



**T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DUYULUR ISI DEPOLAMALI GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SU
DAMITMA SİSTEMİNİN PERFORMANS
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdulkadir TONYALI

Danışman

Doç. Dr. Ayşe Pınar MERT CÜCE

İkinci Danışman

Doç. Dr. Erdem CÜCE

RİZE

2022

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında, Doç. Dr. Ayşe Pınar MERT CÜCE danışmanlığında, Abdulkadir TONYALI tarafından hazırlanan *Duyulur Isı Depolamalı Güneş Enerjisi Destekli Su Damıtma Sisteminin Performans Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi* adlı bu tez çalışması, 14/09/2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Servet KARASU	
Üye	: Prof. Dr. Sevgi KOLAYLI	
Üye	: Doç. Dr. A. Pınar MERT CÜCE	
Üye	: Doç. Dr. Erdem CÜCE	
Üye	: Doç. Dr. İsmail ALTIN	

ETİK BEYAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Duyulur Isı Depolamalı Güneş Enerjisi Destekli Su Damıtma Sisteminin Performans Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

14/09/2022

Abdulkadir TONYALI

ÖN SÖZ

Duyulur Isı Depolamalı Güneş Enerjisi Destekli Su Damıtma Sisteminin Performans Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi başlıklı tez çalışması, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Düşük/Sıfır Karbon Enerji Teknolojileri (Low/Zero Carbon Energy Technologies) Laboratuvarının sağlamış olduğu fiziki imkânlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tüm dünyada ve ülkemizde suyun çok önemli bir ihtiyaç potansiyelinin olması aynı zamanda güneş enerjisi kullanılması sayesinde yenilikçi bir tasarıma sahip olması nedeniyle gelecek çalışmalarda yol gösterici niteliktedir. Güneş enerjisi destekli damıtma ünitesi ile ilgili çok az sayıda çalışma yapılmış olması bu tez çalışması ile elde edilecek sonuçların önemini arttırmaktadır.

Bu çalışmada duyulur ısı depolamalı solar damıtma ünitesinin performans parametreleri incelenmiştir. Sistem haznesinde depolanan su, güneş enerjisi ile ısınmakta ve buharlaşan suyun cam kapak üzerinde tekrar yoğuşması neticesinde tuzdan arındırılmış şekilde su eldesi sağlanmaktadır. Bu çalışmadaki performans arttırmaya yönelik stratejiler sistemin yalıtılmış olması ve cam yüzeyde soğutma yapılması şeklinde ifade edilebilir. Bu sayede istenilen miktarda su daha hızlı bir şekilde üretilmektedir. Sistemin güneş enerjisi destekli bir teknoloji olması mevcut enerji kaynaklarının korunması açısından önem arz etmektedir.

Çalışmanın başlangıcında çalışma konusunu önererek başlayan ve bütün süreç boyunca her adımda bilgi, beceri ve tavsiyeleriyle yanımda olan tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Ayşe Pınar MERT CÜCE'ye, yine çalışmam boyunca desteklerini sürekli hissettiğim ikinci Danışmanım Doç. Dr. Erdem CÜCE'ye teşekkürü borç bilirim.

İlk günümünden bugüne kadar sevgi, merhamet ve her türlü desteklerini benden eksik etmeyen sevgili babam Ömer TONYALI, sevgili annem Melek TONYALI, sevgili abim Muhammet Ali TONYALI ve bana destek olan herkese sonsuz şükran ve hürmetlerimi sunuyorum.

Abdulkadir TONYALI

2020/RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XI
GİRİŞ	1
1.GENEL BİLGİLER	4
1.1 . Su Arıtma Sistemleri.....	4
1.1.1. Çok Aşamalı Flaş Tuzdan Arındırma	5
1.1.2. Çok Etkili Arıtma.....	7
1.1.3. Ters Osmoz	8
1.1.4. Mebran Damıtma	8
1.1.5. Elektrodializ.....	9
1.1.6. Nemlendirme – Nem Alma.....	9
1.1.7. Buhar Sıkıştırma	10
1.1.8. Güneş Enerjisi ile Arıtma	10
1.2. Literatür Özeti.....	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	13
2.1. Deney Düzeneginin Tanımı	13

2.2. Deney Düzenekinin Bileşenleri	16
2.2.1. Ana Gövde	17
2.2.2. Güç kaynağı	17
2.2.3. Veri Kaydedici	18
2.2.4. Piranometre	19
2.2.5. Sıcaklık Sensörü	19
2.2.6. Su Soğutma Sistemi	20
2.2.7. Sirkülasyon pompaları	20
2.2.8. Yalıtım	20
2.3. Deneysel Çalışma Prosedürü	21
3. BULGULAR.....	22
3.1. Ölçüm Sonuçları	22
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	32
4.1. Sonuç	33
4.2. Öneriler	34
KAYNAKÇA.....	36
EKLER.....	41

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ana Bilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Ayşe Pınar MERT CÜCE

İkinci Danışman : Doç. Dr. Erdem CÜCE

Hazırlayan : Abdulkadir TONYALI

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 53

ÖZET

DUYULUR ISI DEPOLAMALI GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SU DAMITMA SİSTEMİNİN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Güneş enerjisi destekli tuzdan arındırma sistemleri dünya genelindeki su kaynaklarının azalması ve temiz kullanım suyu eldesi maliyetlerin artması karşısında çevre dostu olması ve düşük maliyeti ile talebini karşılamak hususunda yüksek potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi destekli tuzdan arındırma sistemleri kullanılamayacak durumda olan suyun kullanılabilir hale getirilmesi için en uygun ve ulaşılabilir sistemlerin başında gelmektedir. Tuzdan arındırma sistemlerini geliştirmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu kapsamda, bu çalışmada birinci bölümünde yalıtımsız ve soğutma systemsiz olarak çalışılmış ve umut verici sonuçlar alınmıştır. Güneş enerjili tuzdan arındırma ünitesinin bu aşamasında, tuzdan arındırma sistemi termal olarak yalıtılmıştır ve damıtma miktarını arttırmak için açıklık camına soğutma sistemi uygulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde testler, karakteristik bir karasal iklim için farklı hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. Toplam su üretiminde daha önceki çalışmaya (Cüce vd., 2020b) göre %139' a kadar bir artış olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tek eğimli güneş enerjili damıtma, Su püskürtmeli soğutma, Güneş enerjisi ile damıtma

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Department of Energy Systems Engineering

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ayşe Pınar MERT CÜCE

Second Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Erdem CÜCE

Author : Abdulkadir TONYALI

Year : 2022

Pages : 53

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE PARAMETERS OF A SOLAR DISTILLATION SYSTEM WITH SENSIBLE HEAT STORAGE

Solar powered desalination systems have a high potential to meet the water demand with its environmental friendliness and low cost in the face of the decrease in water resources and increasing costs in the world. Solar powered desalination systems are one of the most suitable and accessible systems for making water that cannot be used. Many studies are carried out to improve desalination systems. In this context, in the first part of this study, it was studied without insulation and cooling system and promising results were obtained. At this stage of the solar desalination unit, the desalination system is thermally insulated and a cooling system is applied to the aperture glass to increase the amount of distillation. In the second part of the study, tests were carried out under different weather conditions for a characteristic continental climate. It has been observed that the total water productivity has increased up to 139% compared to the previous study (Cuce vd., 2020b).

Keywords: Single slope solar distillation, Water jet cooling, Solar distillation

KISALTMALAR

A	: Amper
BM	: Birleşmiş Milletler
DC	: Doğru akım
Doç. Dr.	: Doçent Doktor
Dr. Öğr. Üyesi	: Doktor Öğretim Üyesi
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü
HDH	: Nemlendirme- Nem Alma
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
L	: Litre
m^2	: Metrekare
MD	: Membran Damıtma
MED	: Çok Etkili Damıtma
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
MSF	: Çok Aşamalı Flaş Tuzdan Arındırma
PCM	: Faz değıştiren madde
pH	: Potansiyel hidrojen
Pprc	: Polipropilen Random Kopolimer
Prof.	: Profesör
RO	: Ters Osmoz
RTEÜ	: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
s	: Saniye
V	: Volt
VC	: Buhar sıkıştırma
W	: Watt
XPS	: Ekstrude Polistren Malzeme
\$	: Dolar
°C	: Santigrat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Doğrudan tuzdan arındırma sistemleri	4
Şekil 2. Dolaylı tuzdan arındırma sistemleri	5
Şekil 3. Çok Aşamalı Flaş Tuzdan Arındırma.....	6
Şekil 4. Çok etkili damıtma	7
Şekil 5. Güneş enerjisi ile arıtma sistemi	11
Şekil 6. Tuzdan arındırma sisteminin genel görünümü	13
Şekil 7. Tuzlu su prosesi.....	14
Şekil 8. Termal ısı depolama malzemesi	14
Şekil 9. 20 mm XPS yalıtım	15
Şekil 10. Soğutma suyu akışı.....	16
Şekil 11. Sistem ana gövdesi	17
Şekil 12. Güç kaynağı.....	18
Şekil 13. Veri kaydedici	18
Şekil 14. Piranometre	19
Şekil 15. K tipi sıcaklık Sensörü	19
Şekil 16. Soğutma sistemi genel görünümü	20
Şekil 17. Sirkülasyon pompaları.....	20
Şekil 18. 02/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	22
Şekil 19. 03/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	23
Şekil 20. 08/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	24
Şekil 21. 10/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	25
Şekil 22. 06/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	26
Şekil 23. 07/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	27

Şekil 24. 08/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	28
Şekil 25. 09/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.....	29
Şekil 26. Güneş ışınlamının üretime etkisi.....	30
Şekil 27. Yıllık üretim miktarı.....	31
Şekil 28. Cam iç yüzeyinde asılı kalan damlacıklar	35
Şekil 29. Yoğuşma olmayan ölü bölge	35



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Çeşitli tasarım yönleriyle tek eğimli güneş tuzdan arındırma sistemlerine karşılaştırmalı bir genel bakış	11
Tablo 2. Yalıtım malzemesi termal özellikleri.....	21
Tablo 3. Deneysel çalışmanın ölçüm değerleri	29
Tablo 4. Cihazların belirsizlikleri	41



GİRİŞ

Su iki hidrojen ve bir oksijen atomunun kovalent bağlar ile bağlanması ile oluşmuş moleküler ve kısmi iyonik yapıya sahip tek bileşiktir. Canlı ve cansız tüm varlıklar için evrensel bir çözücü olan su, kimyasal özelliklerinde dolayı en inert çözücüdür. Yüksek özgül ısısı, yüksek buhar basıncı, yüksek kaynama noktası, yüksek yüzey gerilimi gibi fiziksel özellikleri canlıların suda yaşamasına yol açan özelliklerdir. Suyu diğer çözücülerden ayıran olağanüstü özellikleri onun polar özelliğinden, hidrojen bağı oluşturma kabiliyetinden ve düşük molekül ağırlığından ileri gelir. Canlılar için su çok iyi bir inert çözücü olup hayatın suda başladığı bilinir. Termodinamik kurallarına göre enerji ve madde yoktan var olmaz, vardan yok olmadığı için yeryüzündeki su kaynakları sabit olup, bunların kirletilmesi ile suya olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Su, yaşamın devam etmesi için çok önemli bir faktördür. Su o kadar önemlidir ki onsuz bir insan birkaç gün yaşayabilir. İnsan vücudunun yaklaşık yüzde 75'i sudur ve yaşamın devamı ve vücudun homeostazisi için gereklidir (Popkin vd., 2010). Su, insan vücudunun üçte ikisinden fazlasını oluşturur; insan beyninin yüzde 95'i, kanın yüzde 82'si su ve akciğerlerin yüzde 90'ı sudur. Su, dünyadaki her canlı organizma için, özellikle de insan türü için hayati bir bileşendir. Halen temiz suya erişimde sıkıntılar yaşanmaktadır. Su, insan vücudunda kayganlaştırıcı, vücut ısının düzenlenmesi, vücuttaki zararlı toksinlerin atılması ve besin maddelerinin vücutta taşınması gibi bir dizi farklı işlev için kullanılmaktadır. Suyun önemi kritiktir, ancak daha da önemlisi temiz su kavramıdır. Dünyadaki her insanın günlük 20 ile 50 litre suya ihtiyacı olduğu tahmin edilmektedir. Bu temiz su ihtiyacı içme, yemek pişirme, basit hijyen vb. kullanım amaçları için gerekmektedir. Kirlenmiş/sıhhi olmayan suda yetişen ve insan sağlığına zararlı bir dizi farklı bulaşıcı ajan vardır ve bunlar kolera, hepatit, tifo ve ishal gibi bir dizi suyla suyla bulaşan hastalığa neden olabilir. Örneğin, kolera kaynaklı ishalleri hastalıkları ele alalım, bu ajan ve hastalık dünya çapında 1.8 milyon ölümden sorumludur. Bu ölümler, uygun bilgi, eğitim ve uygulanan altyapı ile önlenabilir (Khalifa ve Bidaisee, 2018).

Dünya genelinde temiz su ihtiyacının karşılanamaması küresel bir risk olma yolunda hızla ilerlemektedir. Artan dünya nüfusu yaşam kalitesindeki artış ve sulu tarımın daha da yaygınlaşması küresel su talebinin artmasına neden olmuştur. Dünya

yüzeyinde tüm talepleri karşılayacak kadar su bulunmaktadır. Ancak su ihtiyacının zamana ve mekâna bağlı olarak değişimi su kıtlığının temel sebeplerindendir (Mekonnen vd., 2016). Dünya genelinde yaşanan iklim değişikliklerin neden olduğu kuraklık ve bununla birlikte küresel ölçekte su kaynakları azalmakta ve toprakta kurumalar meydana gelmektedir (Sharma vd., 2018). Su her sektörde temel ihtiyaç olarak kullanılmaktadır. Dünya yüzeyindeki suyun büyük bir bölümü acı, tuzlu, sodalı vb. olması sebebiyle temel ihtiyaçlar için uygun değildir. Gelişen endüstri ve artan nüfus su kaynaklarındaki talebi artırmaktadır. Bundan ötürü suyun tuzdan arındırılarak döngüye kazandırılmasını zorunlu hale gelmektedir (Abd Elbar vd., 2020).

