

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NEMLENDİRME VE NEM ALMA SİSTEMİ ENTEGRE
EDİLMİŞ PARABOLİK OLUK KOLEKTÖRLÜ
GÜNEŞ DESALİNASYON SİSTEMİ

Muhammad Nadeem ASLAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN

Haziran, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEMLENDİRME VE NEM ALMA SİSTEMİ ENTEGRE
EDİLMİŞ PARABOLİK OLUK KOLEKTÖRLÜ
GÜNEŞ DESALİNASYON SİSTEMİ**

Muhammad Nadeem ASLAM tarafından hazırlanan tez çalışması 15.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan DEMİR, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT, Üye

Uludağ Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN sorumluluğunda tarafımda hazırlanan **Nemlendirme Ve Nem Alma Sistemi Entegre Edilmiş Parabolik Oluk Kolektörlü Güneş Desalinasyon Sistemi** başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Muhammad Nadeem ASLAM

İmza

TEŞEKKÜR

Su temel bir yaşam gereksinimi olduğundan, Güneş Desalinasyonu konusunun önümüzdeki yıllarda daha çok önem kazanması ve en çok araştırılan konulardan biri olması beklenmektedir. Tez danışmanlığı talebimi kabul eden ve bu çalışma ve tez hazırlama sürecinde bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN’a teşekkür ederim. Ayrıca, öğrencilerine her zaman destek olan, eğitimin ve öğrenci hizmetinin kalitesinin her geçen gün daha da artması için çalışan Yıldız Teknik Üniversitesi yönetimine de değinmek istiyorum. Bu araştırma benim için harika bir deneyim oldu. Topluluğun belirlediği etik ve normlara uyarak bilimsel araştırma yapmayı öğrendim. Umarım bu küçük çalışmam uzun vadede insanlığa faydalı olur.

Muhammad Nadeem ASLAM

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Tez Amacı	1
1.2 Literatür Özeti.....	2
1.2.1 Direkt Güneş Desalinasyonu.....	2
1.2.2 Çok-Eğimli Geometri.....	3
1.2.3 Kademeli Tip.....	4
1.2.4 Su Sıcaklığının Artırılması.....	5
1.2.5 Yoğuşma Sıcaklığının Düşürülmesi.....	8
1.2.6 Isı Depolama Malzemeleri	10
1.2.7 Geleneksel Olmayan Isıtma Modu.....	13
1.2.8 Güneş Nemlendirme-Nem Alma – SHDH.....	19
1.3 Hipotez.....	20
2 ÖNERİLEN SİSTEM VE METODOLOJİ	22
2.1 Bileşenler.....	22
2.2 Şematik ve Açıklama	22
2.3 Mekanizma	24
2.4 Metodoloji	24
3 MATEMATİKSEL MODELLEME	26
3.1 Tek-Eğimli Güneş Damıtıcısı	26
3.1.1 Analiz	26
3.1.2 Enerji Dengesi.....	28
3.2 Parabolik-Oluklu Güneş Kollektörü	30
3.2.1 Analiz	30
3.2.2 Enerji Dengesi.....	31
3.3 Güneş Nemlendirme-Nem Alma.....	32

3.3.1 Analiz	32
3.3.2 Enerji Dengesi.....	33
3.3.3 Kütle Dengesi.....	34
3.4 Sistem Genel Performansı.....	34
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	36
4.1 Girdiler.....	36
4.1.1 Varsayımlar	36
4.1.2 Tasarım Girdileri	37
4.1.3 İklim Koşulları	39
4.2 Çıktılar	43
4.3 Parametrik Analiz.....	49
4.3.1 Hava Akış Hızı.....	49
4.3.2 Su Akış Hızı	51
4.3.3 Güneş Damıtıcısı Alanı.....	53
4.3.4 Ortam Sıcaklığı.....	55
4.3.5 Ortam Bağlı Nemi	56
4.4 Sonuçlar	56
KAYNAKÇA	58
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	58

SİMGE LİSTESİ

α	Absorptivite	
A_A	Açıklık Alanı (PT)	m^2
A_R	Alıcı Alanı (PT)	m^2
P	Basınç	Pa
A_S	Damıtıcı Alanı	m^2
ϵ	Emisivite	
E	Enerji	kJ
η_E	Enerji Verimliliği	
τ	Geçirgenlik	
Gr	Grashoff Sayısı	
η_C	Güneş Kollektörü Verimliliği	
β	Hacim Genişleme Katsayısı	1/K
V	Hava Hızı	m/s
$\dot{Q}$	Isı Transfer Hızı	kW
h	Taşınım Isı Transfer Katsayısı	$W/m^2.C$
L	Karakteristik Uzunluk (SS)	m
ν	Kinematik Viskozite	m^2/s
$\dot{m}$	Kütleli Debi	kg/s
h_{mass}	Kütle Transfer Katsayısı	m/s
D	Kütle Yayılımı	m^2/s
w	Nem Oranı	kg/kg kuru hava
Nu	Nusselt Sayısı	
h_{fg}	Özgöl Buharlaştırma Isısı	kJ/kg
C	Özgöl Isı Kapasitesi	kJ/kg.°C

Pr	Prandtl Sayısı	
RFD	Radyan Akı Yoğunluğu	kJ/saat.m^2
RFD _A	Radyan Akı Yoğunluğu (Açıklık-PT)	kJ/saat.m^2
RFD _R	Radyan Akı Yoğunluğu (Alıcı-PT)	kJ/saat.m^2
C _p	Sabit Basıncıta Özgöl Isı Kapasitesi	$\text{kJ/kg.}^{\circ}\text{C}$
Sc	Schmidt Sayısı	
Sh	Sherwood Sayısı	
T	Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$
σ	Stefan-Boltzmann Sabiti	$\text{W/m}^2.\text{K}^4$
m _T	Toplam Tatlı Su Miktarı	kg/saat.m^2
k	Isı İletim Katsayısı	W/m.K
δ	Yalıtım Kalınlığı	m
g	Yerçekimi İvmesi	m/s^2
ρ	Yoğunluk	kg/m^3
t	Zaman	saat

KISALTMA LİSTESİ

evap	Buharlaşıma
G	Cam
amb	Çevre
DSSS	Çift-Eğimli Güneş Damıtıcısı
B	Emici
PCM	Faz Değişim Malzemesi
PTM	Fototermal Malzemesi
SS	Güneş Damıtıcısı
SHDH	Güneş Nemlendirme-Nem Alma
A	Hava
rad	Işınım
H	Isı Transfer
cond	İletim
CSS	Kademeli Güneş Damıtıcısı
C.R	Konsantrasyon Oranı
M	Kütle Transfer
PT	Parabolik Oluk
W	Su
SSSS	Tek-Eğimli Güneş Damıtıcısı
conv	Taşınım
F	Tatlı Su

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Güneş damıtıcısı	3
Şekil 1.2 Çift-eğimli güneş damıtıcısı (Murugavel et al., 2010)	4
Şekil 1.3 Kademeli güneş damıtıcısı (Tabrizi et al., 2010)	5
Şekil 1.4 Parabolik-oluklu güneş damıtıcısı (Fathy et al., 2018)	7
Şekil 1.5 Geleneksel ve PT-tabanlı tuzdan arındırma sistemleri arasında karşılaştırma (Fathy et al., 2018)	7
Şekil 1.6 Dahili-reflektörlü güneş damıtıcısı (Afrand et al., 2017)	8
Şekil 1.7 Harici-kondenserli güneş damıtıcısı (Kumar et al., 2016)	9
Şekil 1.8 Farklı duyulur ısı depolama malzemelerinin verim karşılaştırılması (Shanmugan et al. 2012)	10
Şekil 1.9 Farklı duyulur ısı depolama malzemelerinin sıcaklık karşılaştırılması (Shanmugan et al. 2012)	11
Şekil 1.10 Stearik asitli güneş damıtıcısı (El-Sebaei et al. 2009)	13
Şekil 1.11 Arayüzey buharlaşması	14
Şekil 1.12 Çapraz yapı (Garcia, 2007)	15
Şekil 1.13 3D amorf rejenere selüloz yapısı (Koh et al. 2021)	16
Şekil 1.14 Cu/CuO köpüklü arayüzey buharlaşması (Liu et al. 2021)	17
Şekil 1.15 Güneş nemlendirme-nem alma sistemi (Hamed et al., 2015)	20
Şekil 2.1 Önerilen sistem şeması	23
Şekil 3.1 Güneş damıtıcısı enerji analizi	27
Şekil 3.2 PT kollektörü konsantrasyon	31
Şekil 3.3 Psikrometrik diyagramda nemlendirme işlemi	32
Şekil 3.4 Psikrometrik diyagramda nem alma işlemi	33
Şekil 4.1 RFD'nin günlük değişimi (İstanbul, 21 Haziran)	41
Şekil 4.2 Psikrometrik diyagramda işlemler (bahar)	43
Şekil 4.3 Psikrometrik diyagramda işlemler (yaz)	43
Şekil 4.4 Psikrometrik diyagramda işlemler (güz)	44
Şekil 4.5 Psikrometrik diyagramda işlemler (kış)	44
Şekil 4.6 Su veriminde karşılaştırma	46
Şekil 4.7 Enerji verimliliğinde karşılaştırma	47
Şekil 4.8 Sistem performansının hava akış hızına göre değişimi	51
Şekil 4.9 Sistem performansının su akış hızına göre değişimi	52

Şekil 4.10 Nemli havanın su akış hızına göre değişimi.....	53
Şekil 4.11 Sistem performansının alana göre değişimi	54
Şekil 4.12 Sistem performansının sıcaklığa göre değişimi.....	56



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Parafin mumu özellikleri	11
Tablo 1.2 Farklı modifiye güneş desalinasyon sistemlerinin su verimi.....	20
Tablo 4.1 Sistem geometrik özellikleri	37
Tablo 4.2 Sistem malzeme özellikleri.....	38
Tablo 4.3 İstanbul'un coğrafi özellikleri	39
Tablo 4.4 Dört güneş mevsimi (Kuzey Yarımküre).....	40
Tablo 4.5 RFD'nin günlük değişimi (İstanbul, 21 Haziran).....	40
Tablo 4.6 Analiz süresi	42
Tablo 4.7 İstanbul için iklim verileri.....	42
Tablo 4.8 Geleneksel sistem performansı değerleri.....	45
Tablo 4.9 Önerilen sistem performansı değerleri.....	45
Tablo 4.10 Performansta iyileşme.....	46
Tablo 4.11 Sistem performansının hava akış hızına göre değişimi	50
Tablo 4.12 Sistem performansının su akış hızına göre değişimi	51
Tablo 4.13 Sistem performansının alana göre değişimi.....	53
Tablo 4.14 Sistem performansının sıcaklığa göre değişimi	55

Nemlendirme ve Nem Alma Sistemi Entegre Edilmiş Parabolik Oluk Kollektörlü Güneş Desalinasyon Sistemi

Muhammad Nadeem ASLAM

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN

Dünya suyunun yaklaşık %97'si, içilmeye uygun olmayan ve tarımda kullanılamaz deniz suyudur. Artan küresel nüfus ve yükselen yaşam standartları, insanların tatlı su ihtiyaçlarını karşılamak için daha fazla su talebinde bulunmalarına neden olmaktadır. İklim değişikliği, yağış düzeninde büyük değişikliklere, bazı bölgelerde sellere ve bazı bölgelerde de kuraklıklara neden olur. Birleşmiş Milletler tahminlerine göre 2025 yılına kadar yaklaşık 1,8 milyar insan ciddi su kıtlığı ile karşı karşıya kalabilir. Araştırmacıların ortak amacı, yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş enerjisi kullanarak içilebilir su üretmek üzere deniz suyunu kullanmaktır. Su-krizi tehdidi olan bölgelerin çoğu Ekvatora yakınlıkları nedeniyle bol miktarda güneş radyasyonu almaktadır. Güneş damıtıcısı, güneş enerjisi kullanarak tuzlu suyu tatlı suya dönüştürmek için temel bir cihazdır. Tek dezavantajı, düşük su verimi ve enerji verimliliğidir, bu nedenle büyük ölçekli tatlı su üretimi için uygun değildir. Güneş desalinasyon sisteminin performansını artırmak için literatürde birçok alternatif ortaya konmuştur. Bu çalışmada, bir nemlendirme-nem alma sisteminin parabolik-oluklu güneş kollektörü ile birleştirildiği entegre bir sistem teorik olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Güneş kollektörü havayı ısıtır, ve güneş damıtıcısı için su kütlesi girişi nemlendirme-nem alma işleminden gelir. Isıl analize dayalı geleneksel ve önerilen sistemler için iki ayrı matematiksel model

geliştirildi. Modeller EES kullanılarak çözüldü. Önerilen sistem, özellikle soğuk mevsimlerde artan su verimliliği ve enerji verimliliği gösterdi. Son olarak, değişen girdi koşullarının sistem performansı üzerindeki etkisini görselleştirmek için önerilen sistemin parametrik analizi yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Tatlı su, damıtma, güneş enerjisi, parabolik oluk, kolektör



Solar-Powered Desalination Integrated with Humidification-Dehumidification System and Parabolic-Trough Solar Collector

Muhammad Nadeem ASLAM

Department of Mechanical Engineering

MSc Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Deniz ULUSARSLAN

About 97% of Earth's water is sea water, which is not fit to drink and utilizable in agriculture. Increasing global population and rising living standards result in more water demand to meet fresh water needs of people. Climate change is causing drastic shift in rainfall pattern, causing floods in some regions and droughts in others. About 1.8 billion people can face severe water scarcity by 2025 according to United Nations estimates. The focus of researchers is on using sea water to produce drinkable water using renewable energy resources, especially solar energy, as most regions with water-crisis threat receive generous amount of solar radiations owing to their proximity to the Equator. A solar still is a basic device for converting saline water into fresh water using solar energy. The only drawback is low water productivity and energy efficiency, which makes it unsuitable for large-scale fresh water production. Many alternatives have been put forward in literature to enhance the performance of the solar desalination system. In this study, an integrated system has been theoretically designed and analyzed in which the conventional solar still is coupled with a solar humidification-dehumidification system and a concentrating parabolic-trough solar collector. The solar collector heats the air, whereas the water mass input to the solar still comes from the humidification-dehumidification process. Two

separate mathematical models have been developed for conventional and proposed systems based on thermal analysis. The models were solved using EES. The proposed system has shown enhanced water productivity and energy efficiency, especially in cold seasons. Finally, a parametric analysis of the proposed system has been performed to visualize the effect of varying input conditions on the system's performance.

