amacıyla yararlanılması durumunda ise su sıcaklığı kullanımın yapıldığı zamana ve kullanım miktarına göre



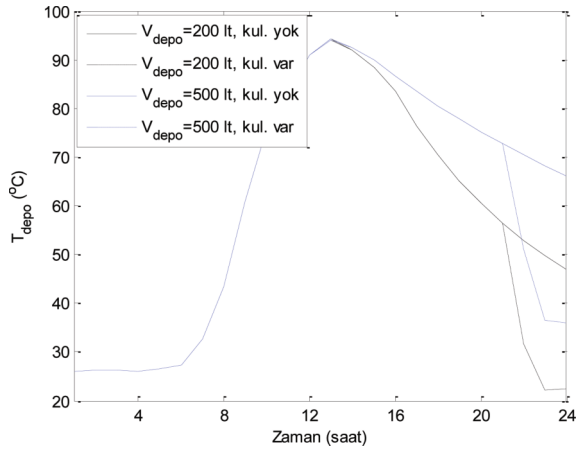
Şekil 7. Depo İçerisindeki Suyun Sıcaklığının Zamana ve Depo Hacmine Göre Değişimi (M_{w1}=0.1 kg/s)

değişmektedir. Ele aldığımız sistemde sıcak su kullanımının saat 12 ile 13 arasında ve saat 21 ile 22 arasında 0,15 kg/s debi ile yapıldığı varsayılmıştır. 200 litrelik ve 500 litrelik iki farklı depo ve üç farklı sirkülasyon debisi (Şekil 8, 0,001 kg/s; Şekil 9, 0,01 kg/s; Şekil 10, 0,1 kg/s) için yapılan hesaplamalarda, saat 12 ve 13 arasındaki sıcak su kullanımının depodaki suyun sıcaklığını çok fazla değiştirmediği görülmüştür. Bu saatler güneş ışınımının en fazla olduğu zaman dilimi olduğu için sıcak su kullanımı ile kaybedilen ısı güneş ışınımı ile hızlıca geri kazanılabilmiştir. Sadece sirkülasyon debisinin yüksek olduğu koşulda (Şekil 10, M_{w1}=0,1 kg/s) 200 litrelik depoda, depo suyu sıcaklığında yaklaşık 4 °C kadar azalma olmuştur.

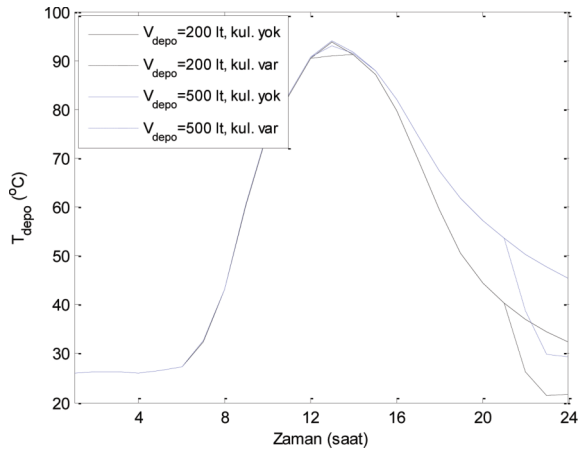


Şekil 8. Depo İçerisindeki Suyun Sıcaklığının Kullanım Durumuna Göre Değişimi (M_{w1}=0,001 kg/s)

6Cihan Yildirim:Sablon 24.11.2014 14:40 Page 63



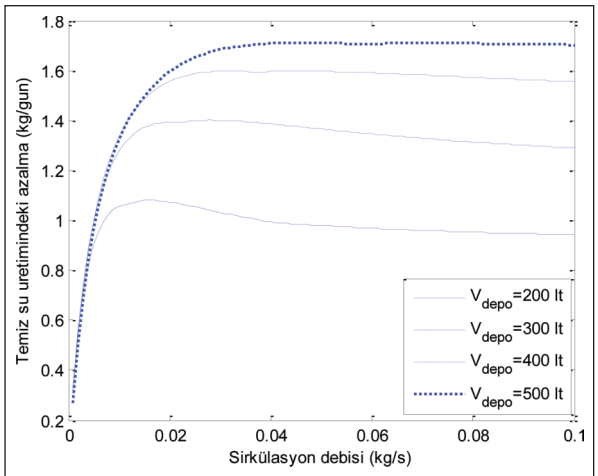
Şekil 9. Depo İçerisindeki Suyun Sıcaklığının Kullanım Durumuna Göre Değişimi (M_{w1}=0,01 kg/s)



Şekil 10. Depo İçerisindeki Suyun Sıcaklığının Kullanım Durumuna Göre Değişimi (M_{w1}=0,1 kg/s)

Saat 21 ile 22 arasında sıcak su kullanımı olması durumunda ise depo içerisindeki suyun sıcaklığı hızlıca düşmektedir. 200 litrelik depo kullanılması durumunda depodaki sıcak su miktarı yeterli olmamaktadır. 500 litrelik depo kullanılması durumda ise sirkülasyon debisinin artması ile depodaki su sıcaklığı azalmakta fakat evsel ihtiyaçların karşılanmasına yetecek seviyede sıcak su kalmaktadır.