Dünya nüfusunun dörtte biri su elde ederken ekonomik sıkıntılar yaşamaktadır. Bununla birlikte 2030 yılına kadar dünya nüfusunun yarısının su kıtlığı ile mücadele edeceği son istatistiksel çalışmalarda görülmektedir. Araştırmalar ile bunun en önemli nedenleri arasında sanayileşmenin oluşturduğu su kirliliği, yetersi su tasarruf politikaları ve iklim değişikliği gösterilmiştir (Qasim vd., 2019). Son yıllarda tatlı su talebindeki artışı karşılamak üzere tuzdan arındırma yöntemleri daha da önemli hale gelmiştir. Güneş, ısı enerjisi kaynağı oluşturması bakımından yüksek potansiyele sahip ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Güneşin termal enerjisi geniş sıcaklık aralıklarındaki birçok uygulama için en uygun ve sürdürülebilir enerji kaynağıdır (Abed vd., 2020). Fosil yakıt kaynağına bol miktarda sahip olan alanlarda bile fosil yakıt kaynaklarını korumak ve karbon ayak izini sınırlamak için güneş enerjisi ile tuzdan arındırma sistemleri tercih edilir hale gelmiştir (Lienhard vd., 2012).

Kirli su kaynaklarını arındırmanın en kolay yolunun güneş enerjisi olduğu bilinmektedir. Su arıtmada en etkili ve ucuz yöntem ise güneş enerjili su arıtma tekniğidir. Güneş enerjisi kirli sudan saf ve içilebilir su elde etmek için kullanılan doğal ve sürdürülebilir bir yöntemdir (Hebbale ve Pai, 2020). Yakın zamanda tuzdan arındırma sistemlerini konu alan çok sayıda çalışma ortaya konmuştur. Bunlardan başlıca olanları çok etkili damıtma, ters ozmoz, buhar sıkıştırımlı damıtma, elektro-diyaliz ve membran damıtmadır. Bahsi geçen yöntemlerin kullanılması fosil yakıt temelli enerji girdisi oluşturduğu için küresel ısınmaya olumlu etkide bulunup çevre sorunları ve ekolojik tehditler gibi birçok soruna neden olmaktadır. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen sistemlerin kullanılmaması klasik su damıtma sistemlerinin en önemli sorunudur (Yousef vd., 2019).

Birleşmiş Milletler (BM) raporunda, bir yılda bir kişinin su kaynağının 1700 m³'ten az olduğu bölgelerde yaşayanların sayısının %33 olduğunu bu oranın 2025 yılında %66 'nın üzerinde olacaktır. Fosil yakıt bakımından zengin olan bölgelerde karbon ayak izini sınırlandırmak ve kaynakları korumak için güneş enerjili tuzdan arındırma sistemlerine önem verilmektedir (Abed vd., 2020). Güneş enerjisi ile çalışan uygulamalarda su üretim maliyeti 0,0135 ile 0,031 \$/L civarında değişmektedir (Xie vd., 2020).



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Su Arıtma Sistemleri

Su arıtma sistemleri temel olarak incelendiğinde doğrudan ve dolaylı olarak iki temel başlık altında toplanmaktadır. Şekil 1’de doğrudan su arıtma sistemleri görülmektedir (Sharon ve Reddy, 2015). Bu sistemler direkt olarak güneş enerjisi ile arıtma yapmaktadır.



Şekil 1. Doğrudan tuzdan arındırma sistemleri

Şekil 2’de dolaylı arıtma sistemleri görülmektedir (Sharon ve Reddy, 2015). Bu sistemler suyun arıtılmasında güneş haricinde enerji kaynakları kullanmaktadır. Bu sistemlerin üretim kapasiteleri doğrudan arıtmaya göre daha fazladır. Dolaylı arıtma

sistemlerinin kurulum maliyeti ve enerji tüketimi doğrudan arıtmaya göre daha fazladır.

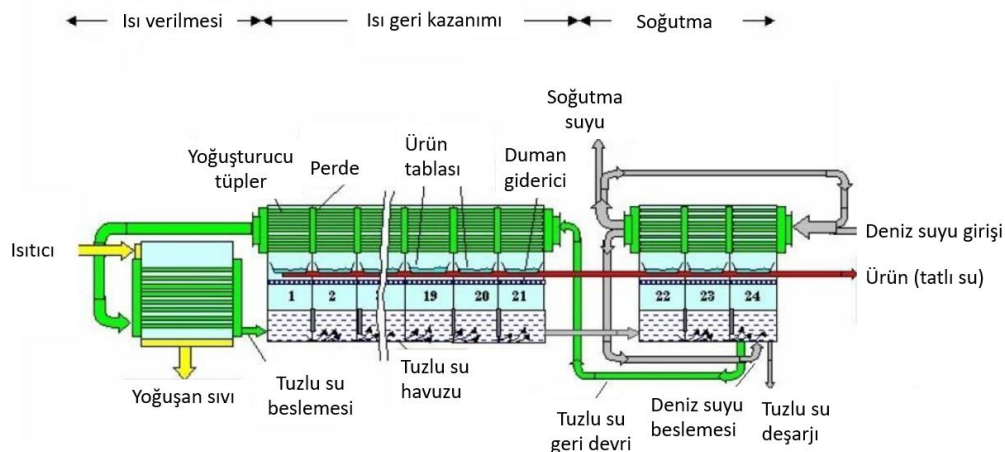


Şekil 2. Dolaylı tuzdan arındırma sistemleri

1.1.1. Çok Aşamalı Flaş Tuzdan Arındırma

Çok aşamalı flaş tuzdan arındırma sistemlerinde (MSF), damıtılmış su üretmek için tuzlu su sırasıyla kaynatılır ve yoğunlaştırılır. Seri bağlı kanallar aracılığıyla tuzlu besleme suyu önceden ısıtılır ve ardından tuzlu su ısıtıcısına girer. Isı enerjisi kullanılarak, tuzlu su ısıtıcısı içindeki ısıtılmış tuzlu su, tuzlu su ısıtıcısınınkinden daha az ortam basıncına sahip bir kaba gönderilir. Tuzlu suyun düşük basınçtan dolayı ani kaynaması buhar oluşumuna neden olur. Su buharı, tuzlu besleme suyunu taşıyan kanallarda yoğunlaşır ve ardından saf su üretilir. Isıtılmış tuzlu suyun küçük bir kısmı

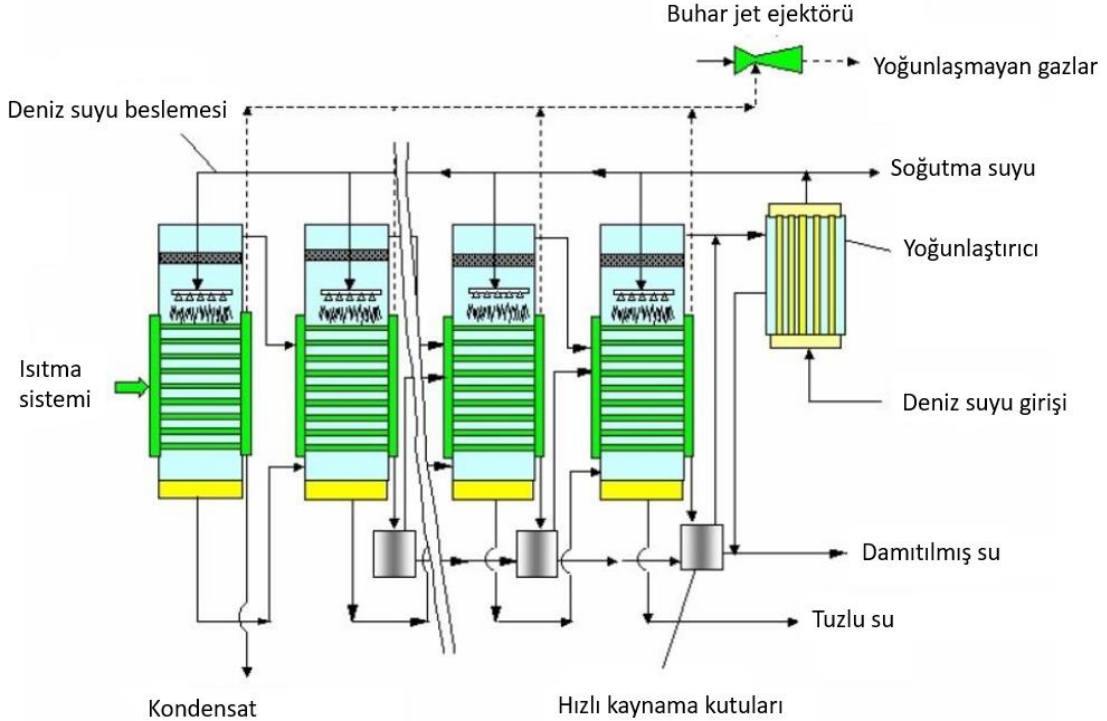
Şekil 3’de görülmekte olan MSF prosesinde su, normal kaynama sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda kaynatılmaktadır. Bu teknik, literatürde hızlı kaynama olarak isimlendirilmektedir. Deniz suyu, seri halindeki kademelere girişine izin verilmeden önce ısıtıcıda ısıtılmaktadır. Bu kademelerde buharlaştırıcı bulunmaktadır. Isıtılmış su bu kademelere girdiğinde hızlı kaynama oluşabilsin diye bu kademeler atmosferik basınca göre azaltılmış basınçta çalıştırılmaktadır. Her kademede üretilen buhar tüplerde yoğunlaştırma ile tatlı suya dönüştürülmekte ve tuzlu sudan ayrı olarak toplanmaktadır. Ardından tüpler ısıtıcıya doğru giden deniz suyu akımıyla serinletilmektedir. Bu da deniz suyunun sıcaklığını arttırmaktadır. Böylelikle ısıtıcı sıcaklığını yükseltmek için ihtiyaç duyulan termal enerji miktarı da azaltılmaktadır. Kademeden kademeye akan tatlı su son kademede ürün olarak toplanmaktadır. Ardından depolama ya da kullanımından önce pH ve sertliğini ayarlamak için kimyasal ilave edilebilir. Çoğu MSF tesisi çift amaçlı olarak işletilmektedir. Hem enerji üretimi hem de su damıtılması aşamalarından oluşmaktadır. Elektrik üretimi sırasında oluşan atık ısı deniz suyunu ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu da yüksek termal verimlilik ve ucuz işletme maliyetleri sağlamaktadır (URL-1, 2020).



Şekil 3. Çok Aşamalı Flaş Tuzdan Arındırma

1.1.2. Çok Etkili Arıtma

Şekil 4’de görüldüğü gibi deniz suyu seri halinde bulunan bir dizi buharlaştırıcıdan geçer. Bir seride üretilen buhar diğer serilerdeki suyu buharlaştırmak için kullanılır. Bu yaklaşım seri halinde yerleştirilen buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcılar tarafından buharlaştırma ısısının tekrar kullanımı esasına dayanır. Üretilen buharın yoğunlaşmasıyla ortaya çıkan buharlaşma ısısı bir sonraki daha düşük sıcaklık ve basınçtaki kademelerdeki tuzlu suyu ısıtmak için kullanılır. Böylelikle ilave ısı gerekmeksizin ilk etkiden sonra suyun çoklu kaynamasına izin verilir. Bu tesislerde deniz suyu birinci etkiye girer ve kaynama noktasına kadar ısıtılır. Tuzlu su, hızlı kaynamayı ve buharlaşmayı desteklemek için ısıtılmış tüplerin üzerine püskürtülür ya da zayıf bir tabaka içerisinde dikey yüzeylere doğru akar. Tüplere aktarılan tuzlu suyun küçük bir kısmı ilk etkide buharlaşır. Diğer kısmı ise birinci etkide üretilen buharla ısıtılan ikinci etkinin uygulandığı tüplere geçer. Buhar yoğunlaşırken verdiği ısıyla diğer kademedeki tuzlu suyun buharlaşmasını sağlar. Şekil 4’de görüldüğü gibi yoğunlaşan su geri döndürülmektedir (URL-1, 2020).



Şekil 4. Çok etkili damıtma

1.1.3. Ters Osmoz

Ters osmoz (RO), deniz suyu veya acı suyun tuzluluk oranının içilebilir tuzluluk aralığına kadar maliyet etkin bir şekilde azaltılmasında kullanılan etkili bir yöntemdir. Osmoz, farklı konsantrasyonlara sahip iki çözelti yarı geçirgen bir zar ile ayrıldığında meydana gelir. Sistemi dengede tutmak için çözücü yarı geçirgen membrandan daha düşük tuz konsantrasyonundan daha yüksek tuz konsantrasyonu tarafına geçer ve her iki taraftaki hacim değişikliklerinden kaynaklanan hidrostatik basınç farkı ozmotik basınca eşit olduğunda denge oluşur. Deniz suyunun tuzdan arındırılması durumunda daha yüksek konsantrasyon tarafı deniz suyu ve daha düşük konsantrasyon tarafı saf sudur. Daha yüksek konsantrasyon tarafına ozmotik basınca eşit bir dış basınç uygulandığında, tuz çözeltisindeki suyun kimyasal potansiyeli yükselir ve çözücü saf su tarafına akar, çünkü artık daha düşük bir kimyasal potansiyele sahiptir. Bu işleme ters osmoz denir. RO uygulamaları çok sayıda ve çeşitlidir. Ters osmoz, deniz suyunun veya acı suyun içme suyu eldesi amacıyla tuzunun giderilmesini, atık su geri kazanımını, yiyecek ve içecek işlemeyi, biyomedikal ayırmaları, içme suyunun ve endüstriyel proses suyunun arıtılmasını içerir. Ayrıca RO, yarı iletken endüstrisinde, enerji endüstrisinde (kazan besleme suyu) ve tıbbi / laboratuvar uygulamalarında kullanılmak üzere ultra saf su üretiminde sıklıkla kullanılır (Dow Tech Manual, 2006).

Osmos, suyun yarı geçirgen bir membranın her iki tarafında ozmotik denge sağlanıncaya kadar, saf su tarafından konsantre çözelti tarafına doğru akması şeklinde açıklanabilir. Sistem denge durumuna geldiğinde membranın her iki tarafında ozmotik basınç aynı olmaktadır. Suyun akış yönünü değiştirmek amacıyla sisteme ozmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanmaktadır. Bu olaya ters ozmos adı verilmektedir (Yalçın, 1998). Ters osmoz üniteleri %50-70 verim ile çalışırlar. Besleme suyunun işlenmesi sonucu ortalama %60 kullanım suyu ve %40 atık su oluşmaktadır (Udeh, 2004).