Keywords: Freshwater, desalination, solar energy, parabolic trough, collector



1.1 Tez Amacı

Tüm yaşam suya bağlıdır. Dünya, önemli miktarda su içerdiği için yaşamı destekleyebilir. Su, Dünya yüzeyinin yaklaşık %71'ini oluşturur. Dünyadaki toplam su miktarı yaklaşık 326 milyon trilyon galondur ve bu, tüm insan ihtiyaçlarının çok ötesinde dev bir rakam gibi görünebilir. Ancak dünyadaki suyun sadece %3'ü insanlar için içilebilir ve gıda üretmek için tarımda kullanılabilen tatlı sudur. Tatlı su, göllerde, nehirlerde, akarsularda ve ayrıca akifer olarak yeraltında bulunan akan sudur. Geriye kalan %97'lik su ise bol miktarda tuz içeren ve içilmeye ve tarımda kullanılmaya uygun olmayan tuzlu sudur. Deniz suyu, mavi gezegenin yüzeyinin büyük kısmını oluşturan tuzlu sudur.

İnsan nüfusu hızla artmakta ve bu yüzyılın sonundan önce mevcut 7,8 milyar olan nüfusun 10 milyarı geçmesi beklenmektedir. Ayrıca, mevcut çağda insan yaşam standartları önemli ölçüde yükselmiştir ve bu nedenle yüksek yaşam standartlarını karşılamak için daha fazla kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, belirli insan faaliyetleri ve fosil yakıtların kullanımıyla tetiklenen küresel ısınma, yağış düzeninde potansiyel olarak zararlı değişikliklere neden olarak, bazı bölgelerin normalden daha fazla yağış almasına ve bazılarının nispeten daha kuru iklim koşulları ve sık sık kuraklık yaşamasına neden olmaktadır. Tüm bu faktörler bir araya geldiğinde dünyanın bazı bölgelerinde tatlı su sıkıntısı ortaya çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler tahminlerine göre 2025 yılına kadar yaklaşık 1,8 milyar insan ciddi su kıtlığı ile karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle, taze içilebilir su üretmek için alternatif seçenekler aramak son derece önemlidir. En makul çözüm, dünyanın en büyük su kaynağı olan deniz suyunu kullanmak ve bu suyu tuz miktarını azaltarak tatlı suya dönüştürmektir. Tuzlu suyu içilebilir suya dönüştürme işlemine 'desalinasyon' denir. Aslında böyle bir fenomen doğada da meydana gelir ve bu da yağışın temelini oluşturur. Su buharları denizin üzerine çıkarak tuz bileşenlerini denizde bırakır. Bu buharlar hava tarafından taşınır ve atmosferde belli bir yüksekliğe eriştiklerinde çığ noktası sıcaklığına ulaşırlar ve yağış olarak tekrar yeryüzüne dönerler. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin Dünya ekosistemi üzerindeki zararlı etkisi bilinen bir gerçek olduğundan, fosil yakıtlar gibi sera gazlarını atmosfere salan yakıtların kullanımı en aza indirilmelidir. Bunun yerine, suyun tuzdan arındırma işleminin enerji

gereksinimlerini karşılamak için güneş enerjisi, jeotermal enerji, gelgit enerjisi, rüzgar enerjisi vb. gibi yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmelidir. Bu enerji kaynakları temiz enerji olmanın yanında uzun vadede sürdürülebilir ve güvenilirdir. Neyse ki, su kıtlığı sorunu olan çoğu bölge, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Afrika Boynuzu gibi Ekvator'a yakınlığı nedeniyle bol miktarda güneş ışığı almaktadır. Bu bölgelerde kurulu bir su desalinasyon tesisi, yalnızca güneş enerjisi esas alınarak çalıştırılabilir. Bu sayede konvansiyonel yakıtların olumsuz çevresel etkisi ve sürdürülebilirliğindeki sıkıntılar artık sorun olmaktan çıkabilir.

Araştırmacılar, birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanarak tuzlu suyu tatlı suya dönüştürmek için birçok fikir ve teknik bulmuşlardır. Bazı araştırmacılar sadece teorik analizler yapmış, bazıları kesin deneyler yapmış, bazıları ise hem teorik hem de deneysel yaklaşımı uygulamıştır. Temel amaç, daha iyi bir su verimi (kg/saat.m^2 veya kg/gün.m^2 olarak ifade edilir) ve enerji verimliliği gösteren bir güneş desalinasyonu sistemine sahip olmaktır.

1.2 Literatür Özeti

Güneş desalinasyonu tekniklerinin iki ana kategorisi vardır:

- Direkt güneş desalinasyonu
- Dolaylı güneş desalinasyonu

Direkt güneş desalinasyonunda, güneş enerjisi kullanımının birincil modu, güneş enerjisinin deniz suyunun, yani tuzdan arındırılması gereken sıvının, kendisi tarafından termal enerji olarak soğurulmasıdır. Emilen ısı, sıcaklığı ve buharlaşma oranını yükseltir. Dolaylı güneş desalinasyonunda ise, güneş enerjisi deniz suyu tarafından bir ara ısı transfer sıvısı veya enerji dönüşümü içeren dolaylı bir yolla kullanılır.

Bu çalışmada, araştırmanın odak noktası direkt güneş desalinasyonudur. Bu nedenle, direkt güneş desalinasyonu işlemine giren temel ve değiştirilmiş teknikler tartışılacaktır.

1.2.1 Direkt Güneş Desalinasyonu

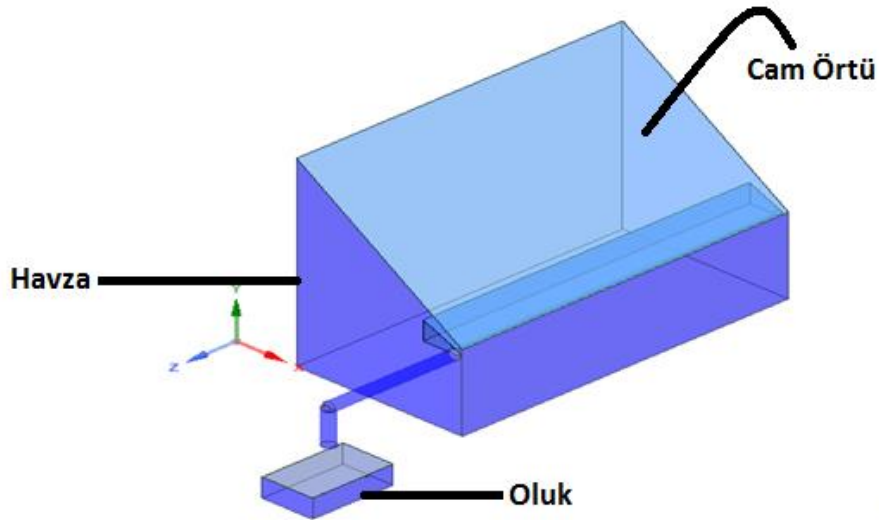
Direkt güneş desalinasyonunda, tuzlu su, doğrudan suya düşen veya su üzerindeki yansıtıcı bir yüzey tarafından yansıtılan veya bir emici malzeme tarafından emilen güneş ışığını soğurması sonucunda ısınır. Bu esnada iletim, taşınım veya radyasyon ısı transferi veya faz değişimli ısı transferi durumları gerçekleşir.

1.2.1.1 Güneş Damıtıcısı

Güneş desalinasyonu için en basit ve geleneksel cihaz, direkt güneş desalinasyonu işlemine giren güneş damıtma cihazıdır (SS). Termal kayıpları azaltmak için yanlardan ve alttan izole edilmiş, üst kısmı sera etkisi yaratmak için camla kaplanmış bir ham su (deniz suyu) havzasından oluşur. Üst kısım, ihtiyaca göre uygun bir eğimle Ekvatora doğru eğimlidir. Bu, Kuzey Yarımküre'de örtünün güneye, Güney Yarımküre'de ise örtünün kuzeye bakması gerektiği anlamına gelir. Örtüden geçen güneş ışınları suyu ısıtır ve suyun sıcaklığını ve buharlaşma hızını artırır. Camın sıcaklığı açıkça sudan daha düşük olduğundan, yükselen su buharları camla temas ettiğinde yoğuşur ve çiğ noktasının altına bir sıcaklık düşüşü yaşar. Yoğuşan su, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi havzaya bağlı bir oluğa damlar.

Direkt güneş desalinasyonu için temel bir cihazdır. Tek dezavantajı, düşük enerji verimliliği ve su verimi ve geniş alan gereksinimidir. Literatüre göre maksimum verim 5 L/gün.m² ve maksimum (teorik) verimlilik %30-35'tir. Bu nedenle büyük bir nüfusun su ihtiyacını karşılamak için yeterli değildir.

Performansı artırmak için, aşağıdaki modifikasyonların hem enerji verimliliğinde hem de su verimliliğinde artış sağladığı deneysel ve teorik olarak kanıtlanmıştır.

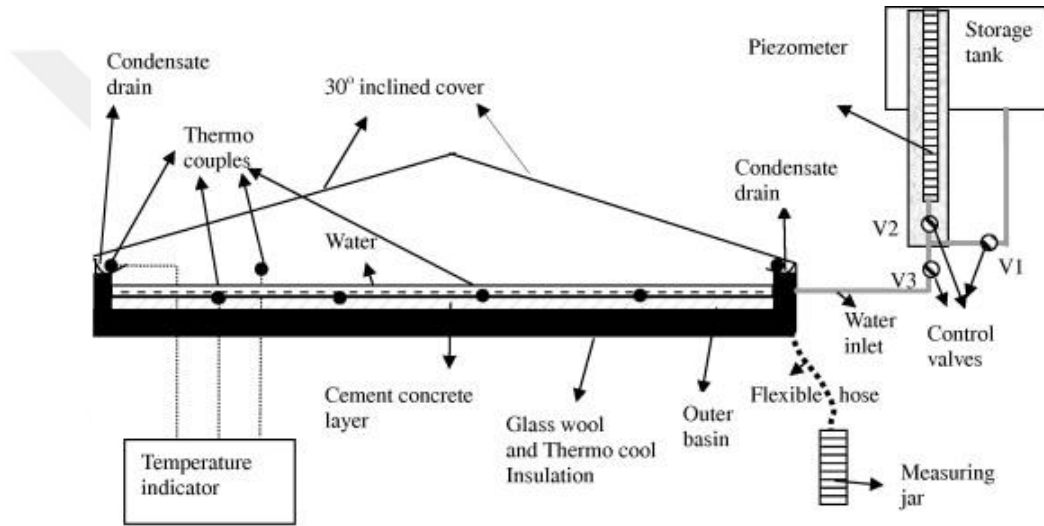


Şekil 1.1 Güneş damıtıcısı

1.2.2 Çok-Eğimli Geometri

Geleneksel güneş damıtma cihazı, yalnızca bir açıyla eğimli olan kapak nedeniyle tek-eğimli güneş damıtıcısı (SSSS) olarak da adlandırılır. Değiştirilmiş bir versiyon, üst

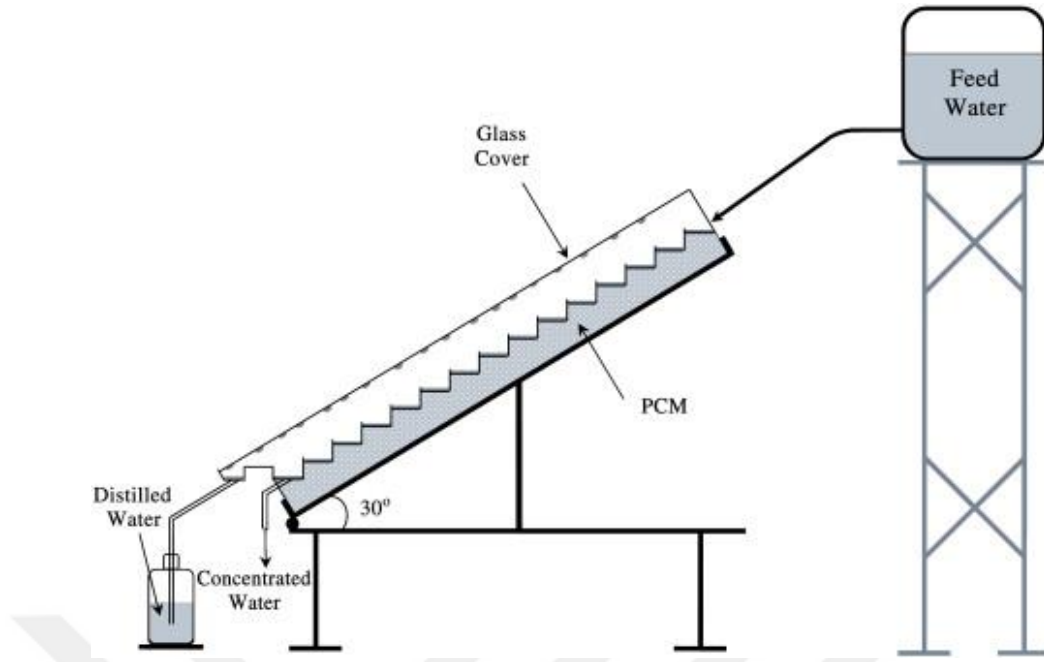
kısmın doğu ve batıya baktığı çift-eğimli güneş damıtıcısıdır (DSSS). DSSS, gündüzleri daha fazla miktarda güneş radyasyonu yakalayabilir ve ayrıca yoğuşma alanı arttığından avantajlıdır. Geniş bir yoğuşma alanı, daha ince sıvı filmi kalınlığı sağlar, böylece geleneksel SSSS'ye kıyasla ısı transferini artırır ve daha fazla su üretir. Akshay et al. (2021) tek-eğimli güneş damıtıcısı ve çift-eğimli güneş damıtıcısı üzerinde teorik bir analiz gerçekleştirmiştir. Her iki damıtıcı için de matematiksel model geliştirilmiş ve simülasyon için MATLAB kullanılmıştır. Model, Mart ve Aralık aylarında Hindistan'ın farklı iklim bölgelerinden altı farklı şehre uygulanmıştır. Her durumda, DSSS hem yaz hem de kış günlerinde SSSS'den daha iyi performans göstermiştir. DSSS'nin yaz mevsiminde kış mevsimine göre daha etkili olduğu bulunmuştur.