Sıcak su kullanımı neticesinde depo içerisindeki su sıcaklığı azalmakta ve bu da üretilebilen temiz su miktarını düşürmektedir. Şekil 11'de farklı depo hacimleri ve sirkülasyon debileri için sıcak su kullanım durumunda üretilebilen temiz su miktarındaki azalma gösterilmiştir. Depo hacminin artması ile üretim kaybı da bir miktar artmaktadır. İlk bakışta çelişkili bir durum gibi görünmekle beraber düşük hacimli depo kullanılması durumunda, gün batımından sonra daha düşük sıcaklıklarda çalışmakta ve üretim miktarı da daha düşük olmaktadır. Sıcaklık farkının daha az olması nedeni ile üretim kaybı da daha az olmaktadır. Bununla beraber sirkülasyon debisinin artması ile beraber bu fark hızlıca artmakta fakat yaklaşık olarak M_{w1}=0,5 kg/s değerinden sonra fark sabit kalmaktadır.



Şekil 11. Gün İçerisinde Sıcak Su Kullanılması Halinde Temiz Su Üretimindeki Azalmanın Besleme Suyu Debisi ve Depo Hacmine Göre Değişimi (M_{w1}=0,1 kg/s)

SONUÇ

Yapılan çalışmada güneş enerjisi ile çalışan sıcak su hazırlama ve damıtma sistemlerinin entegre edilmiş hali incelenmiştir. Farklı işletme, tasarım ve kullanım parametrelerinin incelenmesi sonucunda, üretilebilen temiz su miktarının sirkülasyon debisi ve depo hacmi ile birlikte arttığı görülmüştür. Genel olarak yüksek hacimli bir depo ve yaklaşık 0,5 kg/s'lik sirkülasyon debisi uzun vadede optimum çözüm olabilecektir. Bununla beraber bu tasarım ve işletme parametreleri kullanım yerindeki ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Yapılmış olan çalışma farklı kullanım senaryolarına göre genişletilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Tiwari, G. N., Singh, H. N., Tripath, R. İ, "Present Status of Solar Distillation", Solar Energy, 75, 367-373, (2003).

[2] Sampathkumar K., Arjunan T. V., Pitchandi P., Senthilkumar P., "Active Solar Distillation-A Technical Review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 1503-1526, (2010).

[3] Malik M. A. S., Tiwari G. N., Kumar A., Sodha M. S., "Solar Distillation", Pergamon, (1982).

[4] Bourouni K., Chaibi M. T., Tadrist L., "Water Desalination By Humidification And Dehumidification Of Air: State Of Art", Desalination, 137, 167-176, (2001).

[5] Al-Enezi G., Ettouney H., Fawzy N., " Low Temperature Humidification Dehumidification Desalination Process", Energy Conversion and Management, 47, 470-484, (2006).

[6] Nafey A. S., Fath H. E. S., El-Helaby S. O., Soliman A. M., "Solar Desalination Using Humidification Dehumidification Processes. Part I. A Numerical İnvestigation", Energy Conversion and Management, 45, 1243-1262, (2004).

[7] Nafey A. S., Fath H. E. S., El-Helaby S. O., Soliman A. M., "Solar Desalination Using Humidification Dehumidification Processes. Part II. An Experimental İnvestigation", Energy Conversion and Management, 45, 1263-1277, (2004).

[8] Fath H. E. S., Ghazy A., "Solar Desalination Using Humidification Dehumidification Technology", Desalination, 142, 119-133, (2002).

[9] Chafik E., "A new Seawater Desalination Process Using Solar Energy", Desalination, 153, 25-37, (2002).

[10] Fath H. E. S., El-Sherbiny S. M., Ghazy A., "Transient Analysis of a New Humidification Dehumidification Solar Still", Desalination, 155, 187-203, (2003).

[11] Orfi J., Laplante M., Marmouch H., Galanis N., Benhamou B., Nasrallah S. B., Nguyen C. T., "Experimental and Theoretical Study of a Humidification Dehumidification Water Desalination System Using Solar Energy", Desalination, 168, 151-159, (2004).

[12] Ettouney H., "Design and Analysis of Humidification Dehumidification Desalination Process", Desalination, 183, 341-352, (2005).

[13] Al-Enezi G., Ettouney H., Fawzy N., "Low Temperature Humidification Dehumidification Desalination Process", Energy Conversion and Management, 47, 470-484, (2006).

[14] Yamalı C., Solmuş İ., "Theoretical Investigation of a Humidification Dehumidification Desalination System Configured by a Double-Pass Flat Plate Solar Air Heater", Desalination, 205, 163-177, (2007).

[15] Yamalı C., Solmuş İ., "A Solar Desalination System Using Humidification Dehumidification Process: Experimental Study and Comparison With the Theoretical Results", Desalination, 220, 538-551, (2008).

[16] Bulut H., Büyükalaca O., "Simple Model for the Generation of Daily Global Solar-Radiation Data in Turkey", Applied Energy, 84, 477-491, (2007).

[17] Duffie J. A., Beckman W. A., "Solar Engineering of Thermal Process", Wiley, (2006).

[18] Clifford, G. E., "Modern Heating and Ventilating Systems Design", Prentice Hall, (1993).

[19] Yıldırım C., Solmuş İ., "A Parametric Study on a Humidification-Dehumidification (HDH) Desalination Unit Powered by Solar Air and Water Heaters", Energy Conversion and Management, (2012, sunuldu).