1.1.4. Mebran Damıtma

Membran Damıtma (MD), yalnızca buhar moleküllerinin mikro gözenekli bir hidrofobik zardan geçtiği, termal olarak yönlendirilen bir ayırma işlemidir. MD prosesindeki itici güç, hidrofobik membran boyunca sıcaklık farkının neden olduğu

buhar basıncı farkıdır. Bu işlemin tuzdan arındırma, atık su arıtma ve gıda endüstrisi gibi çeşitli uygulamaları vardır (Alkhudhiri, 2012). Mevcut deniz suyunu tuzdan arındırma ile ilgili sorunlara alternatif bir çözüm olarak membran damıtma işlemleri termal bir süreç olan, sıvı besleme yerine sadece su buharının geçişine izin veren gözenekli hidrofobik membranların kullanım prensibine dayanır (Alftessi, vd., 2022). Membran damıtma, damıtma ve membran tuzdan arındırma kavramını birleştiren termal olarak yürütülen bir tekniktir. Son zamanlarda, düşük sıcaklık gereksinimi, kirlenme ve kireçlenmeye karşı direnç, kimyasal ön arıtmanın ortadan kaldırılması ve depolamadan aralıklı çalışma imkanı gibi faydaları nedeniyle ilgi çekmeye başlamıştır. MD işlemlerinde, ısıtılmış besleme suyu hidrofobik membranın bir tarafında akar. Membran boyunca buhar basıncı farkından dolayı, su buharı nüfuz eder ve membranın diğer tarafında yoğunlaşır (Koschikowski vd., 2009).

1.1.5. Elektrodializ

Elektrodializ bazlı tuzdan arındırma genellikle acı su veya atık suyun arıtılması için kullanılır. Bu yöntemde, elektrodializ hücresine bir DC akımı verilir. Negatif iyonlar anoda doğru hareket ederken, suda bulunan pozitif iyonlar katoda doğru hareket eder. Bir elektrodializ yığnında, bu tür hücrelerin birkaçı, akış ayırıcılarla ayrılan akışa paralel olarak yerleştirilir. Alternatif ayırıcılardaki akıntılar seyreltilmiş ve konsantre su içerir (Reahl , 2006).

1.1.6. Nemlendirme – Nem Alma

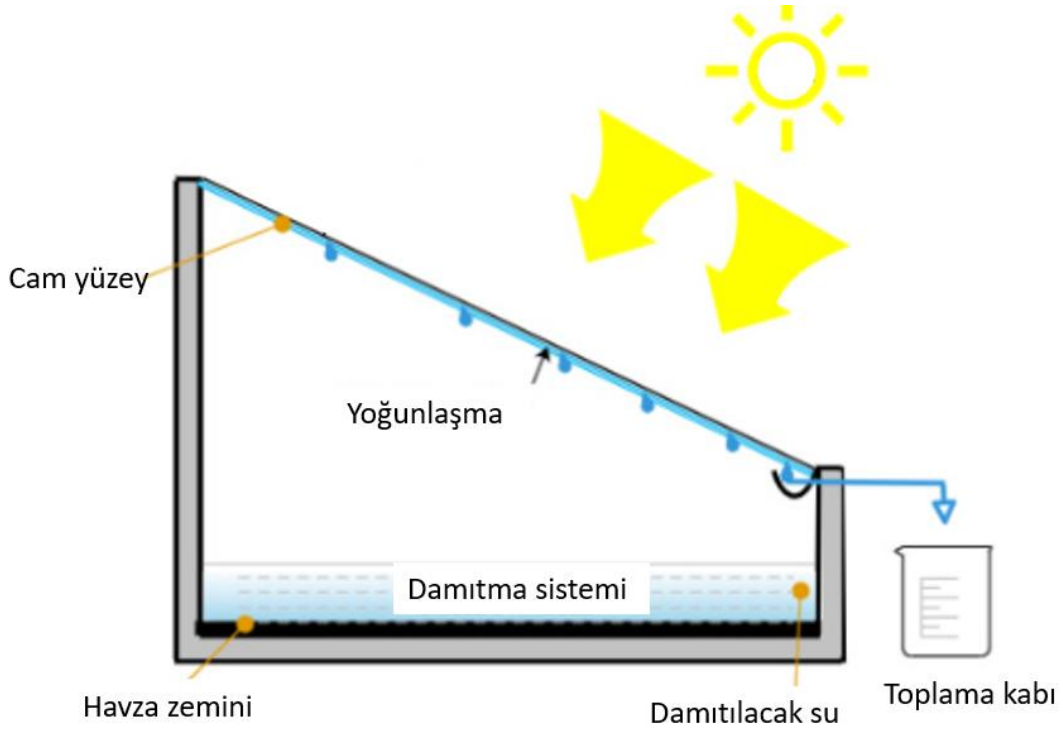
Nemlendirme- Nem Alma (HDH) tuzdan arındırma konseptinde kuru sıcak hava nemlendirme için tuzlu su üzerinden geçirilir. Bu nemli hava daha sonra su elde etmek için soğuk bir yüzey üzerinde yoğunlaştırılır. Bu konsept, Sahra Çölü bölgesinde sabah çiyinin toplanması ve klima ünitelerinin soğutma bobinlerinden yoğunlaşmış suyun toplanmasında kullanılmaktadır (Khalil, 1993). Basit HDH damıtma sisteminin ilk temel bileşeni, püskürtülen suyu buharlaştıran nemlendiricidir (evaporatör). İkinci bileşen ise nemlendiriciden gelen buharı yoğunlaştıran nem gidericidir (kondenser). Yoğuşma suyu kondenser tabanından toplanır. Ayrıca ortaya çıkan buhar, sistemin taşıyıcı gazı olarak kabul edilen hava yoluyla nemlendiriciden nem alma cihazına çekilir (Essa, v.d., 2020).

1.1.7. Buhar Sıkıştırma

Buhar sıkıştırma deniz suyunu tuzdan arındırma sistemi, esas olarak bir deniz suyu besleme ünitesi, çoklu evaporatörler, bir buhar ejektörü ve bir kondansatörden oluşur. Deniz suyu, paralel borularda deniz suyu ve ısıtma buharı arasındaki ısı değişimi ile kondenserlerde beslenir. Kondenserdeki bu ön işlem sırasında, besleme deniz suyunun küçük bir miktarı soğutma suyu olarak kullanılırken, ana kısım, deniz suyunun su buharına buharlaşmak üzere ısıtıldığı çoklu evaporatörlerin her ikisine de püskürtülür. Üretilen buhar daha sonra, besleme deniz suyu ile ısı alışverişi nedeniyle damıtılmış suya yoğunlaşacak olan paralel yatay borular içinde ısıtma sıvıları olarak çalışan çoklu evaporatörlerin bir sonraki etkisine girer. Besleme deniz suyunun kalan sıvısı, sistemden boşaltılmak üzere tuzlu su olarak işlenir (Wen, vd., 2020).

1.1.8. Güneş Enerjisi ile Arıtma

Tuzlu/acı suyun güneş ile arıtılması, tatlı su elde etmek için yaygın olarak kullanılan alternatif tekniklerden biridir. Güneş enerjisi ile arıtma sisteminin şematik görünümü Şekil 5’te verilmiştir (Shoeibi vd., 2022). Güneş enerjisi, damıtma ünitesinin muhafazası içerisine iletilir ve siyah yüzeye (havza astarı) ulaşır ve böylece termal enerji su kütlesine aktarılır. Buharlaşan su, cam kapağın iç yüzeyinde yoğunlaşır ve cam kapağın alt ucunda toplanır. Damıtma sistemi, güneş ışınımını emerek buhardan tatlı su elde etmek için kullanılır. Buhar, cam kapak iç yüzeyinde yoğunlaşır ve kanaldan aşağı damlar ve yoğunlaşan su kullanım için bir depoda toplanır (Kumar vd., 2021).



Şekil 5. Güneş enerjisi ile arıtma sistemi

1.2. Literatür Özeti

Güneş enerjisi ile tuzdan arındırma, temiz su üretmek için en uygun seçeneklerden biridir. Güneş enerjisi ile tuzdan arındırma sistemlerinin en büyük dezavantajı, itici güç (güneş enerjisi) kesintisi ve cihazın düşük verimidir. Su ısıtıcısı, bileşik parabolik yoğunlaştırıcı, fitil malzemesi, duyulur ve gizli enerji depolama malzemeleri, nanoakışkan, gibi güneş enerjisi ile tuzdan arındırma sistemlerinin su verimini artırmak için çeşitli tasarım modifikasyonları kullanılmıştır. Tablo 1’de güneş enerjisi ile tuzdan arındırma sistemlerinde yapılan iyileştirmeler ve verimlilik değerleri görülmektedir (Thakur vd., 2021).

Tablo 1. Çeşitli tasarım yönleriyle tek eğimli güneş tuzdan arındırma sistemlerine karşılaştırmalı bir genel bakış

Tek Eğimli	Verimlilik	Karakteristik çıktılar	Yazar
Sabit Sistemler			
Yoğuşma boşluğu	4,530kg/0,32m ² /gün	Yoğuşma boşluğu bir iç soğutucu görevi görerek üretimi artırdı.	Mohaisen v.d. (2020)
PCM	PCM ile:675kg/yıl	Zemin PCM ile kaplanarak enerji depolandı.	Yousef v.d. (2020)

Tablo 1 (Devam). Çeşitli tasarım yönleriyle tek eğimli güneş tuzdan arındırma

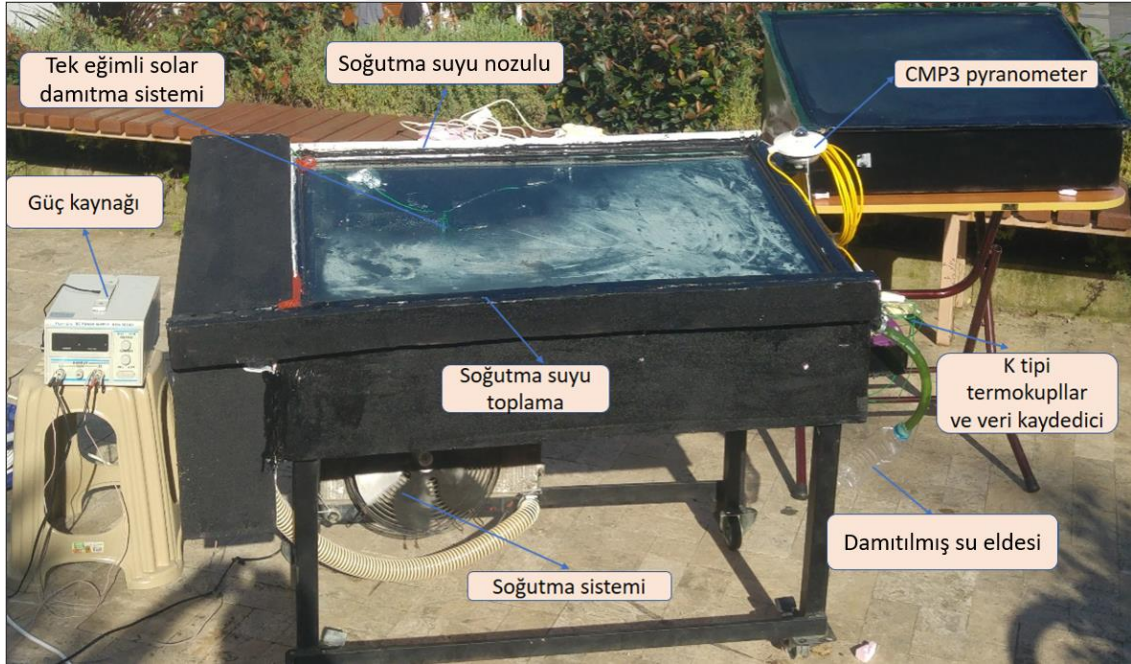
PCM	PCM ile: 7,54 l/m ² /gün PCM olmadan: 4,51 l/m ² /gün	Zeminin altı parafin ile kaplanarak günbatımı için ısı depolanması sağlandı.	Kabeel v.d. (2016)
Fitul	7,17 kg /m ² / gün	Isı transferi artırılması	El-Agouz v.d. (2015)
Isı depolama	Kumtaşı: 3,9 kg /m ² / gün Mermer: 3,41 kg /m ² / gün Yanlış: 3 kg /m ² /gn	Farklı türde ısı depolama malzemesi entegre ederek güneş batınca üretimin devamı sağlandı.	Panchal v.d. (2018)
Kanatçık	Dairesel kanatçık: 3,99kg/m ² / gün Kare kanatçık: 4,253 kg /m ² / gün	Su havzasına eklenen kanatçık şekline bağlı olarak yüzey alanı artırıldı.	Rajaseenivasan ve Srithar (2016)
Nanoakışkan	Geleneksel: 655ml/0,25m ² /gün Al ₂ O ₃ : 935ml/0,25m ² /gün ZnO: 750 ml /0,25m ² /gün SnO ₂ : 805 ml /0,25m ² /gün	Farklı türlerde nanopartikül eklenerek su ısı iletkenliği artırıldı	Elango v.d. (2015)
Reflektör	4,2 l /m ² /gün	Sisteme akrilik ayna yerleştirilerek daha fazla güneş ışığı yansıtıldı.	Shanmugan v.d. (2008)
Emici	Peçete: 2,5 l / 0,75m ² / gün Polistiren sünger: 3,14 5 l / 0,75 m ² / gün Su mercan polar: 3,645 l / 0,75 m ² / gün	Kullanılan malzemelerdeki soğurma, kılcal yükselme, gözeneklilik, su iticilik gibi özellikleri ile ısı iletkenlik artırdı.	Hansen v.d. (2015)
Dönen fitil	Yaz: 7,17 kg/m ² / gün	Isınan fitil yüzeyinde buharlaşma olmaktadır ayrıca ısınan fitil sıcaklığını dönüş esnasında suya aktarır.	Haddad v.d. (2017)
Kollektör ve ısı depolama	Yaz: 6,03 kg/m ² / gün Kış: 2,77 kg/m ² / gün	Parabolik ve düz kolektör ile havza suyu ısıtıldı ve havza içerisinde bulunan cam bilyeler ile ısı depolama sağlandı.	Madiouli v.d. (2014)
Fan	4,48 l /m ² / gün	Suyun sirküle edilmesi ve ısının eşit dağılımını sağlandı.	Joy v.d. (2018)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, güneş enerjili tuzdan arındırma sisteminin performans parametrelerinin incelenmesi ve performans arttırıcı uygulamaların araştırılması amacıyla bir sistem tasarlanmış ve söz konusu sistemin performans parametreleri deneysel olarak incelenmiştir.