Şekil 1.2 Çift-eğimli güneş damıtıcısı (Murugavel et al., 2010)

1.2.3 Kademeli Tip

Su derinliğinin artırılması, su sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır ve bu durum daha fazla ısı kaybına neden olduğu için gündüz verimliliğini azalttığı tespit edilmiştir. Ancak daha fazla su, daha fazla ısı depolayabilir, bu nedenle gece üretkenliğini artırabilir. Su yüzeyi ile cam kapak arasındaki mesafenin azaltılması da verimliliği olumlu yönde etkileyebilir. Bu iki gerçeği de kullanan bir teknik, kademeli güneş damıtıcısıdır (CSS). Tabrizi et al. (2010) yaz aylarında kademeli bir güneş damıtıcısı üzerinde bir deney yapmıştır. Çalışmasında; sırasıyla 7,4 ve 4,3 kg/gün.m²'lik damıtma değerleri ile maksimum ve minimum günlük tatlı su eldesi değerlerini göstermiştir. Maksimum ve minimum enerji verimliliği sırasıyla %63,3 ve %36,6'dır. Artan akış hızı hem su verimini hem de enerji verimliliğini azaltırken, azalan akış hızı hem su verimini hem de enerji verimliliğini artırmıştır.



Şekil 1.3 Kademeli güneş damıtıcısı (Tabrizi et al., 2010)

1.2.4 Su Sıcaklığının Artırılması

Yüksek su sıcaklığı, su yüzeyinden yüksek oranda buharlaşmaya karşılık gelir. Havza suyunun sıcaklığını yükseltmek için aktif ve pasif yöntemler geliştirilmiştir.

1.2.4.1 Pasif Değişiklikler

- İç Renk

Cam ve su şeffaf özelliktedir, geçirilen güneş radyasyonu, güneş damıtma cihazındaki güneş radyasyonlarının ana soğurucusu olan havza tabanı tarafından emilir. Siyah boyalı yüzeyler ideal olarak üzerlerine gelen tüm radyasyonları emer, bu da yüzey sıcaklığında daha büyük bir artışa neden olur. Sonuç olarak, daha yüksek bir su sıcaklığı ve buharlaşma hızı elde edilir. Aynı şekilde havzanın iç kısımları da beyaz boya ile kaplanmalıdır. Beyaz renk, üzerlerine gelen tüm radyasyonları yansıtır, bu da yan kayıplarda önemli bir düşüşe ve dolayısıyla verimliliğin artmasına neden olur. Tenthani et al. (2012) bir güneş damıtmasının beyaz boyalı iç duvarlarla ve diğerinin siyah boyalı iç duvarlarla yapıldığı bir deney yapmıştır. İlk versiyon ile $2,55 \text{ kg/gün.m}^2$ tatlı su elde edilmiş, ikinci versiyon ile elde edilen tatlı su miktarı sadece $2,38 \text{ kg/gün.m}^2$ olarak bulunmuştur. Ayrıca birinci durumda, diğer sisteme göre enerji verimliliği %6,8 daha fazlaydı. Su buharının iç duvarlarda yoğunlaşmasını önlemek için genellikle siyah boyalı iç yüzeyler tercih edilse de, deney, iç duvarlarda beyaz boyanın siyah boyadan daha iyi çalıştığını göstermiştir.

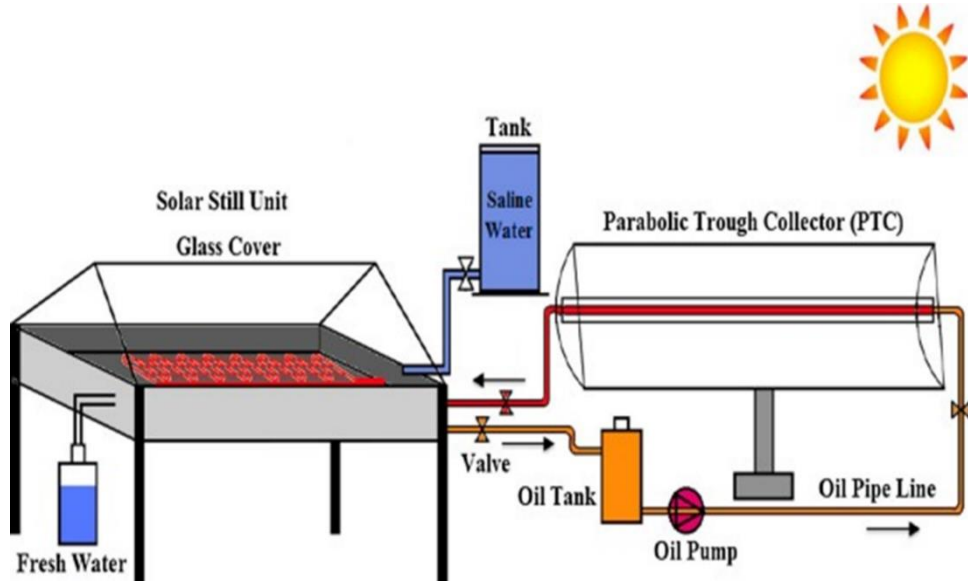
- **Eğim Açısı**

Üst kapağın eğim açısı kritik bir faktördür ve hem mevsime hem de konuma bağlıdır. Verilen durum için mümkün olan en iyi açıyı belirlemek için eğim açısının optimizasyonu yapılmalıdır. Genellikle örtü yerel enlem ile aynı açıda yatırılır, ancak güneş ışığından maksimum düzeyde yararlanmak için açının kışın daha büyük, yazın ise daha küçük olması gerekir (Khalifa 2011). Bir yaklaşımda, eğim açısı yazın yerel enlem eksi 15 derece ve kışın yerel enlem artı 15 derece olmalıdır.

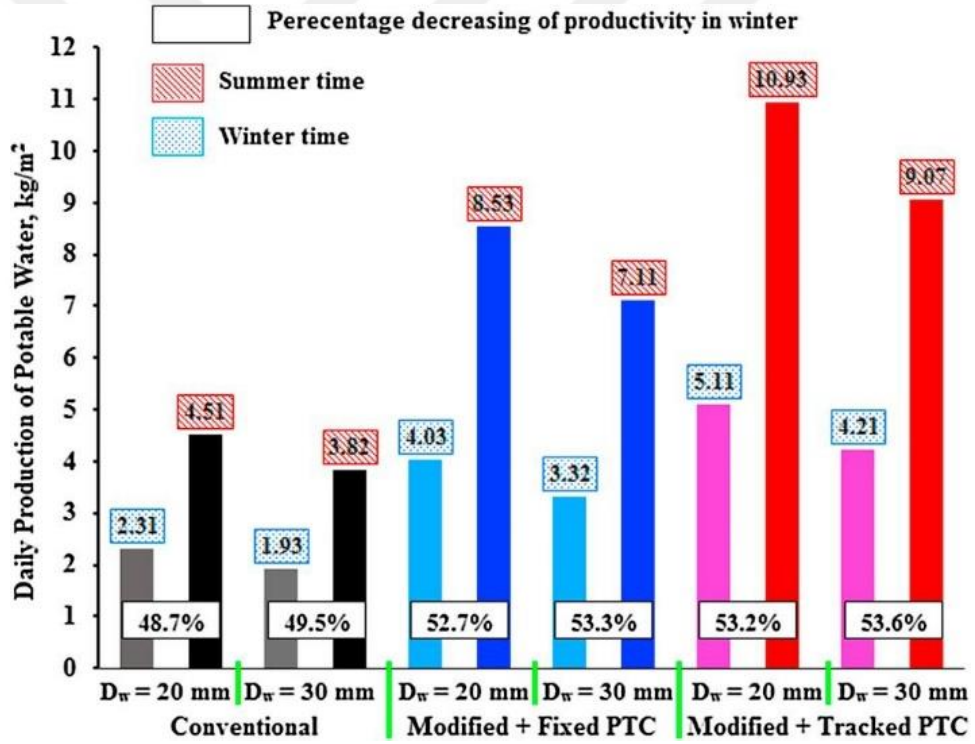
1.2.4.2 Aktif Değişiklikler

- **Güneş Isıtıcıları**

Bir güneş damıtıcısı bir STE (Güneş Termal Enerjisi) sistemi ile birleştirilebilir. STE sistemi, deniz suyunu önceden ısıtabilir veya bir ara akışkanı (örneğin yağ veya su) ısıtabilir, bu da güneş enerjisi damıtma cihazından geçen bir ısı eşanjörü aracılığıyla içerideki suyu ısıtır. İki tür güneş kolektörü vardır: konsantre güneş kolektörleri ve konsantre olmayan güneş kolektörleri. Konsantre güneş kolektörleri ile daha yüksek su sıcaklıklarının elde edilebileceği açıktır, çünkü bu kolektörler büyük miktarda güneş ışımasını nispeten küçük bir alana yoğunlaştırır. Fathy et al. (2018) çift-eğimli bir güneş enerjisi damıtma cihazının bir tür konsantre güneş kolektörü olan parabolik-oluklu (PT) güneş kolektörüne bağlandığı bir deney gerçekleştirmiştir. Güneş kolektöründeki çalışma akışkanı yağ idi ve sıcak yağdan damıtıcıdaki havuz suyuna ısı transferi için havuz suyundan geçen bir ısı eşanjörü dahil edilmiştir. Deney hem yaz hem de kış aylarında gerçekleştirilmiştir. PT ile birleştirilmiş değiştirilmiş DSSS, PT'siz basit DSSS ile karşılaştırılmıştır. 20 mm su derinliği için yaz ve kış aylarında su sıcaklığı sırasıyla basit DSSS için 66°C ve 47°C, PT ile birleştirilmiş DSSS için 84°C ve 56°C ve PT ve güneş izleme sistemi ile birleştirilmiş DSSS için 89°C ve 61°C. Benzer şekilde, aynı su derinliği için, yaz ve kış aylarında su verimi sırasıyla basit DSSS için 4,51 kg/gün.m² ve 2,31 kg/gün.m², PT ile birleştirilmiş DSSS için 8,53 kg/gün.m² ve 4,03 kg/gün.m² ve PT ve güneş takibi sistemi ile birleştirilmiş DSSS için 10,93 kg/gün.m² ve 5,11 kg/gün.m² idi. PT ve izleme sistemiyle birleştirilmiş DSSS ile, her iki mevsimde de en yüksek su sıcaklıkları ve 10,93 kg/gün.m² gibi yüksek su eldesi değeri tespit edilmiştir. 10,93 kg/gün.m²'lik maksimum su üretkenliği, geleneksel güneş enerjili damıtıcılardan elde edilebilecek maksimum değerden çok daha yüksek ve basit DSSS'den %142,3 daha fazladır.



Şekil 1.4 Parabolik-oluklu güneş damıtıcısı (Fathy et al., 2018)

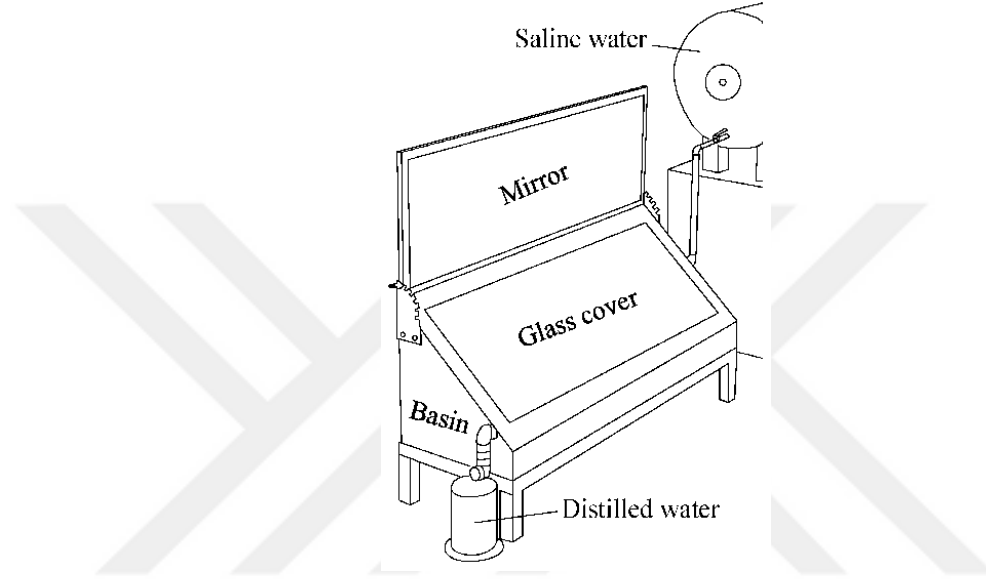


Şekil 1.5 Geleneksel ve PT-tabanlı tuzdan arındırma sistemleri arasında karşılaştırma (Fathy et al., 2018)

- Güneş Reflektörleri**

Reflektörler dahili (IR) veya harici (ER) olarak kullanılabilir. Dahili reflektörler, iç duvarlara bağlı olan güneş damıtıcısının içine yerleştirilirken, dış yansıtıcılar, güneş damıtıcısının iç kısmına odaklanan güneş radyasyonlarını yansıtacak şekilde dışarıya

yerleştirilir. Tanaka (2009) güneş ışığının yoğunluğunun daha zayıf olduğu ve konsantrasyonun daha fazla gerekli olduğu kış aylarında hem iç reflektörlü hem de dış reflektörlü değiştirilmiş bir güneş damıtıcısının hem teorik hem de deneysel analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu kadar küçük bir modifikasyonla su veriminin %70-100 oranında arttığı gösterilmiştir. Afrand et al. (2017) Ağustos ayında dahili reflektörlü bir güneş enerjisi damıtma cihazı üzerinde bir deney yapmış ve basit güneş damıtıcısıyla karşılaştırıldığında daha iyi bir verim elde etmiştir.