2.1. Deney Düzeneğinin Tanımı

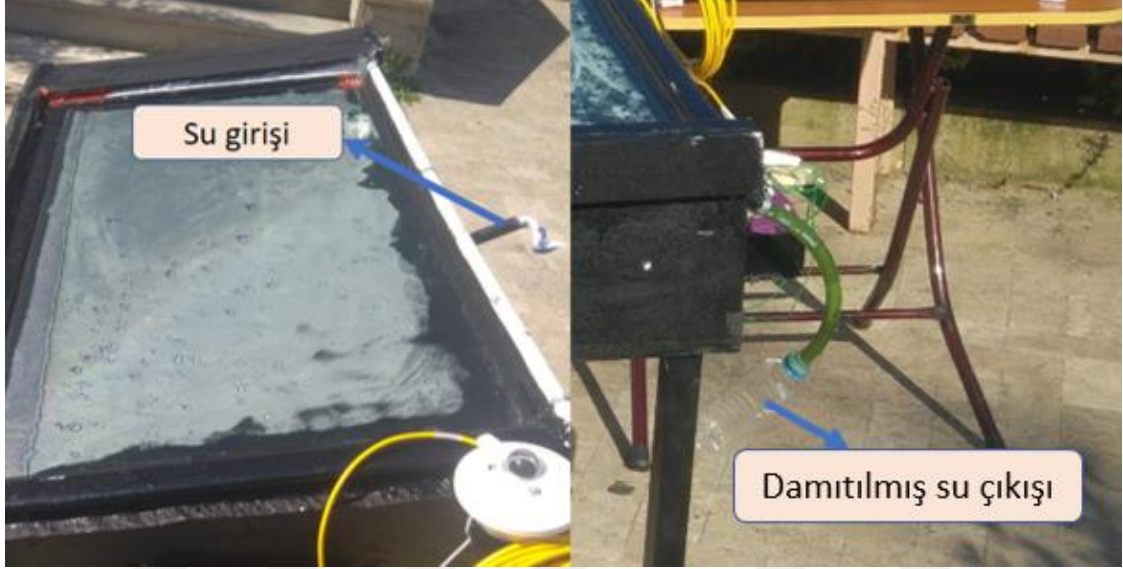
Bu çalışmada, güneş enerjisi destekli su damıtma sistemi tasarlanmış ve imal edilen deney düzeneği ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney düzeneği Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Düşük/Sıfır Karbon Enerji Teknolojileri Laboratuvarı'nda kurulmuştur. Deneyler 02/09/2020-09/10/2020 tarihleri arasında, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Kampüs alanında dış ortam koşullarında test edilmiştir. Dış ortam testlerinde her deney için aynı şartlar sağlanarak ölçümler kaydedilmiştir.



Şekil 6. Tuzdan arındırma sisteminin genel görünümü

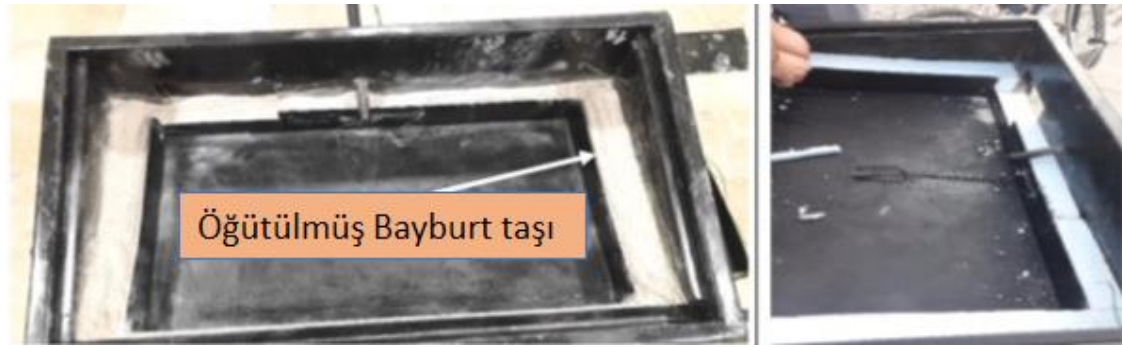
Şekil 6'da deney düzeneğinin genel görünümü verilmiştir. Tek eğimli damıtma sisteminde soğutma sisteminin yerleşimi, veri kaydetme düzeneği ve sistemin enerji ihtiyacını karşılayan güç kaynağı Şekil 6'da görülmektedir. Sistemin konstrüksiyonunda 1mm et kalınlığında sac kullanılmıştır. Sistemin güneş

enerjisinden maksimum seviyede istifade edebilmesi için tüm yüzeyler ısıya dayanıklı siyah mat boya ile boyanmıştır. Sistem Şekil 7’de görüldüğü gibi taban suyunu beslemek için bir su girişi ve damıtılmış suyun toplanması için çıkışa sahiptir. Sistemin su girişi Şekil 7’de görüldüğü gibi kapatılarak içerideki ısıнын dışarı çıkışı engellenmiştir. Su girişi sadece su ekleneceği zaman açılmaktadır.



Şekil 7. Tuzlu su prosesi

Sistemin gün içerisinde enerji depolayabilmesi ve gün batımından sonra sistemin çalışmasına devam edebilmesi için Şekil 8’de görüldüğü gibi havza tabanı ve yanları Bayburt taşı adı verilen termal enerji depolama malzemesi ile kaplanmıştır.



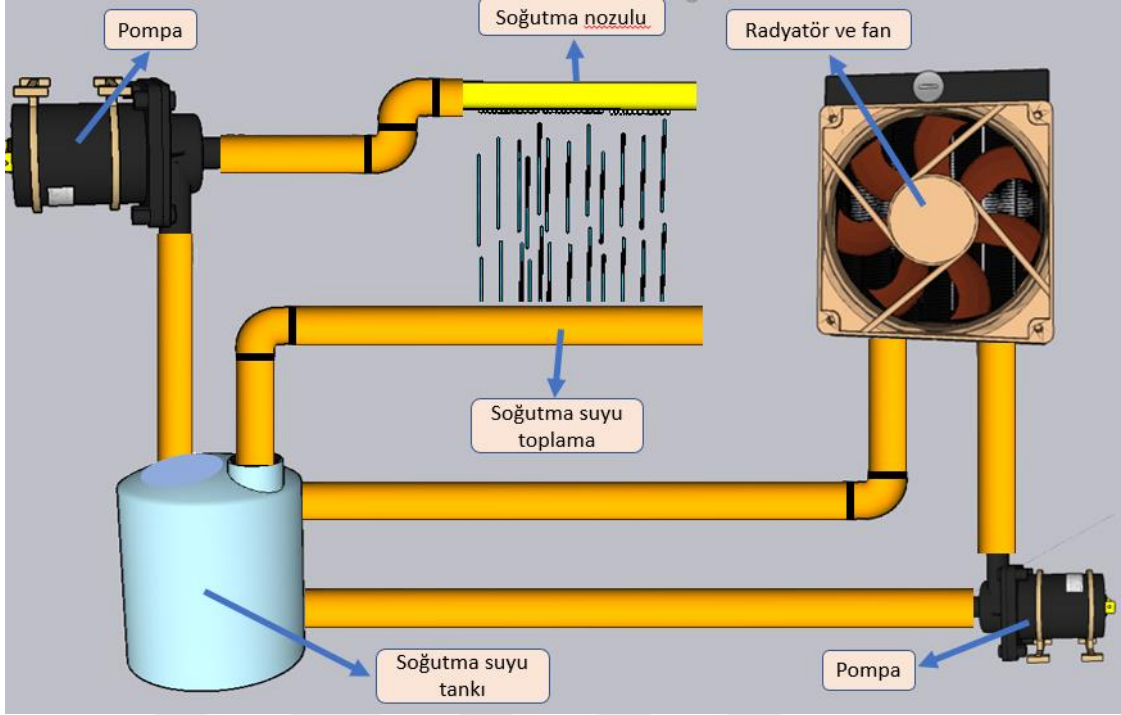
Şekil 8. Termal ısı depolama malzemesi

Sistem içerisinde oluşan yüksek sıcaklığın dış ortama çıkışını azaltmak ve gün batımından sonra depolanan termal enerjinin etkinliğini arttırmak için Şekil 9’da görüldüğü gibi sistemin üst camı dışındaki her noktası yalıtılmıştır. Bu sayede tüm enerjinin sistemde hapsolmesi amaçlanmıştır.



Şekil 9. 20 mm XPS yalıtım

Sistem tasarımındaki iyileştirmelerden bir diğeri de cam yüzeyinde yapılan soğutma işlemidir. Şekil 10’da soğutma sisteminin işleyişi görölmektedir. Cam üst yüzeyinde bulunan Pprc boru üzerindeki delikler ile su verilmektedir. Su cam yüzeyinde akışı esnasında cam ısınısını alarak toplama kanalı ile tanka gelmektedir. Tank suyu Şekil 10’da göröldüğü gibi bir radyatör, fan ve pompa düzeneği ile sürekli soğultmaktadır. Cam sıcaklığı yükselince su tank içerisinde bulunan diğeri bir pompa ile tekrar Pprc boruya gönderilmektedir.



Şekil 10. Soğutma suyu akışı

Yapılan çalışma kapsamında cam iç yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, havza suyu sıcaklığı, havza yüzey sıcaklığı, havza zemin sıcaklığı, ısı depolama malzemesi sıcaklığı, damıtılmış su sıcaklığı ve güneş ışıınım değeri ölçülmüştür. Alınan veriler veri kaydedici ile kayıt altına alınmıştır. Işıınım değeri hassasiyeti yüksek olan CMP3 piranometre ile ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümünde teflon kaplamalı K tipi ısııl çiftler (termokuplar) kullanılmıştır. Su sirkülasyonu için 12V’luk iki adet pompa kullanılmıştır. Soğutma sistemi için 400mmx300mm radyatör ve fan kullanılmıştır. Soğutma suyu radyatör hortumu üzerinde bulunan pompa ile sürekli soğutulmaktadır. Su deposunda bulunan pompa ise cam ısındığı zaman aktif edilerek soğutma sağlanmaktadır. Cam yüzeyinde ısınan su toplama kanalı ile depoya aktarılarak tekrar soğutulmaktadır. Yapılan çalışmalar Rize ilinde 09:00-20:00 saatleri arasında kayıt altına alınmıştır.

2.2. Deney Düzenekinin Bileşenleri

Deney düzeneğinin temel kısımları ana gövde, güç kaynağı, veri kaydedici, piranometre, sıcaklık sensörü, soğutma sistemi, sirkülasyon pompaları ve yalıttır. Aşağıdaki başlıklar altında bileşenlerin özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.2.1. Ana Gövde

Tasarlanan çalışmada ilk olarak 1 mm et kalınlığında sac kullanılarak 1000 mm uzunluğunda 500 mm genişliğinde bir havza oluşturulmuştur. Bu havzanın ek yerlerin dış ortam ile hava akışını kesmek için kaynak yapılarak sızdırmazlığın temin edilmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu havzanın içerisine 800 mm uzunluğunda 400 mm genişliğinde daha kck bir havza yerleştirilmiştir. Bu iki havza arasında 10 cm boşluk olacak şekilde sabitlenmiştir. Sistemin ana gövdesini oluşturan havzaya 1 m yüksekliğinde metal ayaklar kaynak yapılmak suretiyle sabitlenmiştir. Sistemin kolay taşınabilmesi ve konumlandırılabilmesi için sisteme hareketli tekerlekler monte edilmiştir. Havzalar asındaki boşluk Bayburt Taşı ile doldurulmuştur. Daha sonra doldurulan bölümün üzeri kapatılarak ısıya dayanıklı silikon ile yalıtılmıştır. Sistemin st yüzeyine 8 mm kalınlığında cam yerleştirildi. Isı transferini engellemek için yalıtımlı silikon ile sabitlenerek sızdırmazlığı sağlanmıştır. şekil 11’de üretilen ana gövdenin son hali görülmektedir.



şekil 11. Sistem ana gövdesi

2.2.2. Güç kaynağı

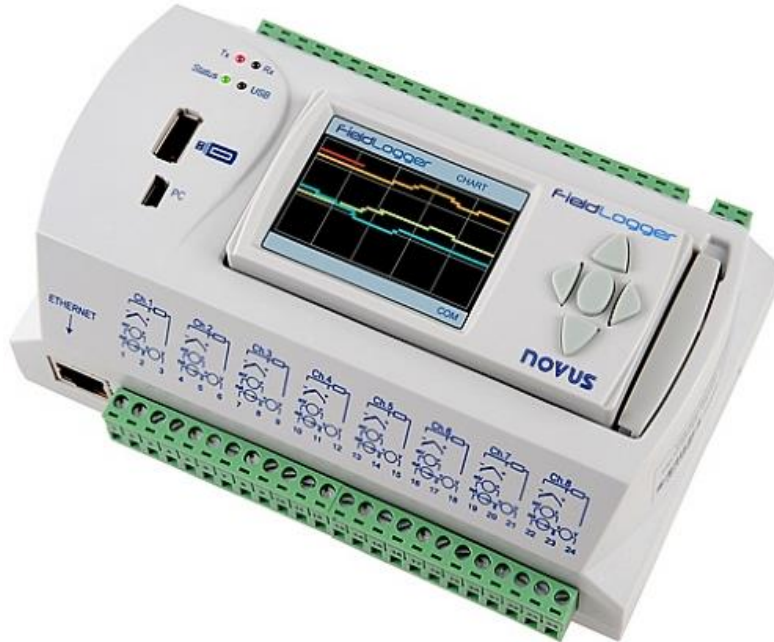
Sistemde 0-30 V, 0-20 A aralığında çalışabilen ayarlı DC güç kaynağı kullanılmıştır. Güç kaynağı ile sistemde kullanılan pompalar kontrol edilmiştir. Kullanılan güç kaynağı şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 12. Güç kaynağı

2.2.3 Veri Kaydedici

Deneyler sırasında, alınan verileri düzenli olarak kaydetmek için 8 kanallı bir veri kaydedici kullanılmıştır. Sistemin anlık durumu cihaz üzerinden gözlemlenmiştir. Kaydedilen veriler bir bilgisayar ile kontrol edilmiştir. Kullanılan veri kaydedici Şekil 13’de görülmektedir.



Şekil 13. Veri kaydedici

2.2.4. Piranometre

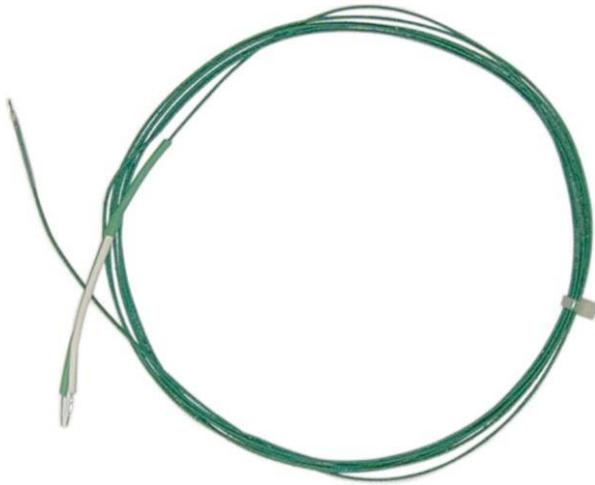
Deneyler sırasında güneş ışınımını ölçmek için piranometre kullanılmıştır. Piranometre üzerine düşen güneş ışınımı ile sinyaller oluşturmakta ve bu sinyaller veri kaydedici tarafından kaydedilmiştir. 10 mW hassasiyetinde 2000 W'a kadar ölçüm aralığı bulunmaktadır. Şekil 14'de deneylerde kullanılan Piranometre görülmektedir.



Şekil 14. Piranometre

2.2.5. Sıcaklık Sensörü

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde 7 adet K tipi sıcaklık sensörü kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Kullanılan sensörler 0.05°C hassasiyet ile 204°C ye kadar ölçüm yapabilmektedir. Şekil'15 de deneylerde kullanılan sıcaklık sensörü görülmektedir.



Şekil 15. K tipi sıcaklık Sensörü

2.2.6. Su Soğutma Sistemi

Şekil 16'da cam soğutma suyunun soğutma sistemi görülmektedir. Cam yüzeyinde soğutucu akışkan olarak kullanılan suyu soğuk tutmak amacıyla 30 cm yüksekliğinde alüminyum radyatör kullanılmıştır. Ayrıca radyatörden havaya ısı transferini hızlandırmak amacıyla bir fan kullanılmıştır.



Şekil 16. Soğutma sistemi genel görünümü

2.2.7. Sirkülasyon pompaları

Sistemde radyatöre suyu basmak ve camın soğutmasında kullanılmak üzere 2 adet dalgıç pompa kullanılmıştır. 24 V'luk ve 800 L/s debideki pompa, ayarlı güç kaynağı ile cam soğutma sisteminin beslemesinde kullanılmıştır. 120 L/s debideki diğer pompa ise soğutma haznesi ile radyatör arasındaki su sirkülasyonu sağlanmıştır. Kullanılan pompalar Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. Sirkülasyon pompaları

2.2.8. Yalıtım

Sistemde depolanan ısı enerjisinin uzun süre muhafaza edilebilmesi amacıyla 20mm kalınlığında XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. XPS yalıtım malzemesi ve

haznenin birleştirilmesi yalıtımlı silikon ile sağlanmıştır. Yalıtım malzemesinin özellikleri tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yalıtım malzemesi termal özellikleri

Özellikler	
Kalınlık	20 mm
Termal iletkenlik	0,028 W/m.K
Termal iletkenlik direnci	0.030- 0.034 ($m^2.K$)/W
Yanma direnci sınıfı	E sınıfı
Yoğunluk	25-28 kg/ m^3

2.3. Deneysel Çalışma Prosedürü

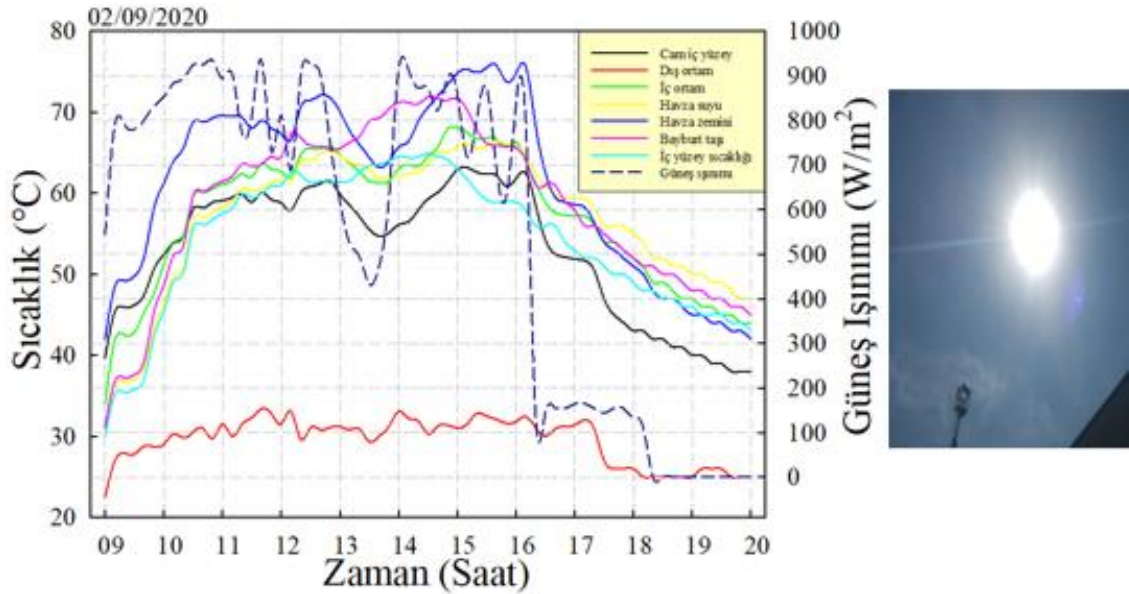
Deneysel çalışmalara başlamadan önce üretilen deney düzeneği, kararlı bir şekilde çalışıp çalışmadığını gözlemlemek amacıyla kararlı durum testleri gerçekleştirilerek sistemde kullanılan sensörler kalibre edilmiştir. Düzeneğin havzası ve su sirkülasyon sistemindeki sızdırmazlık kontrolü yapılmış ve akabinde sistemin kararlılığı test edilmiştir. Sistemin kararlılığı test edildikten sonra testlere başlanmıştır. Yapılan çalışmada güneş ışınımı siyah zeminde emilerek havza suyunu ısıtmaktadır. Isınan havza ile havza etrafına yerleştirilen Bayburt taşı ısıtarak enerji depolamaktadır. Bayburt taşı ile depolanan enerji havza iç sıcaklığında regülasyon yapmakta ve gün batımının ardından havzayı sıcak tutarak su damıtımının devamlılığını sağlamaktadır. Sistemde tüm kontroller yapıldıktan sonra havzaya su eklenerek sistemi dış ortam testlerine hazırlanmıştır. İlk olarak deney düzeneği su soğutmasız olarak test edilmiştir. Soğutma sistemi aktif olmadan yapılan testler tekrarlanmıştır. Yapılan testler farklı hava koşullarında tekrarlanarak sistem performansı değerlendirilmiştir. Testler cam soğutma sisteminin aktif edilmesi ile tekrarlanmıştır.

3. BULGULAR

Yapılan çalışmada günlük olarak güneş ışıınımı, damıtılan toplam su miktarı, cam iç sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, havza suyu sıcaklığı, havza zemini sıcaklığı, ısı depolama malzemesi sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. 09:00 – 20:00 saatleri arasında alınan verilere ait grafikler tarih bazlı verilmiştir.

3.1. Ölçüm Sonuçları

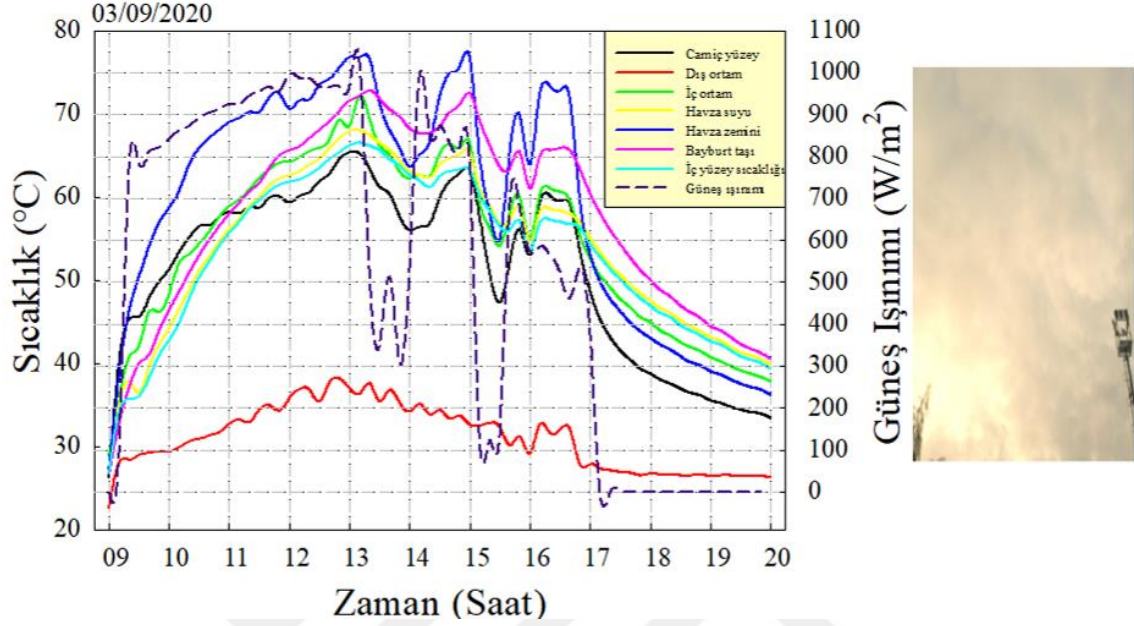
02/09/2020 tarihinde güneşli açık hava koşullarında yapılan test sonuçları Şekil 18’ de görülmektedir. Yapılan çalışmada sistemin güneşlenme süresi boyunca ortalama 650 W/m^2 güneş ışıınımı ile 521 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam edilmiştir. Sistem güneş ışıınımı olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 198mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 719 mL suyun %27,5’i depolanan ısı ile üretilmiştir.



Şekil 18. 02/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı.

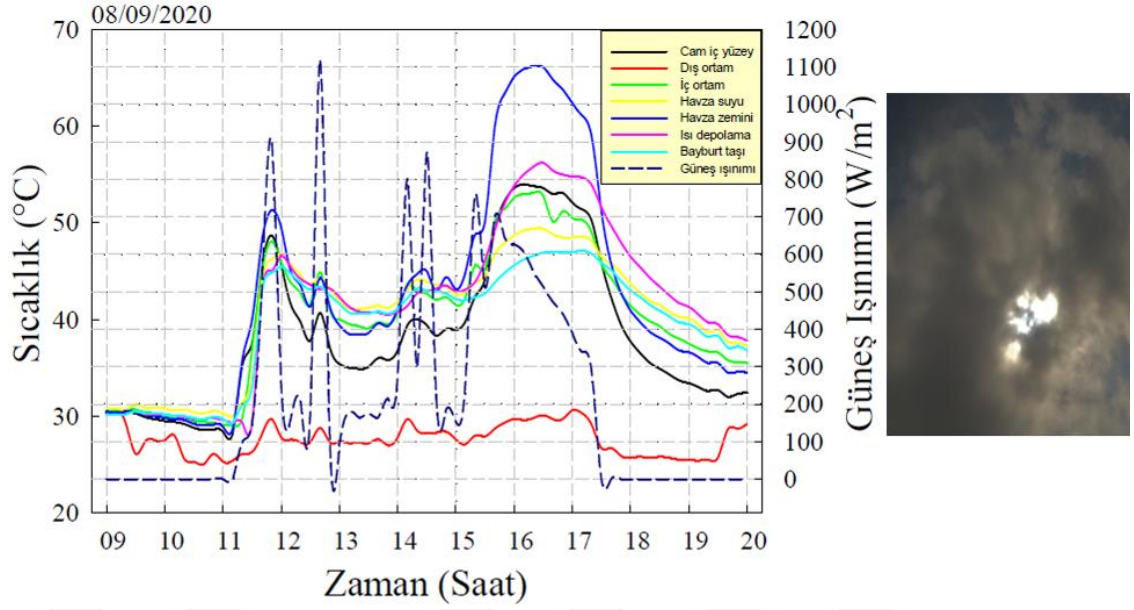
03/09/2020 tarihinde parçalı bulutlu hava koşullarında yapılan test sonuçları Şekil 19’da görülmektedir. Yapılan çalışmada güneşlenme süresi boyunca ortalama 711 W/m^2 güneş ışıınımı ile 485 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam etmiştir. Sistem güneş ışıınımı

olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 165 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 650 mL suyun %25,4'ü depolanan ısı ile üretilmiştir.



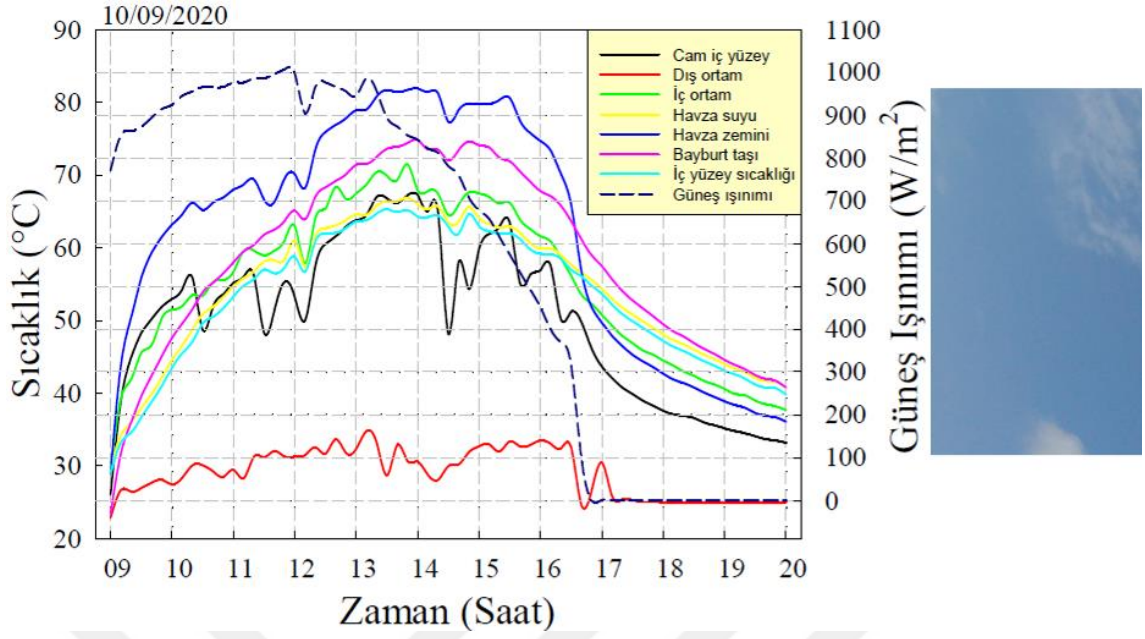
Şekil 19. 03/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı

08/09/2020 tarihinde kapalı ve ardından parçalı bulutlu hava koşullarından yapılan test sonuçları Şekil 20'de görülmektedir. Yapılan çalışmada güneşlenme süresi boyunca ortalama 286 W/m^2 güneş ışıması ile 289 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam etmiştir. Sistem güneş ışıması olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 179 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 468 mL suyun %27,7'i depolanan ısı ile üretilmiştir.