Şekil 1.6 Dahili-reflektörlü güneş damıtıcısı (Afrand et al., 2017)

1.2.5 Yoğuşma Sıcaklığının Düşürülmesi

Buharlaşıma ve yoğuşma arasındaki sıcaklık farkı ne kadar büyük olursa, bir güneş damıtıcısının üretkenliği o kadar iyi olur. Kapak su yüzeyinden daha düşük bir sıcaklıkta olduğundan, su buharları cam kapakla temas ettiğinde yoğuşur. Aktif veya pasif araçlar kullanılarak cam sıcaklığı daha da düşürülürse, güneş damıtıcısının daha iyi bir performansı beklenebilir. Ancak soğutma mekanizması, güneş ışığının camdan havza suyuna geçişini engellememelidir.

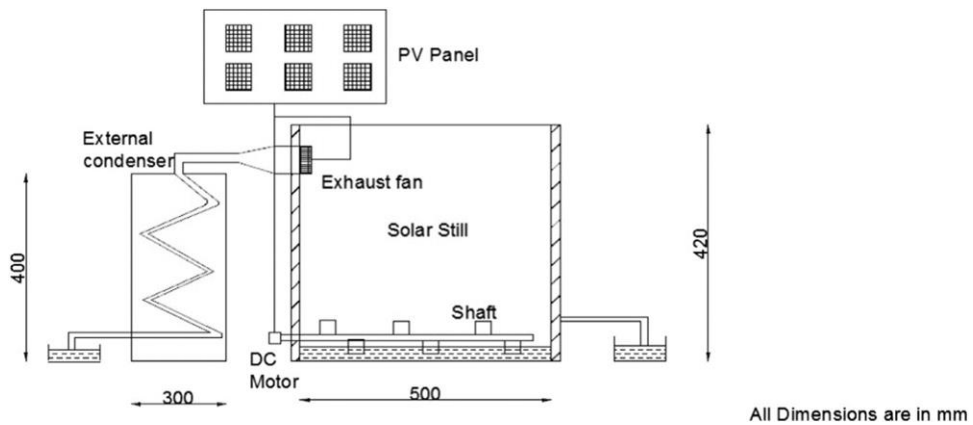
1.2.5.1 Soğutma Suyu

Su mükemmel bir soğutma maddesidir. Suyun buharlaşması soğumaya neden olur. Cam kapağın üstüne su serpilebilir. Serpme suyu cam kapağa göre daha düşük sıcaklıkta olduğu için cam kapaktan serpme suya ısı transferi gerçekleşecektir. Sonuç olarak, su atmosfere buharlaşarak cam kapakta soğumaya neden olacaktır. Bu, cam ısısının atmosfere hızla dağılmasının basit bir yoludur. Gupta et al. (2016) üstte su fiskiyesi olan

ve su israfını önlemek ve suyun kapağın dibine ulaşmadan buharlaşmasını sağlamak için su kütle debisi 0.0001 kg/s olan ve iç duvarları beyaz boyalı bir güneş enerjisi damıtma cihazı üzerinde bir deney yapmıştır. Değiştirilmiş güneş damıtıcısının performansı, aynı tasarım ve iklim parametrelerine sahip geleneksel bir güneş damıtıcısının performansı ile karşılaştırılmıştır. Maksimum su verimi öğleden sonra 3'te gerçekleşmiştir. 2940 ml'lik daha düşük bir su verimine sahip olan geleneksel versiyona kıyasla 3541 ml'lik daha yüksek bir su üretkenliğine sahip olan değiştirilmiş versiyon ile su verimi %20 artarken, enerji verimliliği %21 artmıştır.

1.2.5.2 Harici Kondenser

Güneş damıtıcısının performansını artırmak için güneş damıtıcısına bir yoğunlaştırıcı entegre edilebilir. Yoğuşma, su buharının, yoğuşma ısını soğutma sıvısına vererek buharıdan sıvı hale geçmesini içerir. İki tür yoğunlaşma vardır: damlalı yoğuşma ve film yoğuşması. Film yoğuşmasında, yoğuşma yüzeyinde bir su filmi oluşur, böylece su buharından soğutma sıvısına olan ısı transferini azaltır. Damla şeklinde yoğuşma, daha iyi üretkenlik sağlayan yüksek ısı transfer katsayıları ile mükemmel bir ısı transferi modudur. Bununla birlikte, güneş damıtıcısı durumunda film yoğuşması meydana gelir. Böylece daha yüksek performans elde etmek için güneş enerjisi damıtma cihazına harici bir kondanser bağlanabilir. Kumar et al. (2016) bir güneş enerjisi damıtma cihazının harici bir yoğunlaştırıcıya bağlandığı bir deney yapmıştır. Su buharını güneş damıtıcısından kondansere üfleme için bir fan kullanılmıştır. Titreşim etkisi yaratmak için DC motor bağlı bir mil de dahil edilmiştir. Titreşim etkisi veya türbülans, su yüzey gerilimini kırar ve buharlaşma oranını artırır. Modifiye edilmiş güneş damıtıcısı için geleneksel olana kıyasla su verimi ve enerji verimliliğinde sırasıyla %39,49 ve %31'lik bir artış bildirmişlerdir.



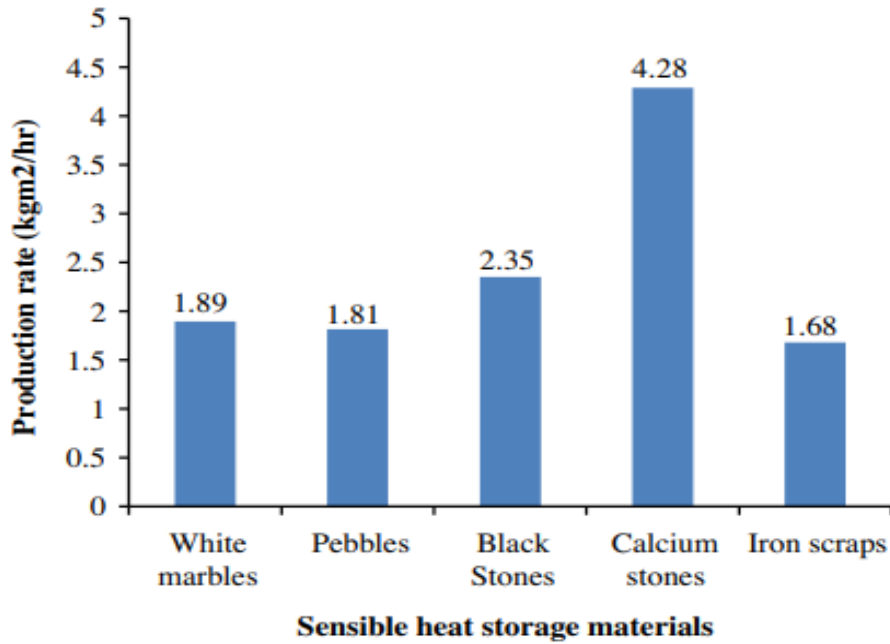
Şekil 1.7 Harici-kondenserli güneş damıtıcısı (Kumar et al., 2016)

1.2.6 Isı Depolama Malzemeleri

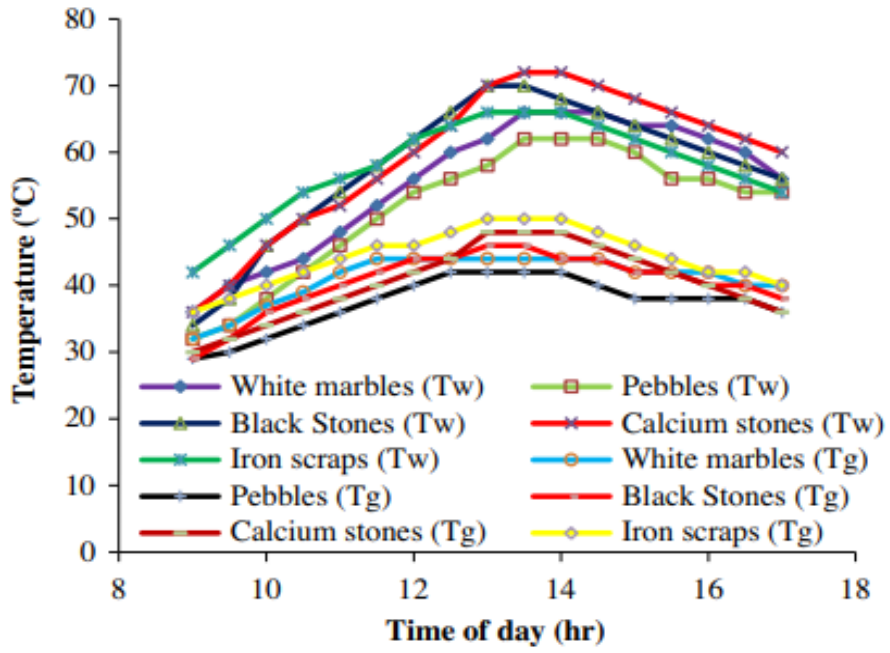
Termal enerji veya ısı, gizli ısı veya duyulur ısı olarak depolanabilir. Güneşin en yoğun olduğu saatlerde, güneş damıtıcısının yüzeyinde yüzer şekilde ya da damıtıcının taban kısmına yerleştirilmiş ısı depolama malzemeleri ile büyük miktarda güneş enerjisi gizli ya da duyulur ısı şeklinde depolanır. Güneş radyasyonunun yoğunluğu gün sonuna doğru düştüğünde depolanan ısı suya salınır ve damıtıcı gün ışığı olmadığı zamanlarda bile çalışır durumda kalır.

1.2.6.1 Duyulur Isı Depolama

Shanmugan et al. (2012) solar damıtma cihazının performansını analiz etmek için farklı duyulur ısı depolama malzemelerinin güneş enerjisi damıtma cihazına ayrı ayrı eklendiği deneyler gerçekleştirmiştir. Kullanılan malzemeler beyaz mermerler, çakıl taşları, siyah taşlar, kalsiyum taşları ve demir hurdalarıydı. Denemeler Hindistan'da Mart-Nisan aylarında benzer güneş ışığına ve ortam sıcaklığına sahip günlerde gerçekleştirilmiş ve olağandışı hava koşullarının olduğu günler göz ardı edilerek her deney aynı hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kalsiyum taşı diğer tüm malzemelerden daha yüksek özgül ısı kapasitesine (0,91 kJ/kg.K) sahip olduğundan, Şekil 1.8 ve 1.9'da gösterildiği gibi diğer malzemelerden daha yüksek su sıcaklığı ve su verimi elde edilmiştir.



Şekil 1.8 Farklı duyulur ısı depolama malzemelerinin verim karşılaştırılması
(Shanmugan et al. 2012)



Şekil 1.9 Farklı duyulur ısı depolama malzemelerinin sıcaklık karşılaştırılması
(Shanmugan et al. 2012)

1.2.6.2 Faz Değişim Malzemeleri (PCM'ler)

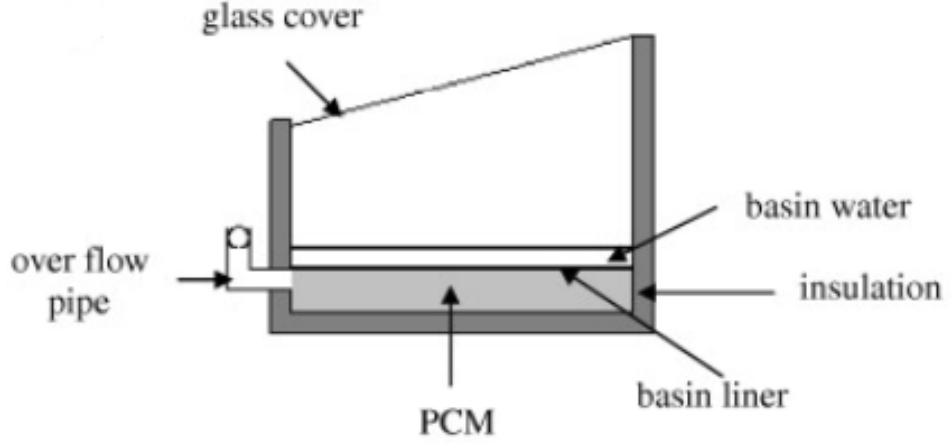
PCM'lerin solar damıtıcıların performansı üzerindeki etkisi literatürde daha geniş bir şekilde araştırılmıştır. PCM'ler, hem gizli hem de duyulur formlarda, özellikle gizli formda, büyük miktarda ısı depolama ve ardından düşük güneş saatlerinde serbest bırakma yetenekleri nedeniyle, güneş damıtıcısının daha verimli çalışmasına neden olur. PCM'ler organik veya inorganik olabilir. Organik olanlar arasında parafin mumu belki de en önde gelen adaydır ve literatürde en çok çalışılan PCM'dir. Parafin mumunun bazı özellikleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Parafin mumu özellikleri

No.	Özellik	Değer
1	Isıl İletkenlik	0.24 W/m.K
2	Erime Noktası Sıcaklığı	56°C
3	Gizli Isı	226 kJ/kg

4	Isı Kapasitesi (Katı)	2.95 kJ/kg.°C
5	Isı Kapasitesi (Sıvı)	2.51 kJ/kg.°C
6	Yoğunluk (Katı)	818 kg/m ³
7	Yoğunluk (Sıvı)	760 kg/m ³

Tabrizi et al. (2010) hem güneşli hem de bulutlu günlerde Mayıs ayında hem PCM olarak parafin mumlu hem de PCM'siz kademeli güneş damıtıcısı üzerinde deneyler yapmıştır. Güneşli günde su veriminde bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak bulutlu günde, PCM'li damıtma cihazı, sırasıyla 3,4 ve 2,1 kg/gün.m² su verimliliği ile PCM'siz damıtma cihazından daha iyi performans göstermiştir. El-Sebaai et al. (2009) inorganik bir PCM olan stearik asit içeren ve içermeyen iki güneş enerjisi damıtma cihazının teorik bir analizini yapmıştır. Stearik asit emicinin altına ancak yalıtım üstüne yerleştirilmiştir, yani havza tabanı ve alt yalıtım arasında. Bir yaz gününde, emici altında 3,3 cm stearik asitli damıtma cihazı, sırasıyla 9,005 ve 4,998 kg/gün.m² su üretkenliği ile stearik asitsiz damıtmadan daha iyi performans göstermiştir. Stearik asitli güneş damıtma cihazının enerji verimliliği %84,3 idi. PCM kütlesinin artmasının gündüz üretkenliğini azalttığı, ancak sistemde depolanan gizli ısı miktarındaki artış nedeniyle toplam üretkenliğin yanı sıra gece üretkenliğinin de arttığı bulunmuştur. Kabeel et al. (2018) teorik yaklaşım kullanarak farklı organik ve inorganik PCM'lerin performansını karşılaştırmıştır. Sekiz organik (A32, A39, A42, A48, A53, A55, A58, A62) ve en yaygın üç inorganik PSM (CaCl₂.6H₂O, kaprik palmitik, stearik asit) dahil edilmiştir. Organik PCM'ler arasında A48 en yüksek su verimine ve en düşük maliyete sahipken, inorganik PCM'ler arasında kaprik palmitik en yüksek su verimine ve en düşük maliyete sahipti. Ancak, çevreye daha az zararlı etkisi nedeniyle A48 önerilmiştir.