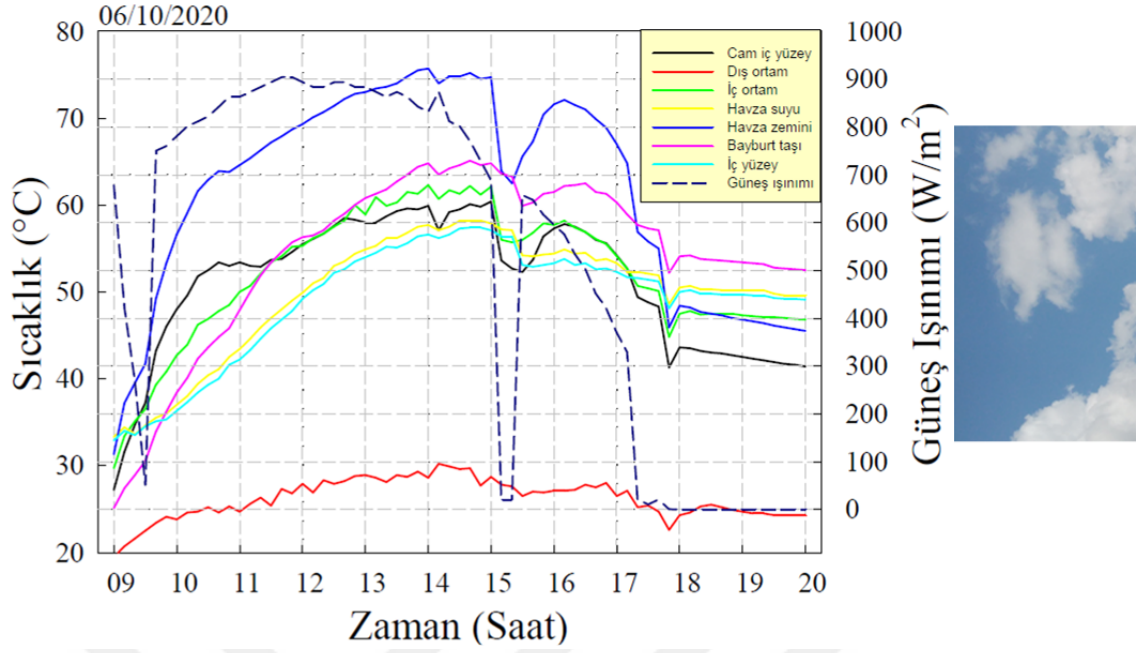
Şekil 20. 08/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı

10/09/2020 bulutlu hava koşullarında yapılan test sonuçları Şekil 21’de görülmektedir. Yapılan çalışmada güneşlenme süresi boyunca ortalama 808 W/m^2 güneş ışınlamı ile 670 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam etmiştir. Sistem güneş ışınlamı olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 237mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 907 mL suyun %26,1’i depolanan ısı ile üretilmiştir. Bulutlu havada ortalama 30.5°C hava sıcaklığında ölçümler yapılmıştır.



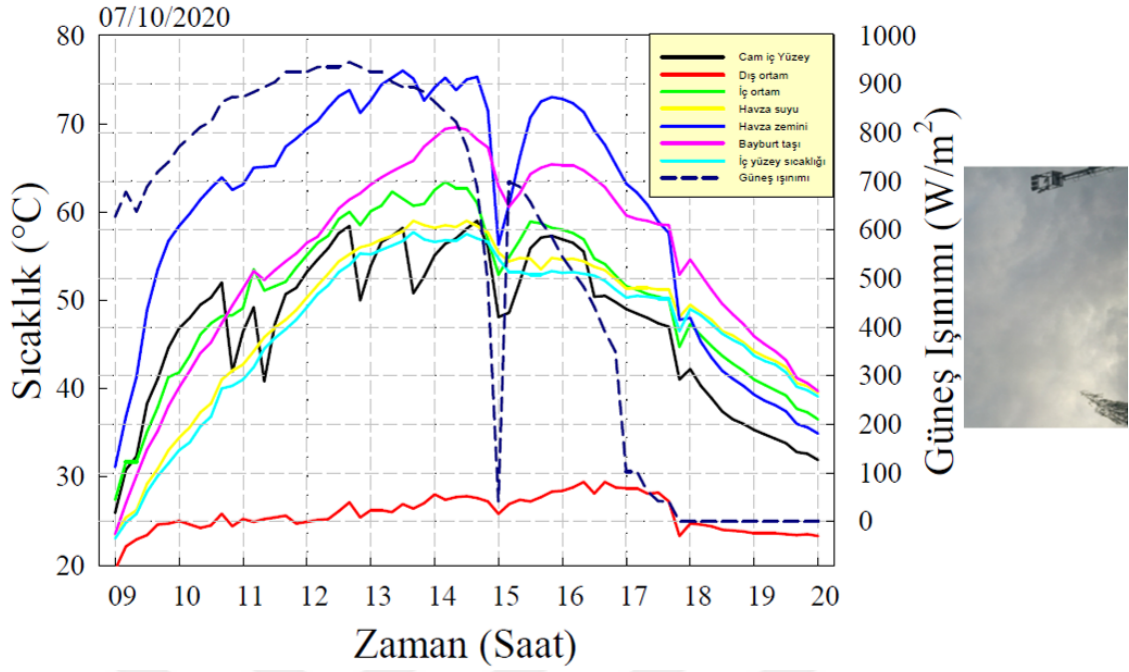
Şekil 21. 10/09/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı

06/10/2020 tarihinde güneşli parçalı bulutlu hava koşullarında yapılan test sonuçları Şekil 22’de görülmektedir. Yapılan çalışmada güneşlenme süresi boyunca ortalama 660 W/m^2 güneş ışınımı ile 340 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam etmiştir. Sistem güneş ışınımı olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 211 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 551 mL su depolanan ısı ile üretilmiştir. Güneşli parçalı bulutlu bir havada ortalama 26.6°C hava sıcaklığında ölçümler yapılmıştır.



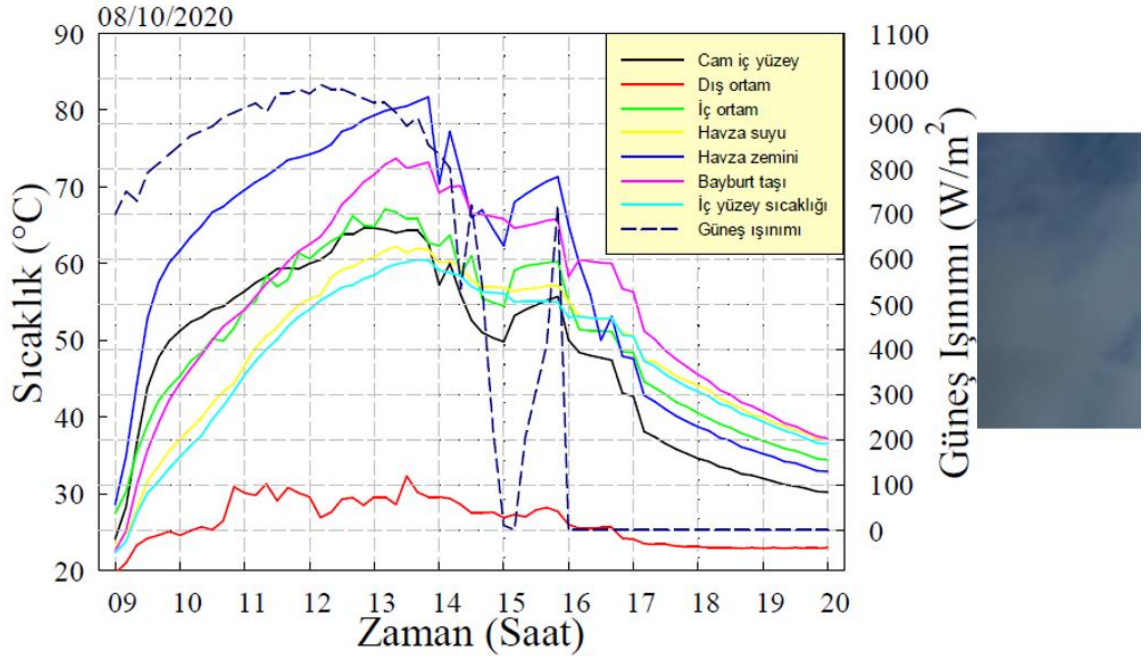
Şekil 22. 06/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı

07/10/2020 açık parçalı bulutlu hava koşullarında yapılan test sonuçları Şekil 23'de görülmektedir. Yapılan çalışmada güneşlenme süresi boyunca ortalama 684 W/m^2 güneş ışıması ile 444 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam etmiştir. Sistem güneş ışıması olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 188 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 632 mL suyun %29,7'si depolanan ısı ile üretilmiştir. Güneşli, açık parçalı bulutlu bir havada ortalama 26.2°C hava sıcaklığında ölçümler yapılmıştır.



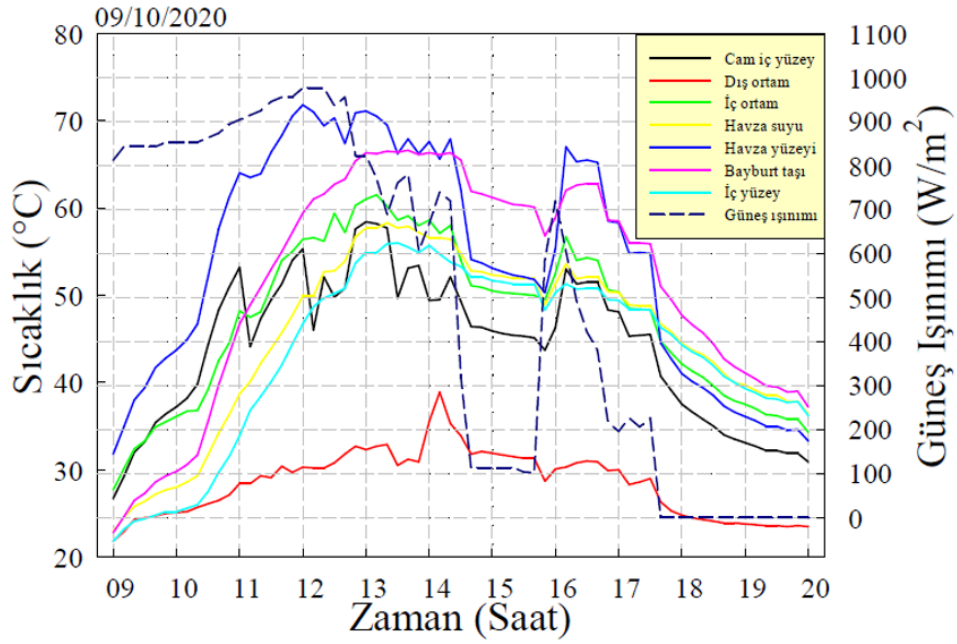
Şekil 23. 07/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı

08/10/2020 tarihinde parçalı bulutlu hava koşullarında yapılan test sonuçları Şekil 24’ de görülmektedir. Yapılan çalışma da güneşlenme süresi boyunca ortalama 768 W/m^2 güneş ışıması ile 401 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam etmiştir. Sistem güneş ışıması olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 237 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 638 mL suyun %37,1’i depolanan ısı ile üretilmiştir. Ortalama 27.7°C hava sıcaklığında ölçümler yapılmıştır.



Şekil 24. 08/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı

09/10/2020 tarihinde parçalı bulutlu havada yapılan test sonuçları Şekil 25’de görülmektedir. Yapılan çalışma da güneşlenme süresi boyunca ortalama 641 W/m^2 güneş ışınımı ile 432 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Sistem daha sonra gölgeye alınarak depoladığı ısı ile üretime devam etmiştir. Sistem güneş ışınımı olmadan bir gece boyunca depoladığı enerji ile 180 mL damıtma yaptığı görülmüştür. Toplamda damıtılan 612 mL suyun %29,4’ü depolanan ısı ile üretilmiştir. Güneşli parçalı bulutlu havada ortalama 29.6°C hava sıcaklığında ölçümler yapılmıştır.

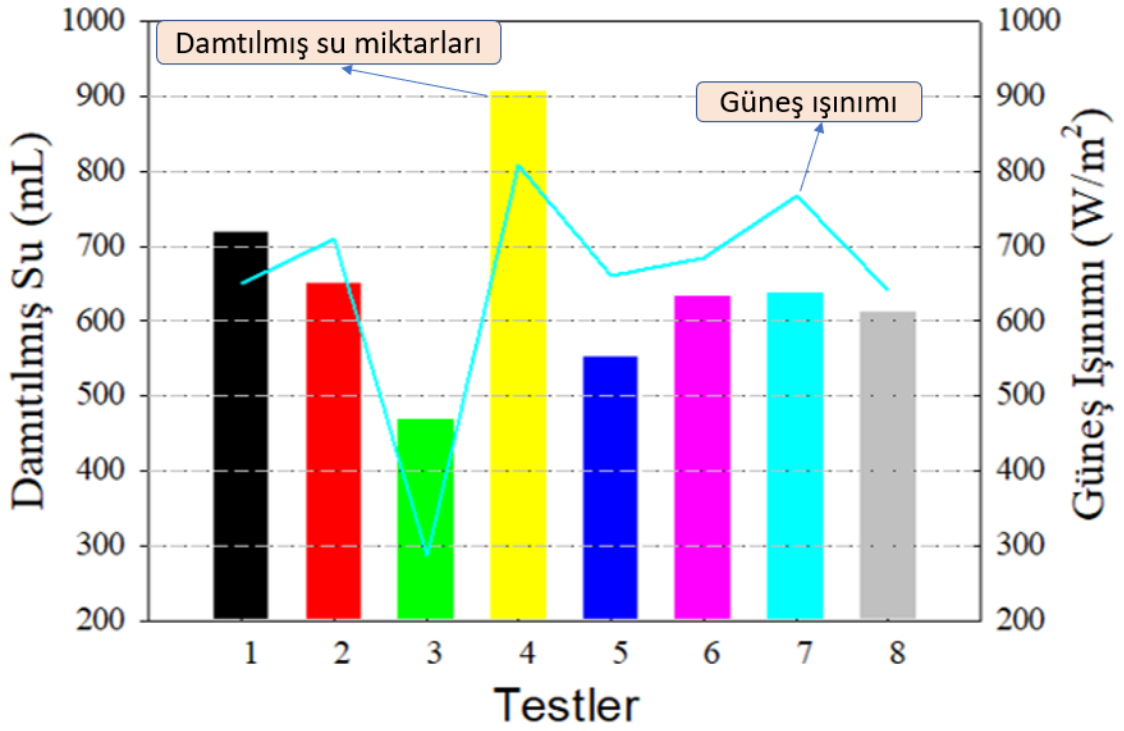


Şekil 25. 09/10/2020 tarihinde çeşitli sıcaklık ölçümleri, performans parametreleri, iklim parametreleri ve gökyüzü durumunun fotoğrafı

Günlük su verimliliği ve buna karşılık gelen ortalama güneş ışınlamı değerleri Şekil 26'da görülmektedir. Güncel deney verileri Tablo 3'de daha önceki deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Verilen tablodaki veriler eski ve yeni sistemin günlük ortalama ışınlamı verilerine göre sıralanmıştır.

Tablo 3. Deneysel çalışmanın ölçüm değerleri

Günler	Radyasyon (W/m^2)	Toplam (mL)	Gün içinde (mL)	Gün batımından sonra (mL)	Eski sistem(mL)
02.09.2020	650	719	521	198	389
03.09.2020	711	650	485	165	386
08.09.2020	286	468	289	179	213
10.09.2020	808	907	670	237	---
06.10.2020	660	551	340	211	275
07.10.2020	684	632	444	188	295
08.10.2020	768	638	401	237	346
09.10.2020	641	612	432	180	278

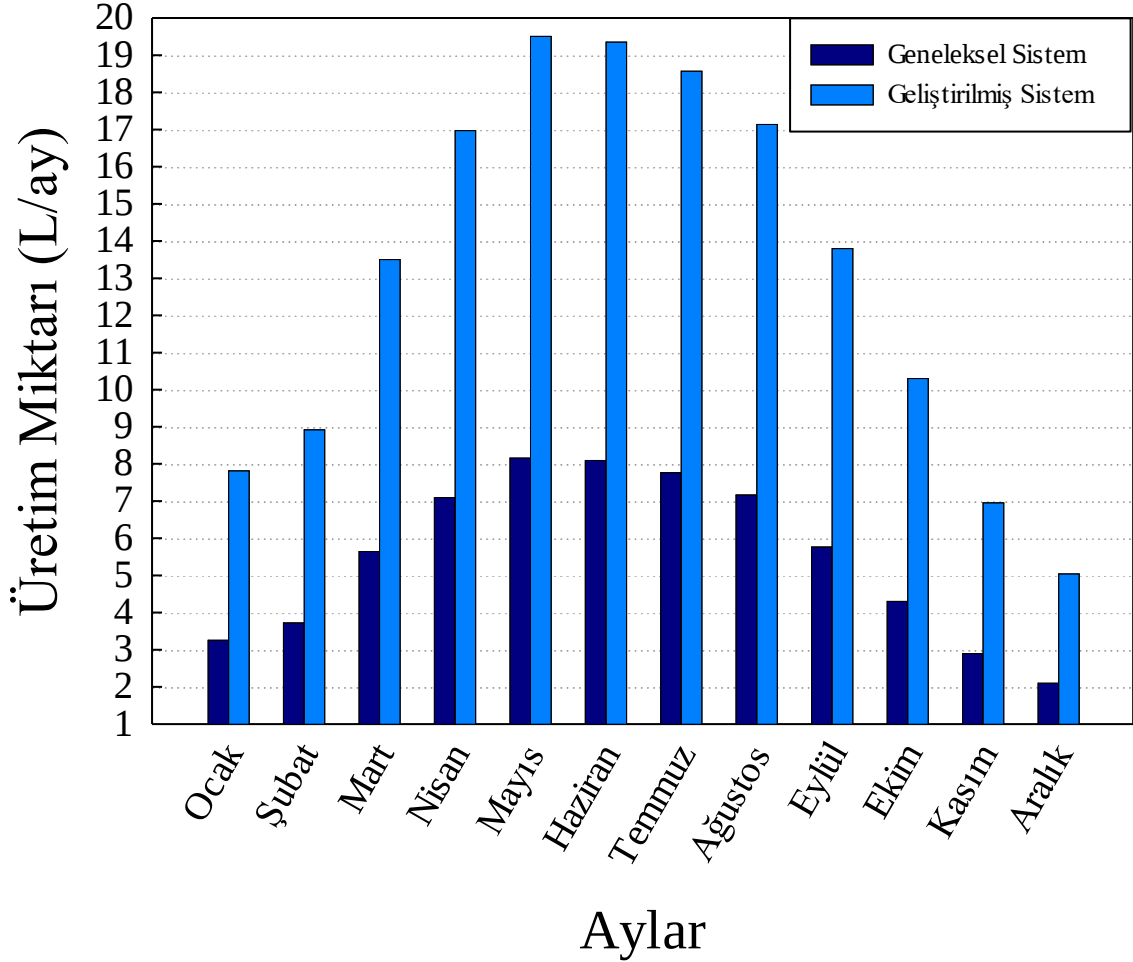


Şekil 26. Güneş ışınlamının üretime etkisi

Şekil 26'da güneş ışınlamının damıtma performansı üzerindeki etkisi görülmektedir. Grafik incelendiğinde güneş ışınlamının üretim performansı üzerindeki ana etken olduğu görülmektedir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, güneş ışınlamı en yüksek olduğu ve cam soğutma sisteminin aktif olduğu zaman en yüksek performansın elde edildiği görülmüştür. Sonuçlar göz önüne alındığında performans artırıcı yapılan tüm çalışmalar sistemin performansını olumlu yönde arttırmaktadır.

Şekil 27'de Meteoroloji Genel Müdürlüğü resmi verilerinden yararlanılarak geleneksel ve yenilikçi sistemlerin yıllık üretim miktarları hesaplanmıştır (URL-2, 2022). Yapılan bu hesaplamada ilk olarak kullanılan sistemlerin birim enerjideki üretim potansiyelleri belirlenmiştir. MGM'den alınan aylık radyasyon verileri ile üretim potansiyelleri oranlanmıştır. Hesaplama sonucunda yıllık ve aylık üretim miktarı hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplama iki sistem için de ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 27'den görüleceği üzere geleneksel sistemde yalıtım olmadığı için kış performansı daha düşük olmaktadır. Diğer bir açıdan bakıldığında geleneksel sistemin yaz uygulamasında yalıtım ve aktif soğutma sisteminin olmaması sebepleriyle üretim miktarındaki düşüş dikkati çekmektedir. Grafik genel olarak incelendiğinde bu çalışmada tasarlanan soğutma sistemi ve yapılan etkin yalıtımın sistem performansın artmasında çok etkili rol oynadığı görülmektedir. En yüksek üretim miktarının

19.5L/ay olarak Mayıs ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük üretim ise 5.1 L/ay ile aralık ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 27. Yıllık üretim miktarı

Tüm sonuçlar ve grafikler incelendiğinde geleneksel sistem inovasyonların sistem performansı üzerinde olumlu etki sağladığı görülmektedir.

Sistemin toplam yıllık üretimi 158,2 L olarak hesaplanmıştır. Eski sistemin ana gövdesinin üretim maliyeti ve sistemde yapılan geliştirmelerin maliyeti ile sistemin toplam maliyeti 873 TL olmuştur. Günümüzde 1 litre suyun ortalama fiyatı 1,5 TL civarındadır. Suyun üretim maliyeti ve sistemin yıllık üretimi göz önüne alındığında sistemin amortisman süresi 3,68 yıl olarak hesaplanmıştır. Güncel enerji fiyatlarındaki artış ve küresel ısınma göz önüne alındığında suyun birim fiyatındaki artış sebebi ile bu sürenin daha da azaldığı görülmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Güneş enerjisi ile damıtma sisteminin performans analizini yapmak amacıyla tasarlanan bu sistemde, yalıtımın, cam yüzeyine entegre soğutma sisteminin ve farklı hava koşullarının sistem performansına etkisi gözlemlenmiştir. Sistem yalıtım levhası ile kaplanmış ve cam yüzeyine entegre aktif bir soğutma sistemi geliştirilmiştir.

Yapılan deneyler dış ortamda sekiz gün boyunca aynı şekilde tekrarlanmıştır. Yapılan testlerde etkin yalıtım sayesinde sistemin daha erken sürede rejime ulaşmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Gelen güneş ışınımının havza yüzeyinde emilmesi siyah mat yüzey ile sağlanmıştır. Bu yüzey aldığı enerjiyi yalıtım etkisi sayesinde dış ortama aktarmadan depolama malzemesine aktarmıştır. Yapılan testlerde, yalıtım sayesinde Bayburt taşının sıcaklığının 75°C ulaşarak daha hızlı arttığı ve gözlemlenmiştir. Veri kaydedici ile alınan ışınlam verileri incelendiğinde enerji depolama malzemesinin sistemin stabil olarak çalışmasına katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Bulutlu havalarda veri kaydedicide ışınlam değerinin hızla düştüğü fakat enerji depolama malzemesi sayesinde sıcaklık değerlerinin çok yavaş düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Veriler ile oluşturulan grafikler incelendiğinde enerji depolama malzemesinin sistemde üretimin devam etmesi için gerekli sıcaklığı sağladığı görülmektedir.

Soğutma sisteminin aktif olmadığı durumlarda enerji depolama malzemesi sisteme enerji vermekte ve düşen ışınlam sayesinde cam yüzey sıcaklığı azalmaktadır. Bu durum doğal bir soğutma etkisi oluşturmakta ve sistemin bu döngülerde üretimini arttırmaktadır. Enerji depolama malzemesinin bu döngülerde sistemde oluşan güneş ışınlamının azalmasını tolere ettiği gözlemlenmiştir. Sistemde cam yüzeyinin soğutulmasının sistem performansına etkisi incelendiğinde üretim miktarlarında büyük farklar oluşturduğu görülmüştür. Cam yüzeyinin soğutulması sıcaklık farkını arttırdığından dolayı yüzeydeki yoğunlaşmanın arttığı gözlemlenmiştir. Cam soğutma sisteminin besleme suyunun radyatör ile soğutulması cam yüzeyinin daha düşük sıcaklıklara inmesini sağlamıştır. Cam yüzeyinde ısınan soğutma suyu radyatör ile tekrar eski sıcaklığına getirilmiştir. Bu sayede cam yüzeyi soğutma sistemi her denemede etkin bir sonuç vermiştir.

Gün batımının ardından devam eden testlerde enerji depolama malzemesinin havza suyunu sıcak tuttuğu grafiklerden görülmektedir. Sistem gün batımı ardından

üretime devam etmektedir. Gün batımı ile dış ortam sıcaklığı düşmekte ve cam yüzeyi soğutmaya gerek kalmamaktadır. Cam, doğal hava sirkülasyonu ile soğumaktadır. Gün batımı ardından düzenekteki yalıtım ile enerji depolama malzemesi enerjisini dış ortama aktarmadan havzaya vermektedir. Tüm etkenler göz önüne alındığında yapılan iyileştirmeler sistemin performansını artırdığı görülmüştür.

Yapılan çalışmadan elde edilen veriler analiz edildiğinde sistemdeki ısı depolama malzemesinin etkinliği görülmektedir. 50 kg ağırlığındaki ısı depolama malzemesinin 75°C ye ulaşan maksimum sıcaklığının etkisi net bir şekilde görülebilmektedir. Yapılan etkin yalıtımın ve ısı depolama malzemesi entegrasyonunun havza sıcaklığına olumlu etkisinin olduğu görülmektedir.

Üretilen sekiz günlük deneysel çalışma 0.5m² alan ile 5356 mL toplam su üretimi elde edilmiştir. Yapılan deney düzeneği kolay taşınabilir olması sayesinde tüm arazi ve iklim koşullarında rahatça kullanılabileceği gibi sistem hiçbir kontrole ihtiyaç duymadan çalışmaktadır. Alınan sonuçlar incelendiğinde yalıtımın hem güneşlenme hem de gün batımından sonra sistemin üretime devam etmesini sağladığı görülmektedir. Önceki çalışma ile karşılaştırıldığında depolama malzemesi ile 5°C daha yüksek sıcaklığa ulaştığı görülmektedir. Depolanan enerji sayesinde gün batımından sonra da üretim yapılmaktadır. Soğutma etkisi ile cam yüzeyindeki sıcaklık düşürülüp yoğuşma hızı arttırılmıştır. Bu sayede günlük damıtılan su %112,7 artırılarak su eldesi miktarı arttırılmıştır.

4.1. Sonuç

Bu çalışmada sistem etkin bir şekilde yalıtılarak sisteme soğutma sistemi entegre edilmiştir. Yapılan iyileştirmeler sisteme monte edilerek testler yapıldı. Tüm uygulamalar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Düşük/Sıfır Karbon Enerji Teknolojileri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilerek kampüs bahçesinde testler yapılmıştır. Testler Karadeniz Bölgesi Rize ili iklim koşullarında 8 gün boyunca ifa edilmiştir. Deney süresi boyunca toplam su verimliliği 5356mL olarak belirlenmiştir. Çalışma aracılığıyla aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- İlk tasarımda 0,63 l/m²/gün olan verimlilik yapılan iyileştirmeler ile 1,34 l/m²/gün'e çıkmıştır.
- Toplam su verimliliği eski deney düzeneği ile karşılaştırıldığında %112,7

artarak 5356 ml olmuştur.