Şekil 1.10 Stearik asitli güneş damıtıcısı (El-Sebaii et al. 2009)

1.2.7 Geleneksel Olmayan Isıtma Modu

Geleneksel güneş damıtıcısı, emici yüzey alt kısmında yer aldığından, ham suyun ısıtılmasının birincil yolu olarak alttan ısıtmayı içerir. Bu ısıtma modunun daha iyi performans ve üretkenlik gösteren alternatifleri vardır.

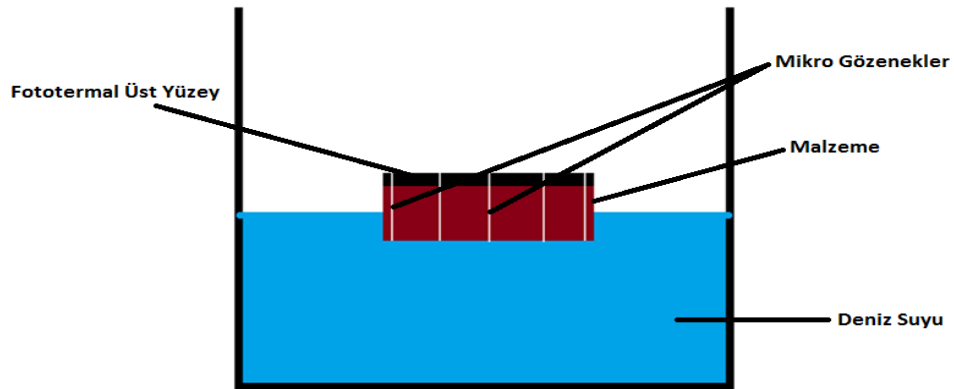
1.2.7.1 Hacimsel Buharlaşma

Nanoakışkanlar, asılı nanoparçacıklara sahip sıvılardır. Nanoparçacıkların güneş damıtmasında su verimini arttırdığı gösterilmiştir. Nanoparçacıklar, sıvı içinde süspansiyon halinde kalan ve dibe çökmeyen küçük partiküllerdir, baz akışkanın (su) termo-fiziksel özelliklerini geliştirir. Suyun ısıl iletkenliği ve emiciliği, nanoparçacıklar eklenerek önemli ölçüde artırılabilir. Bu, gelişmiş ısı transfer hızı, eşit ısıtma ve dolayısıyla daha yüksek su sıcaklığı ve buharlaşma oranı ile sonuçlanır. Nanoparçacıklar ayrıca güneşin en yoğun olduğu saatlerde ısıyı depolar ve bu enerji, yüksek tatlı su miktarı eldesi için gece boyunca kullanılabilir. Farklı tipteki nanoparçacıkların, güneş damıtıcısının performansı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Sindal et al. (2013) ZnO nanoparçacıkları ekleyerek verimliliğin yanı sıra su kalitesinin de arttığını göstermiştir. Aynı sonuç CuO nanoparçacıkları için de bulunmuştur. Wang et al. (2018) Çin mürekkebinin dispersiyon stabilitesini ve fototermal dönüşümünü Cu ve CuO nanoparçacıkları ile karşılaştırdı. Çin mürekkebi karbon siyahı pigmenti ile sulu bir tutkaldan ibarettir. Nanoparçacık olarak kullanılmış Çin mürekkebindeki karbon siyahı, yüksek fototermal dönüşümünde ana faktördür ancak Çin mürekkebinin oluşturan sulu tutkal aslında nanoparçacıkların kümeleşmesine neden olur. Bu durum güneş termal enerji sisteminde güneş ışığına maruz kalan yüzeyi azalttığı için

nanoparçacıkların kümeleşmesi ve belli noktalarda birikmesi istenmeyen bir durumdur. Kabeel et al. (2014) hem harici kondanserli hem de kondansersiz nanoparçacıklar olarak Al_2O_3 içeren bir güneş enerjisi damıtma cihazı üzerinde bir deney gerçekleştirmiştir. Nanoparçacıklar eklendiğinde ancak vakum fanı kullanılmadığında güneş damıtıcısının su veriminin %76 ve hem nanoparçacık hem de fan dahil edildiğinde %116 arttığı bulunmuştur. Kabeel et al. (2014) CuO ve Al_2O_3 olmak üzere iki farklı nanoparçacık ile bir güneş enerjisi damıtma cihazının performansını deneysel olarak karşılaştırmıştır. CuO-bazlı nanoparçacıklar, Al_2O_3 -bazlı partiküllerden daha iyi performans göstermiştir. Fanlı ve fansız nanoparçacık kullanılan damıtıcıda CuO-bazlı nanoparçacıklar, geleneksel güneş damıtıcısına kıyasla su veriminde sırasıyla %133,64 ve %93,87'lik bir artış sağlarken, Al_2O_3 -bazlı nanoparçacıklar aynı durumda %125,0 ve %88,97 artış sağlamıştır. Maksimum su verimi, fanlı %0.2 CuO konsantrasyonu için bulunmuştur.

1.2.7.2 Arayüzey Buharlaşması

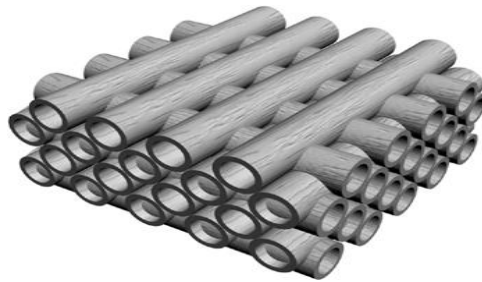
Arayüzey buharlaşması şu anda akademide önemli bir araştırma alanıdır. Su yüzeyinin hemen üzerine yerleştirilmiş güneş ışığının birincil emicisi olarak belirli özelliklere sahip (kılcal etki yoluyla su nüfuzuna ve yüksek güneş emiciliğine izin veren) fototermal malzemelerden (PTM'ler) yapılmış 3 boyutlu gözenekli bir yapıya sahip su havzasını içerir. 3D gözenekli PTM, altındaki suyun az miktarda içinden yükselmesini sağlar ve yerel bir şekilde ısıtır. Bu lokalize ısıtma, su üretim oranında bir artışa neden olur. Bu tür sistemler, %100'e yakın çok yüksek verimlilikler göstermiştir. 3D gözenekli yapı, alt ısı kaybını azaltmak için altındaki sudan yalıtım ile ayrılmıştır. Bu tür desalinasyonla ilgili en temel biçim, fitil tipi güneş damıtma cihazıdır. Fitil, siyah pamuk, jüt kumaş, polistiren sünger vb. gibi pek çok malzemeden yapılabilir. Fitil tipi güneş damıtıcıları, geleneksel güneş damıtıcısına kıyasla daha iyi üretkenlik göstermiştir.



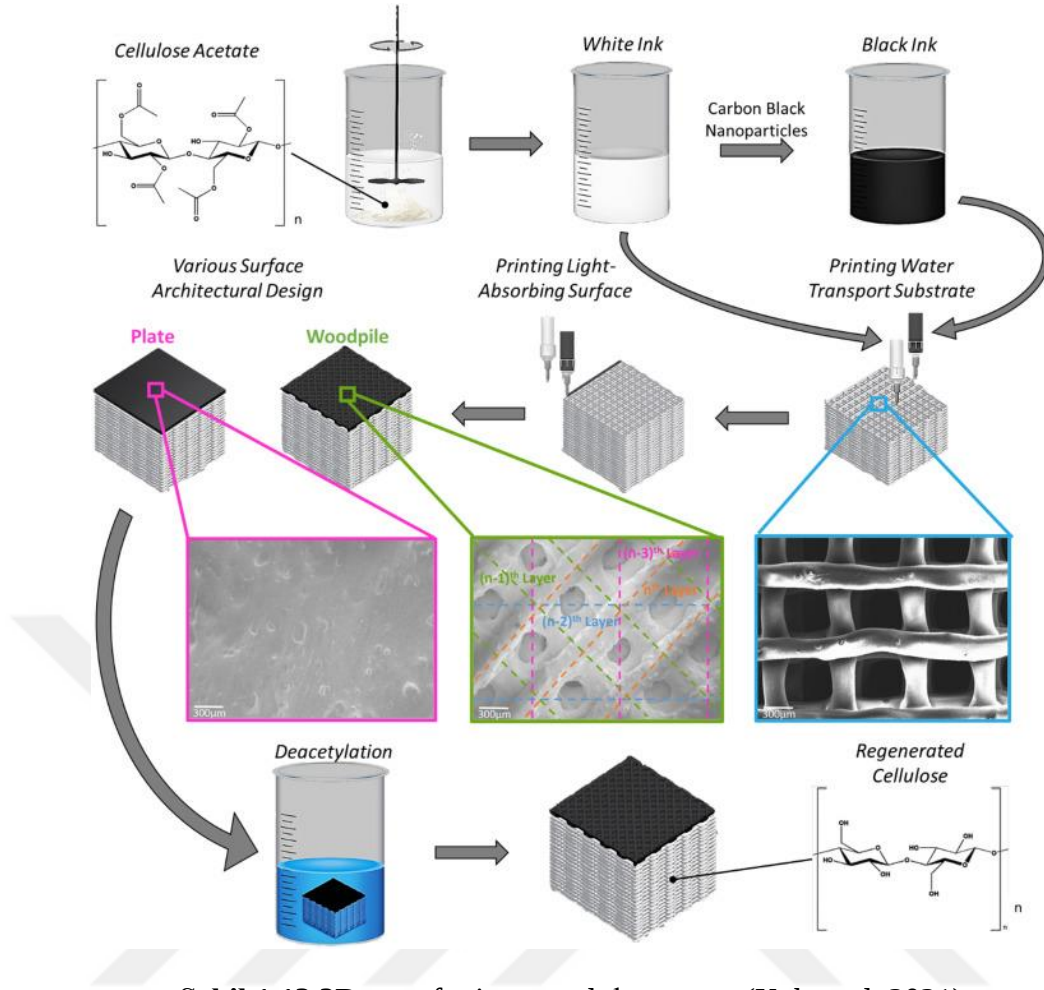
Şekil 1.11 Arayüzey buharlaşması

Literatürde bulunan arayüzey buharlaşmasına dayalı modern desalinasyon sistemi fikirleri aşağıda verilmiştir:

Koh et al. (2021) ara yüzeyde kullanılmak üzere yeni bir plastik-bazlı malzeme türü önermiştir. Bu malzeme yüksek oranda amorf rejenere selüloz olup 3D baskı teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Geliştirilen malzeme mükemmel bir kılcal etki gösterirken, güneş radyasyonunun absorpsiyonunu artırmak için karbon siyahı nanoparçacıklar katmanı yapının en üstüne yerleştirilmiştir. Deney, arojeller ve hidroajeller gibi önerilen diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, 1 kW/m^2 güneş akısı altında $3,01 \text{ kg/saat.m}^2$ gibi daha yüksek bir buharlaşma hızı sağlanmıştır. Üst yüzey için farklı mimari özelliklere dayalı olarak 3D teknolojisi ile iki örnek oluşturulmuştur: düzgün bir yapı ve çapraz bir yapı (çapraz dizilmiş boru demetlerine benzer yapı, şekil 1.12’de gösterildiği gibi). Artan güneş enerjisi ile buharlaşma oranında önemli bir değişiklik göstermeyen diğer malzemelerin aksine, çapraz bağlı üç boyutlu amorf selüloz yapı önemli bir performans göstermiştir, güneş yoğunluğu arttıkça buharlaşma oranında artış olmuştur. Örneğin, 3 kW/m^2 güneş akısı altında çapraz tabanlı yapı için buharlaşma hızı $7,35 \text{ kg/saat.m}^2$, gibi yüksek bir değer almıştır. Yazar, mimari özelliklerdeki farklılığın bu farklı davranışları açıklayabileceğine dikkat çekmiştir. Çapraz yapı hem kılcal hem de difüzyonlu su hareketini içeriyordu, diğeri düz yüzeyli yapı ise sadece difüzyonal hareketi içeriyordu. 3D baskı yoluyla birbirine bağlı su kanallarının dahil edilmesiyle, tuz iyonları yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona geçebilir, böylece deniz suyunun tuzdan arındırılması durumunda tuz birikimi sorununa çözüm sağlar. Bu teknikle üretilen suyun kalitesi de araştırılmış ve tuzluluk seviyesi Dünya Sağlık Örgütü’nün belirlediği eşiğin çok altına çekilmiştir.



Şekil 1.12 Çapraz yapı (Garcia, 2007)

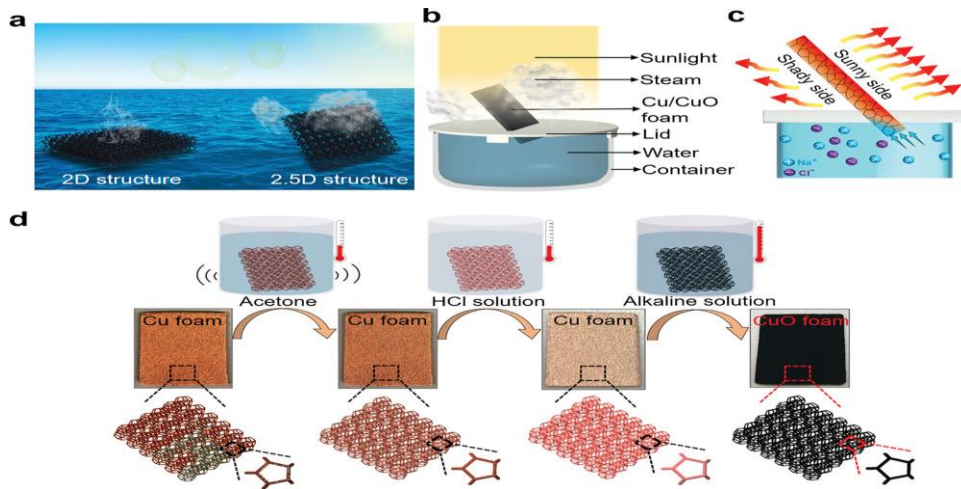


Şekil 1.13 3D amorf rejener selüloz yapısı (Koh et al. 2021)

Zhu et al. (2021) α -faz molibden karbür nanokristaller gömülü karbon buketlerinden (α -MoC_{1-x}@CB) oluşan yeni bir PCM yapısı önermiştir. İlk önce Mo-prekürsör üretilerek ve ardından N₂'de karbonlaştırılarak üretilmiştir. Düz düzlem yerine malzeme, ucu deniz suyuyla temas halinde ve deniz suyu içeren havzanın çapı koninin çapına eşit olacak şekilde konik bir şekle getirilmiştir. Isı lokalizasyonunu en üst düzeye çıkarmak için bir polistiren kuyusu içeriyordu. Mükemmel optik ve fototermal dönüşüm etkisinin yanı sıra geniş yüzey alanına sahip oldukça gözenekli bir malzeme olması sayesinde yüksek buharlaşma oranı elde edilmiştir. Konik tasarımda, 0,5 mg/cm² PCM yükü ile su verimi 2,61 kg/saat.m² ve 0,008 mg/cm² ultra-düşük yük ile su verimi 1,80 kg/saat.m² olacak şekilde konvansiyonel damıtıcılardan daha yüksektir. Konvansiyonel damıtıcılarda bu verimler sırasıyla 1,70 kg/saat.m² ve 1,22 kg/saat.m² dir. Koninin kenarından başlayıp diğer kısımlara doğru ilerleyen tuz birikimi sorununu engellemek için, bir ucu koninin üst kısmına, diğer ucu da suyun içinde olacak şekilde bir 'tuzlu su kapalı döngüsü' yapan hidrofilik pamuk ağ kullanılmıştır. Koninin üst yüzeyi ile deniz suyu arasındaki tuzun

konsantrasyon gradyanı, suyu yukarı doğru pompalarken, tuzun deniz suyuna doğru hareket etmesine neden olur, böylece sadece tuz birikimi sorununu çözmekle kalmaz, aynı zamanda buharlaşma oranını da önemli ölçüde artırır. Örneğin, çok düşük yüklerde ($0,008 \text{ mg/cm}^2$), $2,4 \text{ kg/saat.m}^2$ 'e kadar daha yüksek bir buharlaşma oranı göstermiştir.

Liu et al. (2021) Cu/CuO köpüğünden oluşmuş 2.5D buharlaştırıcı kullanarak arayüzey buharlaştırma ile direkt güneş desalinasyonun performansını deneysel olarak tartışmıştır. Yapının mikro düzeydeki gözenekliliği ve Cu köpüğün süper hidrofilliği, kılcal etki altındaki su için mükemmel bir taşıma sistemi sağlar. Cu köpüğün oksidasyonu, siyah Cu/CuO köpüğüne neden olur, bu da malzemenin mikro gözenekler yüzünden olan iç yansımaları ve saçılmasını artırır veya başka bir deyişle, malzemeden ısı kaybını azaltır ve fototermal etkisini artırır. Sonuç olarak, bu kadar kolay imal edilebilen bir ortam ile yüksek bir buharlaşma oranı elde edilebilir. Konik tasarımda ara yüzey malzemesi '2.5D' olan basit bir düzlemsel yapıdır. Bir taraf 55° derecelik bir açıyla yükseltilmiş ve diğer taraf tuzlu su ile temas halindedir. Bunu yaparak, dipteki tuzlu suya olan ısı kaybı azaltılabilir, böylece daha yüksek bir buharlaşma oranı elde edilebilir. Güneş ışığına maruz kalan taraf, yüksek ısı iletkenliği ($3,8 \text{ W/m.K}$) sayesinde ısı enerjisinin bir kısmını karşı tarafa aktarır. Tüm kurulum ile 1 kW/m^2 güneş akısı altında $4,1 \text{ kg/saat.m}^2$ 'lik bir buharlaşma hızı elde edilmiştir. Aynı zamanda tuz geçirgenliği az olan bir ortam olduğundan, temel versiyonlarda karşılaşılan tuz birikimi etkisini en aza indirdiği gösterilmiştir. Yazar, optimum tasarım koşullarına ulaşmak için tasarım ve çevresel parametreleri değiştirerek önerilen sistemin deneysel olarak bir parametrik analizini de gerçekleştirmiştir.



Şekil 1.14 Cu/CuO köpüklü arayüzey buharlaşması (Liu et al. 2021)

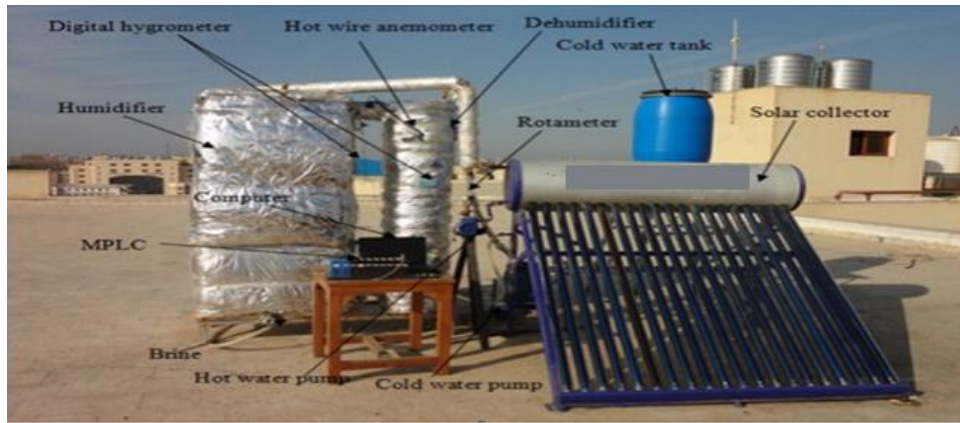
Luo et al. (2021) arayüzeysel buharlaşmanın mekanizması ve hacimsel buharlaşma ile karşılaştırılması ile ilgili daha önceki çalışmalarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçların ve araştırmacılar tarafından verilen çelişkili açıklamaların yarattığı bazı yanlış anlamaları ve kafa karışıklıklarını gidermek için ısı transferinin basit ilkelerine dayanan matematiksel modeli kullanarak arayüzey buharlaşmasını analiz etmiştir. Yaklaşım, çoğunlukla sisteme geçici enerji dengesini uygulayan teorik analize dayalıdır.

Dört ana sonuç çıkarıldı. Birincisi, popüler görüşün aksine, arayüzey buharlaşmasının hacimsel buharlaşmaya göre doğal bir avantajı yoktur. Ara yüzey buharlaşması durumunda daha yüksek buharlaşma oranı, daha az ısı yalıtımı gerektirmesi ve dolayısıyla daha az ısı kaybı içermesinden kaynaklanmaktadır. Hacimsel buharlaşmada, su kütlesinin kalınlığı arttıkça damıtıcının yanal yüzeylerinden olan ısı kayıplar artmakta ve dolayısıyla buharlaşma verimi düşmektedir. Ara yüzey buharlaşması durumunda geçici ısıtma süresi daha kısadır, bu da buharlaşmanın daha hızlı gerçekleştiği anlamına gelir. Aksine, hacimsel buharlaşma durumunda, deniz suyunun kararlı hal koşullarına ulaşması için daha fazla zamana ihtiyaç vardır. İkincisi, bazı çalışmaların buharlaşma yüzey alanı ile buharlaşma hızı arasında pozitif bir ilişki (ve birim alan başına güneş akısı ile buharlaşma hızı arasında zıt) ve diğerlerinde ters bir ilişki gösterdiği geçmiş araştırmalarda ortaya çıkan çelişki ile ilgili olarak, doymamış bir ortam, artan güneş akısı veya artan buharlaşma sıcaklığı, buharlaşma oranını düşürür, çünkü yüksek sıcaklığı yüksek ısı kayıplarına neden olur. Bununla birlikte, doymuş bir ortamda (bağıl nemin %100 olduğu yerde), ters etki gözlenir, yani artan güneş akısı veya artan buharlaşma sıcaklığı, buharlaşma oranını artırır. Üçüncüsü, buharlaşma hızı ve buharlaşma verimliliği için iki farklı sistemi karşılaştırmak için, standart çevresel koşullar göz önünde bulundurulmalıdır, çünkü hem dış sıcaklığın hem de bağıl nemin (sıcaklık daha baskın bir faktör olmak üzere) genel buharlaşma hızının yanı sıra karanlık buharlaşma ve saf güneş-kaynaklı buharlaşma da üzerinde etkisi vardır. (Kapalı bir sistem olan) basit bir güneş enerjisi damıtma cihazına ara yüzey buharlaşmasını dahil etmek, damıtma cihazının su üretim oranını artırmaz. Arayüz buharlaşması tek başına daha iyi performansa neden olabilir. Ara yüzey buharlaşması geleneksel güneş enerjisi damıtma cihazına dahil edilmemelidir. Bunun yerine ayrı bir sistem gereklidir. Deneylerle kanıtlanmıştır. Teorik sonuçların geçerliliğini araştırmak için deneysel çalışmalar da yapılmıştır. Havanın camla kaplı kapalı bir ortamda doymun olması nedeniyle, güneş damıtıcısı da dahil olmak üzere ara yüzey buharlaşması uzun vadede faydalı olamaz.

1.2.8 Güneş Nemlendirme-Nem Alma – SHDH

Geleneksel solar damıtma cihazında buharlaşma ve yoğuşma aynı ortam içinde gerçekleşir. Bununla birlikte, bu iki işlem, su buharını taşımak ve hareket ettirmek için havayı kullanan ayrı iki ortam arasında gerçekleşebilir. Bu modifiye edilmiş sistem nemlendirme-nem alma işleminin güneş deslalinasyon sistemine entegre edilmesiyle oluşur. Yağmur ve tatlı su üreten doğal su döngüsünü taklit eder. Güneş enerjisi, büyük su kütlelerindeki (deniz en büyük su kütesidir) suyun buharlaşmasını ve buhara dönüşmesini sağlar. Bu buhar, difüzyon ve taşınım kütle transferinin bir sonucu olarak atmosferik havada yükselir. Su buharı, düşük sıcaklık bölgesine ulaşacak kadar yüksek olduğunda, yoğunlaşarak bulutlara dönüşürler. Kütle yeterince büyük olduğunda, yağış gerçekleşir.

Güneş kollektöründe güneş enerjisiyle ısıtılan sıcak deniz suyunun havaya serpiştiği bir nemlendiriciye hava üflenir, böylece hem kuru termometre sıcaklığı hem de havanın özgül nemi artar. Çıkışta havanın soğuk deniz suyu ile soğutulduğu nem alma bölümüne girerek hem sıcaklık düşüşü olarak duyulur ısıyı hem de nem kaybı olarak gizli ısıyı kaybederek tatlı su verir. Deniz suyu, güneş kollektörüne girmeden önce nem alma bölümünde ön ısıtmaya tabi tutulur. Bu şekilde havanın hem duyulur hem de gizli ısı kaybı geri kazanılır. Aynı sistem Hamed et al. (2015) tarafından teorik ve deneysel olarak analiz edilmiş ve çok yüksek bir su verimi (11 L/gün.m^2) göstermiştir. Başka bir varyasyonda, su yerine hava, nemlendirmeden önce güneş kollektöründe ısıtılır.



Şekil 1.15 Güneş nemlendirme-nem alma sistemi (Hamed et al., 2015)

Al-Sulaiman et al. (2015) iki farklı hava-ısıtmalı güneş HDH sisteminin performansını karşılaştırmıştır. Birinci sistemde güneş enerjili hava ısıtıcısı nemlendiriciden önce, ikinci

sistemde ise nemlendiriciden sonra yer almaktadır. Hava ısıtıcısının nemlendiriciden sonra olduğu durumda damıtıcı verimi daha yüksek çıkmıştır.

Yukarıda tartışılan güneş enerjisiyle desalinasyon sisteminin performansını iyileştirmeyi amaçlayan tüm tekniklerin bir özeti Tablo 1.2’de sunulmuştur. Tüm araştırmalarda iklimsel, coğrafi ve geometrik koşullar farklıdır. Ancak tüm çalışmalardan, değiştirilmiş sistemlerin genellikle basit güneş damıtma sisteminden daha iyi performans gösterdiği sonucuna varabilir.