- Enerji depolama malzemesinde %7.14 sıcaklık artışı sağlanmıştır.
- Depolanan enerji sayesinde günlük üretimin %38'e kadarı gün batımından sonra üretilebilmektedir.
- Isı yalıtımı sayesinde kapalı havalarda düşük ısınımla dahi üretim yapılmaktadır.
- Soğutma etkisi ile yoğuşma hızı arttırılmıştır.
- Düşük ortam sıcaklığında depolanan enerjinin su verimliliği daha çok arttığı gözlemlenmiştir.
- Cam eğiminin verimlilik üzerinde önemli bir rolü olduğu gözlemlenmiştir.
- Diğer sistemler ile karşılaştırıldığında tekerlekli yapısı sayesinde kolaylıkla taşınmaktadır. Dolayısıyla portatif bir tasarım olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.2. Öneriler

Bu çalışmada tasarlanan sistem üzerinde yapılan iyileştirmeler irdelendiğinde sistem performansına olumlu katkı sağlayan yeniliklerin yapıldığı gözlemlenmiştir. Deney düzeneğinde gözlemlenen olumsuz durumlardan biri de Şekil 28'de görüldüğü gibi cam yüzeyinde oluşan yoğuşma sonucundaki su damlacıklarının kayarak toplama tankına geç ulaşmasıdır. Damlacıklar cam yüzeyinde rahatça kaymamakta bu da cam yüzeyinden tekrar buharlaşmalarına ve havzada gölgelemeye sebep olmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek amacıyla camın iç yüzeyi su itici bir madde ile kaplanarak her damlacığın yüzeyde kayarak toplama tankına doğrudan ulaşması sağlanabilir. Ayrıca diğer bir yöntem ise sistemdeki camın açısının artırarak damlacıkların kayması için doğal bir ortam oluşturulmasıdır. Bu çalışmalar yapıldığında söz konusu sorunlar ortadan kaldırılarak sistemin daha fazla güneş enerjisi hapsedmesi sağlanmış olacaktır. Sistemin enerjisi arttığından sistem performansına olumlu katkı sağlayacaktır.



Şekil 28. Cam iç yüzeyinde asılı kalan damlacıklar

Bu çalışmada deney düzeneğinin performansını olumlu etkileyecek bir diğer etki ise Şekil 29’da görünen yoğuşma olmayan bölgelerdir. Bu bölgeler iç sıcaklığın artması sonucunda camın en üst bölgesinde yüksek sıcaklığın toplanması sonucunda oluşmaktadır. Bu yüksek sıcaklık yoğuşan suyun tekrar buharlaşmasına neden olmaktadır. Bu durum cam soğutma sisteminin üst yüzeylerde daha aktif kullanılması ile avantaja dönüştürülebilir. Üst bölgedeki yüksek sıcaklık ve soğutulan cam yüzeyi daha fazla yoğuşma sağlayarak sisteme olumlu etki sağlayacaktır.



Şekil 29. Yoğuşma olmayan ölü bölge

KAYNAKÇA

- Abd Elbar, A. R. ve Hassan, H. (2020). Enhancement of hybrid solar desalination system composed of solar panel and solar still by using porous material and saline water preheating. *Solar Energy*, 204, 382-394.
- Abed, F. M., Eleiwi, M. A., Hasanuzzaman, M., Islam, M. M. ve Mohammed, K. I. (2020). Design, development and effects of operational conditions on the performance of concentrated solar collector based desalination system operating in Iraq. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100886.
- Alftessi, S. A., Othman, M. H. D., Adam, M. R. B., Farag, T. M., Tai, Z. S., Raji, Y. O. ve Bakar, S. A. (2022). Hydrophobic silica sand ceramic hollow fiber membrane for desalination via direct contact membrane distillation. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 9609-9621.
- Alkhudhiri, A., Darwish, N., ve Hilal, N. (2012). Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination*, 287, 2-18.
- Awasthi, A., Kumari, K., Panchal, H. ve Sathyamurthy, R. (2018). Passive solar still: recent advancements in design and related performance. *Environmental Technology Reviews*, 7(1), 235-261.
- Borase, R., Gawande, J., Pawar, S. ve Jadhav, S. (2019, December). Solar Powered Water Desalination Using Fresnel Lens Tracking System. In *2019 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon)* (pp. 1-4). IEEE.
- Chauhan, V. K., Shukla, S. K., Tirkey, J. V. ve Rathore, P. K. S. (2020). A comprehensive review of direct solar desalination techniques and its advancements. *Journal of Cleaner Production*, 124719.
- Cotruvo, J. ve Abouzaid, H. (2010). Overview of the Health and Environmental Impacts of Desalination Technology. *Desalination Technology Health and Environmental Impacts*. IWA Yayınları.].
- Cuce, E., Guclu, T. ve Cuce, PM. (2020). Improving thermal performance of thermoelectric coolers (TECs) through a nanofluid driven water to air heat exchanger design: An experimental research. *Energy Conversion and Management*, 214: 112893.
- Cuce, E. (2018). Improving thermal power of a cylindrical solar cooker via novel micro/nano porous absorbers: A thermodynamic analysis with experimental validation. *Solar Energy*, 176, 211-219.

- Cuce, E., Cuce, P. M., Saxena, A., Guclu, T. ve Besir, A. B. (2020). Performance analysis of a novel solar desalination system–Part 1: The unit with sensible energy storage and booster reflector without thermal insulation and cooling system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100566.
- Cuce, P. M. (2018). Box type solar cookers with sensible thermal energy storage medium: A comparative experimental investigation and thermodynamic analysis. *Solar Energy*, 166, 432-440.
- Dow Tech Manual, (2006). Form No. 609-02002-504.
- El-Agouz, S. A., El-Samadony, Y. A. F. ve Kabeel, A. E. (2015). Performance evaluation of a continuous flow inclined solar still desalination system. *Energy conversion and management*, 101, 606-615.
- Elango, T., Kannan, A. ve Murugavel, K. K. (2015). Performance study on single basin single slope solar still with different water nanofluids. *Desalination*, 360, 45-51.
- Essa, F. A., Abdullah, A. S., Omara, Z. M., Kabeel, A. E. ve El-Maghlany, W. M. (2020). On the different packing materials of humidification–dehumidification thermal desalination techniques–a review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123468.
- Haddad, Z., Chaker, A. ve Rahmani, A. (2017). Dikey dönen bir fitil kullanarak havza tipi güneş enerjili sabit performansın iyileştirilmesi. *Tuzdan arındırma*, 418 , 71-78.
- Halima, H. B., Frikha, N. ve Slama, R. B. (2014). Numerical investigation of a simple solar still coupled to a compression heat pump. *Desalination*, 337, 60-66.
- Hansen, R. S., Narayanan, C. S. ve Murugavel, K. K. (2015). Performance analysis on inclined solar still with different new wick materials and wire mesh. *Desalination*, 358, 1-8.
- Hebbale, A. M. ve Pai, K. S. (2020). Development and evaluation of solar-powered desalinator to produce pure water. *Materials Today: Proceedings*.
- Joy, N., Antony, A. ve Anderson, A. (2018). Experimental study on improving the performance of solar still using air blower. *International Journal of Ambient Energy*, 39(6), 613-616.
- Kabeel, A. E. ve Abdelgaied, M. (2016). Improving the performance of solar still by using PCM as a thermal storage medium under Egyptian conditions. *Desalination*, 383, 22-28.

- Khalifa, M. ve Bidaisee, S. (2018). The importance of clean water. *Sch. J. Appl. Sci. Res*, 1(7), 17-20.
- Khalil, A. (1993). Dehumidification of atmospheric air as a potential source of fresh water in the UAE. *Desalination*, 93(1-3), 587-596.
- Koschikowski, J., Wieghaus, M., Rommel, M., Ortin, V. S., Suarez, B. P. ve Rodríguez, J. R. B. (2009). Experimental investigations on solar driven stand-alone membrane distillation systems for remote areas. *Desalination*, 248(1-3), 125-131.
- Kumar, R., Singh, D. B., Dewangan, A., Singh, V. K. ve Kumar, N. (2021). Performance of evacuated tube solar collector integrated solar desalination unit-a review. *Desalin Water Treat*, 230, 92-115.).
- Lienhard, J. H., Antar, M. A., Bilton, A., Blanco, J. ve Zaragoza, G. (2012). Solar desalination. *Annual review of heat transfer*, 15(15), 1049-0787.
- Madiouli, J., Lashin, A., Shigidi, I., Badruddin, I. A. ve Kessentini, A. (2020). Experimental study and evaluation of single slope solar still combined with flat plate collector, parabolic trough and packed bed. *Solar Energy*, 196, 358-366.
- Mamouri, S. J., Derami, H. G., Ghiasi, M., Shafii, M. B. ve Shiee, Z. (2014). Experimental investigation of the effect of using thermosyphon heat pipes and vacuum glass on the performance of solar still. *Energy*, 75, 501-507.
- Mekonnen, M. M. ve Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science advances*, 2(2), e1500323.
- Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., Khaled, A. (2011). Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. *Desalination*, 266, 263-273.
- Mohaisen, H. S., Esfahani, J. A. ve Ayani, M. B. (2020). Effect of condensing cavity on the performance of a passive solar desalination system: an experimental study. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12.
- Naharcı, B., (2007). Ters Ozmoz Yöntemi İle İçme Suyu Elde Edilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Bursa, s. 45-52.
- Panchal, H., Patel, D. K. ve Patel, P. (2018). Theoretical and experimental performance analysis of sandstones and marble pieces as thermal energy storage materials inside solar stills. *International Journal of Ambient Energy*, 39(3), 221-229.

- Popkin, B. M., D'Anci, K. E. ve Rosenberg, I. H. (2010). Water, hydration, and health. *Nutrition reviews*, 68(8), 439-458.].
- Qasim, M., Badrelzaman, M., Darwish, N. N., Darwish, N. A. ve Hilal, N. (2019). Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review. *Desalination*, 459, 59-104.
- Rajaseenivasan, T. ve Srithar, K. (2016). Performance investigation on solar still with circular and square fins in basin with CO₂ mitigation and economic analysis. *Desalination*, 380, 66-74.
- Reahl, E. R. (2006). Half a century of desalination with electrodialysis. Technical Paper, GE Water ve Process Technologies.
- Shanmugan, S., Rajamohan, P. ve Mutharasu, D. (2008). Performance study on an acrylic mirror boosted solar distillation unit utilizing seawater. *Desalination*, 230(1-3), 281-287.
- Sharma, A., Wasko, C. ve Lettenmaier, D. P. (2018). If precipitation extremes are increasing, why aren't floods?. *Water Resources Research*, 54, 8545– 8551.
- Sharon, H. ve Reddy, K. S. (2015). A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080-1118.
- Shoeibi, S., Mirjalily, S. A. A., Kargarsharifabad, H., Khiadani, M. ve Panchal, H. (2022). A comprehensive review on performance improvement of solar desalination with applications of heat pipes. *Desalination*, 540, 115983.
- Thakur, A. K., Sathyamurthy, R., Velraj, R., Saidur, R. ve Hwang, J. Y. (2021). Augmented performance of solar desalination unit by utilization of nano-silicon coated glass cover for promoting drop-wise condensation. *Desalination*, 515, 115191.].
- Udeh, P.J. (2004) A Guide to Healty Drinking Water: All You Need to about the Water You Drink, iUniverse Publishers, USA.
- URL-1, (2021). <http://www.escwa.un.org/information/publications/edit/upload/sdpd-09-4.pdf> (05 Mart 2021).
- URL-2, (2022). https://mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=rize (16 Mayıs 2022)
- Wen, C., Ding, H., ve Yang, Y. (2020). Performance of steam ejector with nonequilibrium condensation for multi-effect distillation with thermal vapour compression (MED-TVC) seawater desalination system. *Desalination*, 489, 114531.

- Xie, G., Chen, W., Yan, T., Tang, J., Liu, H., ve Cao, S. (2020). Three-effect tubular solar desalination system with vacuum operation under actual weather conditions. *Energy Conversion and Management*, 205, 112371.
- Yalçın F.,(1998). Membran Proseslerle Endüstriyel Atıksularda Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Yousef, M. S., ve Hassan, H. (2020). Energy payback time, exergoeconomic and enviroeconomic analyses of using thermal energy storage system with a solar desalination system: An experimental study. *Journal of Cleaner Production*, 122082.
- Yousef, M. S., Hassan, H., ve Sekiguchi, H. (2019). Energy, exergy, economic and enviroeconomic (4E) analyses of solar distillation system using different absorbing materials. *Applied Thermal Engineering*, 150, 30-41.

EKLER

Bu çalışmadaki ekler aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

Belirsizlik Analizi

Deney düzeneği ile ilgili belirsizlikleri Tablo 4’de özetlenmiştir.

Tablo 4. Cihazların belirsizlikleri

Cihaz	Doğruluk	Aralık
Termokupl (K Tipi)	$\pm 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$	0-400 $^{\circ}\text{C}$
Piranometre	$\pm 10\%$ (W/m ²)	0-2000 W/m ²
Hacim ölçer	0.1 ml	0-9 ml
Akım	$\pm 0.1 \text{ A}$	0-100 A
Volt	$\pm 0.1 \text{ V}$	0-100 V

n bağımsız değişken için toplam belirsizlik (Cuce vd., 2020a).

$$W_Q = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial X_1} \times W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial X_2} \times W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial X_n} \times W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Q ölçülecek boyut olduğunda, X ölçümü etkileyen değişkendir ve W bağımsız değişkenin belirsizliğidir.

Sabit voltaj için V= 12 Volt, akım değeri I=3 A olarak hesaplanmıştır.

$$P_e = VI$$

$$P_e = VI = 12 \times 3 = 36 \text{ W}$$

$$\frac{\partial P_e}{\partial V} = I = 3 \text{ A}$$

$$\frac{\partial P_e}{\partial I} = V = 12 \text{ V}$$

$$W_{P_e} = \left[\left(\frac{\partial P_e}{\partial V} \times 0.1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P_e}{\partial I} \times 0.1 \right)^2 \right]^{1/2} = [(3 \times 0.1)^2 + (12 \times 0.1)^2]^{1/2} = 1.236931688 \text{ W}$$

$$\frac{W_{P_e}}{P_e} = \frac{1.236931688}{36} \times 100 = \%3.4$$

Kabul edilebilir en kötü durum için toplam belirsizlik %3.4 olarak bulundu.