Tablo 1.2 Farklı modifiye güneş desalinasyon sistemlerinin su verimi

Yazar	Yıl	Damıtıcı Tipi	Günlük Su Verimi (kg/m ²)
Tabrizi	2010	Kademeli	7.4
Tenthani	2012	Beyaz boyalı	2.55
Tenthani	2012	Siyah boyalı	2.38
Fathy	2018	Parabolik oluklu	10.93
Tabrizi	2010	Parafin mumlu	3.4
El-Sebaai	2009	Stearik asitli	9.005
Hamed	2015	Nemlendirme ve nem alma	11

1.3 Hipotez

Bu çalışmada önerilen tasarım, güneş enerjisiyle nemlendirme-nem alma işlemini parabolik-oluklu bir güneş kollektörü ve tek-eğimli bir güneş damıtma cihazı ile birleştirmektedir. Nemlendirme-nem alma prosesinin termal enerji gereksinimi sıcak hava olarak parabolik oluktan gelirken, güneş damıtıcısına su girdisi nemlendirme-nem alma prosesinde bakiye kalan veya sıcak hava tarafından absorbe edilmeyen sudan gelir. Bu sistemde biri nemlendirme-nem alma diğeri ise tek eğimli solar damıtma olmak üzere

iki noktadan tatlı su alınabilecektir. Bu entegre sistemin, geleneksel cihaza kıyasla güneş enerjisiyle desalinasyon sisteminin birim alanı başına su üretkenliğini artırabileceği varsayılmaktadır. Ayrıca, bu sistemin güneş enerjisi açısından geleneksel güneş enerjisi damıtma sisteminden daha fazla verimli olacağı ileri sürülmektedir. Parametrik analiz ile optimum tasarım ve çevre koşullarının da sağlanabileceği önerilmiştir.



2.1 Bileşenler

Sistemde üç alt sistem bulunmaktadır:

- Parabolik-oluklu güneş kollektörü
- Güneş enerjili nemlendirme-nem alma
- Tek-eğimli güneş damıtıcısı

Ayrıca, iki yardımcı bileşen vardır:

- Fan
- Pompa

2.2 Şematik ve Açıklama

Bu tez araştırmasında önerilen sistemin şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Temelde birbirine kanallar, borular ve fittingler vasıtasıyla bağlanan alt sistemleri içeren büyük bir entegre sistemdir. Birleştirilmiş iki direkt güneş desalinasyonu tekniği vardır: güneş nemlendirme-nem almalı sistem (SHDH) ve geleneksel tek-eğimli güneş damıtıcısı (SSSS) siyah-boyalı alt iç yüzeyli. Tek-eğimli güneş damıtıcısı, toplam kütle ve kısmi enerji girdisini güneş nemlendirme-nem alma işleminden, ana enerji girdisini ise doğrudan Güneş’ten alır. Güneş nemlendirme-nem alma, hava kütesini ve enerji girdisini parabolik-oluklu (PT) bir güneş kollektöründen alır. Bir fan atmosfer havasını parabolik oluk kollektörün alıcı borusuna yönlendirir, parabolik oluk kollektör güneş ışığını havanın içinden geçtiği alıcı tüp üzerinde yoğunlaştırarak havayı yüksek bir sıcaklığa ısıtır. Hava daha sonra güneş nemlendirme-nem alma ünitesine iletilir. Su kütlesi girdisini ise, aynı zamanda soğutma ortamı olan, bir pompa kullanarak doğrudan denizden alır. Kalan su güneş enerjisi damıtma cihazına beslenir.



23

2.3 Mekanizma

- Hava, fan vasıtasıyla PT güneş kollektörüne girer ve $T_{1,A}$ sıcaklığına kadar ısınır ve bağıl nemi azalır.
- (1-2) yolunu izleyen sıcak ve kuru hava daha sonra (2'-3') yolunu izleyen tuzlu suyun (tuzdan arındırılması gereken) havaya serpildiği nemlendiriciye girer. Sıcak havadan gelen bir miktar duyulur ısı, su molekülleri tarafından emilir ve bu da moleküllerin buharlara dönüştürülmesine neden olur. Buhar kuru hava tarafından emilir, bu da aynı enerjinin gizli enerji olarak havaya geri dönmesine neden olur. Bu, hava için $T_{2,A}$ 'ya sıcaklık düşüşü ve nem artışı ile sonuçlanır.
- Nemli hava daha sonra (2-3) yolunu izleyen nem alma cihazına girer ve burada aynı tuzlu su ile (1'-2') yolunu izleyen çığ noktasına kadar soğutulur. Tuzlu su (başlangıçta $T_{1,w}$ 'de nispeten soğuktur) nemlendiriciye girmeden önce nem alma cihazından geçer. Bu şekilde havadan duyulur ısıyı absorbe ederek tuzlu suyun ön ısıtılmasını sağlar. Böylece nem alma işleminin ısı kaybı çevreye atılmak yerine kullanılabilir. Suyun sıcaklığı $T_{2,w}$ 'ye yükselirken, hava sıcaklığı $T_{3,A}$ 'ya düşer. Çığ noktasının altında hava, sıvı su olarak buharını kaybeder ve nem alma cihazını nispeten soğuk, kuru hava olarak terk eder. Sıvı su, arzu ettiğimiz çıktı olan tatlı sudur.
- Nemlendirici içerisinde hava ile etkileşime girmeden aşağıya düşen suyun (2'-3') yolunu izleyen tuz içeriği yüksektir, çünkü nemlendirmede deniz suyunun bir miktarı hava tarafından absorbe edildi. Geriye kalan deniz suyu, tuz konsantrasyonu yüksek ve deniz suyunun başlangıç sıcaklığından kesinlikle daha yüksek olan $T_{3,w}$ sıcaklığına sahip tuzlu sudur. Bu su ve enerji SSSS'de kullanılabilir. SSSS, tuzlu suyu her zamanki gibi geleneksel şekilde ısıtır ve arzu ettiğimiz çıktı olan tatlı su üretir.
- Kısacası, iki kısımdan da tatlı su elde edilmiş olur: nem alma cihazı ve SSSS.

2.4 Metodoloji

Önerilen sistem, aynı girdi iklim koşulları ve aynı pasif modifikasyonlar altında çalışan geleneksel bir güneş damıtıcısına kıyasla daha iyi bir çıktı (daha yüksek su verimi ve enerji verimliliği) göstermelidir. Önerilen sistemin su verimini ve enerji verimliliğini belirlemek için bu çalışmada teorik analizler dikkate alındı. Teorik analiz için tüm sistemin matematiksel bir modeli geliştirildi. Matematiksel model EES kullanılarak

özöldü. Microsoft Excel ve SpaceClaim ayrıca sırasıyla bazı yan hesaplamalar ve sistem grafikleri için kullanıldı. Model, Türkiye'nin ve Avrupa'nın en büyük şehri ve bir kıyı megakenti olan İstanbul'da dört mevsim için uygulandı. Benzer şekilde, geleneksel güneş damıtıcısı için de matematiksel bir model geliştirildi ve aynı dijital araçlar kullanılarak özöldü. Her iki sistemin (geleneksel ve önerilen) performansı daha sonra EES-tabanlı programlardan elde edilen veriler kullanılarak karşılaştırıldı. Önerilen sistem her sezon için daha iyi performans gösterdi. Son olarak, farklı giriş parametrelerinin değiştirilmesinin sistem performansı üzerindeki etkisini belirlemek için önerilen sistem üzerinde parametrik bir analiz yapıldı. Tasarımla ilgili parametreler için tipik değerler girildi.



3.1 Tek-Eğimli Güneş Damıtıcısı

Tek-eğimli güneş damıtıcısının (SSSS) matematiksel modellenmesi, analiz için esastır. Önerilen sistemin kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için önerilen sistem, aynı iklim koşulları ve aynı pasif modifikasyonlar altında çalışan, en geleneksel ve temel güneş desalinasyonu cihazı olan tek-eğimli bir güneş enerjisi damıtma cihazı ile karşılaştırılmalıdır. Ayrıca, önerilen sistemde karşılaştırma için referans olarak kullanılan bağımsız geleneksel güneş damıtıcısı ile aynı boyutlara sahip tek-eğimli bir güneş damıtıcısı bulunmaktadır. Bu nedenle, hem bağımsız SSSS hem de önerilen sistemin bir bileşeni olan SSSS için bir matematiksel model yeterli olacaktır. SSSS, konvansiyonel sistemdeki tek tatlı su kaynağı ve önerilen sistemdeki iki kaynaktan biridir.

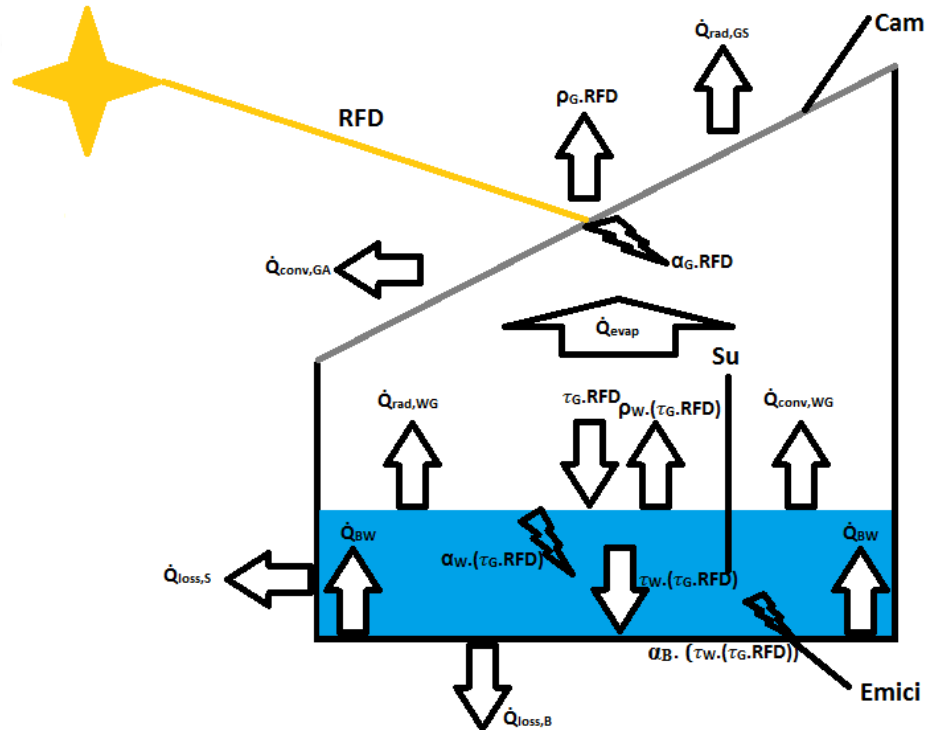
3.1.1 Analiz

Önerilen sistemde düşünülen tek-eğimli güneş damıtıcısında, tuzdan arındırılması gereken belirli bir miktar tuzlu su, atmosferik hava ve toprağa termal kayıpları azaltmak için dör taraftan ve ayrıca tabandan iyi yalıtılmış bir dökme demir havzaya dahil edildi. Kapak camdan yapılmıştır ve verilen konumun Dünya'nın ekvatoruna bakan enlemiyle aynı açıda eğimlidir. Bu nedenle, tek-eğimli güneş damıtıcısında üç bileşen vardır: cam, su, soğurucu. Soğurucu, siyaha boyanmış ve üzerine gelen tüm radyasyonları soğuran bir kara cisim olduğu kabul edilen havuzun dibindedir.

Güneş ışığı camdan damıtıcı haznesine girer. Cam, absorptivitesine bağlı olarak iç enerjisinde ve sıcaklığındaki bir artış olarak belirli bir miktarda güneş ışığını emer, yansıtıcılığına bağlı olarak belirli bir miktarı yansıtırken, çoğu radyasyon yüksek geçirgenliğine bağlı olarak geçer. Suyu ulaşan ışınlamalar da camla aynı bölünmeyi yaşar, bir kısmı su tarafından emilerek iç enerjisini ve sıcaklığını artırır, bir kısmı yansır, çoğu ise yüksek geçirgenliği nedeniyle sudan geçer. Soğurucuya gelen tüm ışınlamalar onun tarafından soğurulur, dolayısıyla bu kısımda hiçbir yansıma ve geçirgenlik olmaz. Böylece, soğurucu, tüm güneş damıtıcısında sıcaklıktaki en büyük artışı yaşar. Sonuç olarak, soğurucu ile hemen üzerindeki su arasında doğal taşınım ve radyasyon şeklinde ısı transferi gerçekleşir. Soğurucu ve cam arasındaki bu ısı transferi, su sıcaklığını önemli

ölçüde artıran birincil enerji kaynağıdır. Artan sıcaklık, buharlaşma hızında bir artışa neden olur, bu nedenle su buharları su yüzeyinden ayrılmaya başlar, yükselir ve sonunda gizli ısılarını düşük sıcaklıktaki cama kaybeder ve tekrar sıvı hale dönüşür. Bu sıvı su, deniz suyundan çok daha az tuz içeren tatlı su'dur. Soğurucu ile zemin, su ile atmosferik hava, su ile cam ve cam ile atmosferik hava arasında önemli bir sıcaklık farkı olduğundan, her durumda birincisi ikincisinden daha yüksek bir sıcaklıkta olduğundan, ısı kayıpları kaçınılmazdır. Bu nedenle, emici yüzey ile dış taban ve haznedeki su ile dış duvarlar arasında iletim ısı kaybı vardır, ancak bu kayıp tüm bu yüzeyler iyi yalıtıldığı için çok küçük ve ihmal edilebilir düzeydedir. Benzer şekilde su ile cam arasında taşınım ve ışıınım ısı kayıpları, cam ile atmosferik hava arasında taşınım ısı kayıpları ve cam ile gökyüzü arasında ışıınım ısı kayıpları vardır. Güneş ışığının güneş damıtıcısıyla olan tüm etkileşimi Şekil 3.1'de sunulmaktadır.

Termodinamik ve ısı ve kütle transferi prensipleri ile ısı ve kütle transferi ile ilgili sayısal olarak elde edilen bazı ilişkiler güneş enerjisi damıtıcısının enerji dengesi analizinde uygulanacaktır.



Şekil 3.1 Güneş damıtıcısı enerji analizi

3.1.2 Enerji Dengesi

Enerji dengesi için temel denklem, termodinamiğin birinci yasası tarafından sağlanır.

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = dE/dt \quad (3.1)$$

Bu denklemi cam, su ve emiciye uygulamak aşağıdaki denklemleri verir.

Cam:

Cam için termodinamiğin birinci yasası (giren enerji - çıkan enerji = depo edilen enerji) uygulandığında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$(\alpha_G.RFD.A_S + \dot{Q}_{rad,WG} + \dot{Q}_{conv,WG} + \dot{Q}_{evap}) - (\dot{Q}_{rad,GS} + \dot{Q}_{conv,GA}) = m_G.C_G.(dT_G/dt) \quad (3.2)$$

Su:

Su için termodinamiğin birinci yasası uygulandığında aşağıdaki denklem elde edilir. Eşitliğin sol tarafındaki birinci terim ışıınım yolu ile suya aktarılan enerjiyi ikinci terim ise su yüzeyinden ışıınım, taşınım ve buharlaşma yolu ile olan kayıp enerjileri göstermektedir. Eşitliğin sağ tarafındaki terim ise suyun iç enerjisindeki değişimdir.

$$(\alpha_W.(\tau_G.RFD).A_S + \dot{Q}_{BW}) - (\dot{Q}_{rad,WG} + \dot{Q}_{conv,WG} + \dot{Q}_{evap} + \dot{Q}_{loss,S}) = C_W.(d(T_W.m_W)/dt) \quad (3.3)$$

Emici:

Emici için de enerji dengesi aynı şekilde ifade edilebilir. Net enerji kazancı, aşağıda gösterildiği gibi sıcaklığında artışa neden olur:

$$\alpha_B.(\tau_W.(\tau_G.RFD)).A_S - (\dot{Q}_{BW} + \dot{Q}_{loss,B}) = m_B.C_B.(dT_B/dt) \quad (3.4)$$

Desalinasyon sisteminde etkili olan ısı transfer mekanizmaları için kullanılan eşitlikler Fourier yasası, Newton'un soğuma yasası ve Stefan-Boltzmann yasası kullanılarak aşağıda verilmiştir.

Su ve cam arasında ışıınım ısı transferi için aşağıdaki eşitlik kullanılacaktır:

$$\dot{Q}_{rad,WG} = \epsilon_W.\sigma.A_S.((T_W+273)^4 - (T_G+273)^4) \quad (3.5)$$

Su ve cam arasında taşınım ısı transferi için Newton'un soğuma yasası ifadesi kullanılacaktır:

$$\dot{Q}_{conv,WG} = h_i.A_s.(T_W - T_G) \quad (3.6)$$

Isı transfer katsayısı için Jakob (1949) tarafından verilen aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

$$h_i.L/k_A = Nu = 0.068.(Gr_H.Pr)^{1/3} \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliğinde kullanılan Grashoff sayısı aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir:

$$Gr_H = (g.(T_W - T_G).L^3)/(\beta.v^2) \quad (3.8)$$

Buharlaşma yolu ile su yüzeyinden eş zamanlı ısı ve kütle transferi için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_F.h_{fg} \quad (3.9)$$

Güneş damıtıcısından elde edilen tatlı su miktarını belirlemek için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$\dot{m}_F = h_{mass}.A_s.(\rho_{W,W} - \rho_{W,G}) \quad (3.10)$$

Kütle transfer katsayısı hesabında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$h_{mass}.L/D = Sh = 0.068.(Gr_M.Sc)^{1/3} \quad (3.11)$$

(3.11) eşitliğinde kullanılan kütle transfere ait Grashoff sayısı aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir:

$$Gr_M = (g.(\rho_A - \rho_W).L^3)/(\rho.v^2) \quad (3.12)$$

Cam ve hava arasında ışınlam ısı transferi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\dot{Q}_{rad,GS} = \epsilon_G.\sigma.A_s.((T_G+273)^4 - (T_{sky}+273)^4) \quad (3.13)$$

Gökyüzü sıcaklığını hesaplamak için aşağıdaki ilişki kullanılabilir (Toure ve Meukam, 1997):

$$T_{sky} = 0.0552T_{amb}^{1.5} \quad (3.14)$$

Cam ve hava arasında taşınım ısı transferi için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$\dot{Q}_{conv,GA} = h_o.A_s.(T_G - T_{amb}) \quad (3.15)$$

(3.15) eşitliğinde ısı transfer katsayısını bulmak için Tiwari et al. (2016) tarafından verilen aşağıdaki bağıntı kullanılabilir:

$$h_o = 5.7V + 3.8 \quad (3.16)$$

Absorber ve su arasındaki ısı transferi hesabında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\dot{Q}_{BW} = U_B.A_s.(T_B - T_W) \quad (3.17)$$

Toplam ısı transfer katsayısı, daha önce bulunan taşınım ısı transfer katsayıları kullanılarak hesaplanabilir.

$$U_B.L/k_W = 0.068.(Gr_H.Pr)^{1/3} \quad (3.18)$$

Güneş damıtıcısında yan yüzeyler ve tabanda meydana gelen iletim yolu ile ısı transferi kayıplarının hesabında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır:

$$\dot{Q}_{loss,S} = (k_l/\delta).A_s.(T_W - T_{amb}) \quad (3.19)$$

$$\dot{Q}_{loss,B} = (k_l/\delta).A_s.(T_B - T_{amb}) \quad (3.20)$$

3.2 Parabolik-Oluklu Güneş Kollektörü

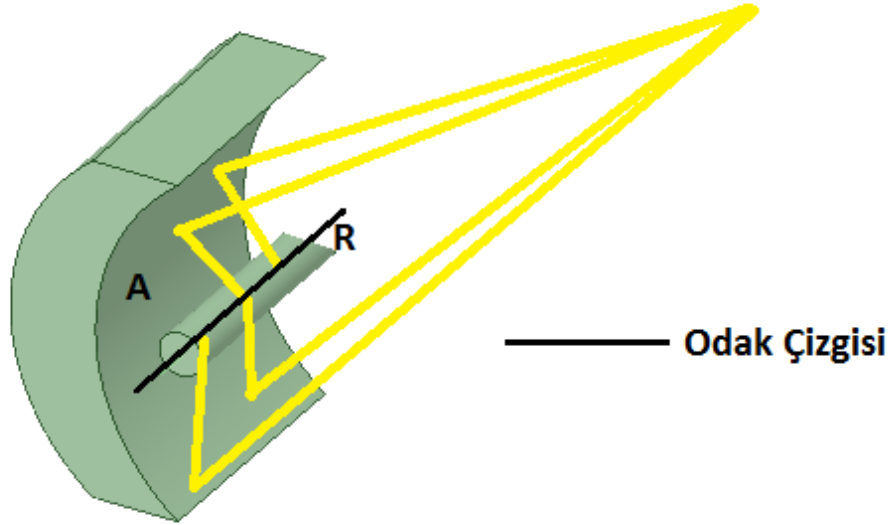
Parabolik-oluklu güneş kollektörü, güneş enerjisiyle nemlendirme-nem gidermeyi çalıştıran ve SHDH sürecinin termal enerji talebini karşılayan sistemin önemli bir bileşenidir. Aynı zamanda, tek-eğimli güneş enerjisi damıtma cihazına enerji girişine kısmen katkıda bulunur. Bu nedenle bu alt sistemin matematiksel modeli önemlidir.

3.2.1 Analiz

Parabolik-oluklu güneş kollektörü, bir açıklık ve bir alıcıdan oluşur. Açıklık, temel olarak, ahşap bir yapı tarafından desteklenen dökme demir çerçeveye tutturulmuş bir yansıtıcı yüzeydir. Alıcı boru, borudan akan akışkandan (hava) kaynaklanan ısı kayıplarını azaltmak için eşmerkezli silindirik bir cam kapak içine yerleştirilmiş çok küçük çaplı ve büyük termal iletkenliğe sahip bir dökme demir borudur. Hava, kollektörden hemen önce bir fan vasıtasıyla atmosferden üflenir.

İki tip konsantre güneş kollektörü vardır. Güneş ışınımını bir noktaya yoğunlaştıran kollektörler, yani bu kollektörler odak noktalarında nokta konsantrasyonunu içerir. Güneş ışınımını bir hat boyunca yoğunlaştıran kollektörler, yani bu kollektörler odak hatlarında lineer konsantrasyon içerir. PT lineer konsantrasyona aittir. Açıklığa gelen güneş radyasyonları, açıklık tarafından alıcı tüpün eşmerkezli olarak yerleştirildiği odak hattında yansıtılır. Açıklığa gelen ve alıcıya yansıyan toplam güneş enerjisi miktarı, ısı kayıplarının olmadığı varsayılarak eşittir. Ancak alıcının alanı açıklığından çok daha az olduğu için, açıklığa kıyasla birim alanı üzerinde çok daha fazla enerji alır, bu da borudan akan sıvı (hava) için önemli ölçüde büyük bir sıcaklık artışına neden olur. Alıcı için ısıma akı yoğunluğunun açıklık için ısıma akı yoğunluğuna oranına konsantrasyon oranı denir ve konsantrasyonu içeren tüm durumlarda birden büyük olmalıdır.

$$RFD_R/RFD_A = C.R \quad (3.21)$$



Şekil 3.2 PT kollektörü konsantrasyon

3.2.2 Enerji Dengesi

Hava:

Hava için termodinamiğin birinci yasası uygulandığında aşağıdaki eşitliği elde ederiz. Kollektör verimi kollektörden çevreye olan ısı kayıplarını kapsar. Güneş kollektörünün

verimliliğine bağılı olarak, kollektör tarafından toplanan güneş enerjisinin belirli bir kısmı hava tarafından emilir ve bu da hava sıcaklığında artışa neden olur.

$$\eta_{C.RFD_{R.AR}} = \dot{m}_A.C_{P,A}.(T_{1,A} - T_{amb}) \quad (3.22)$$

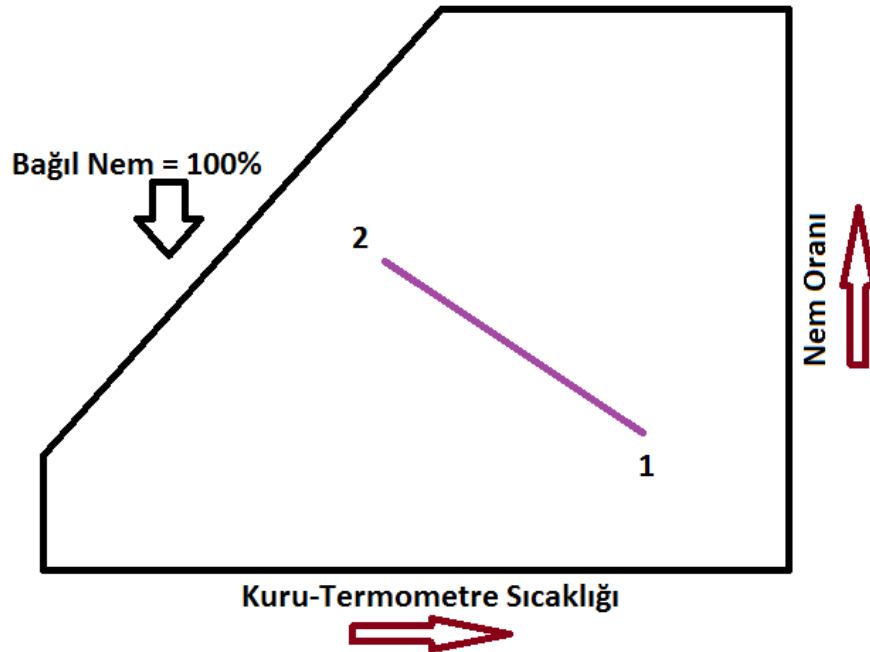
3.3 Güneş Nemlendirme-Nem Alma

Güneş enerjisiyle nemlendirme-nem alma, nemlendirici ve nem alma cihazı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Nem alma cihazı, önerilen sistemimizde ikinci tatlı su kaynağıdır, ilki tek-eğimli güneş damıtıcısıdır. Bu nedenle, bu bölümün termodinamik analizi, sistemin matematiksel modeline dahil edilmelidir.

3.3.1 Analiz

3.3.1.1 Nemlendirici (1-2)

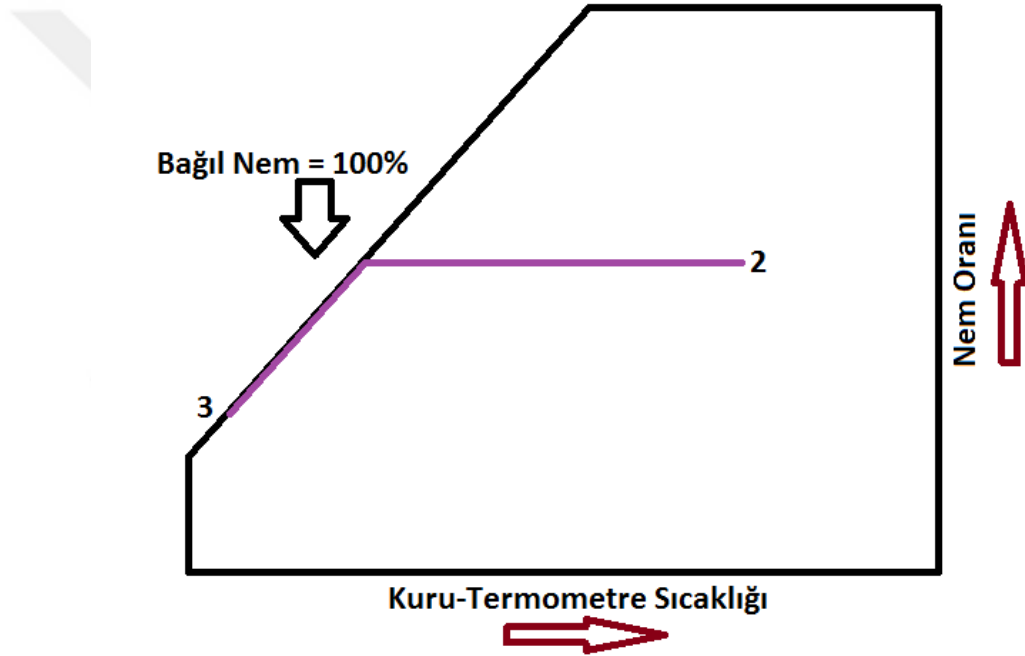
Psikrometrik diyagramda (Şekil 3.3) gösterildiği gibi, nemlendirme odasında havanın bağıl nemi artar kuru termometre sıcaklığı düşer. Veya başka bir deyişle, duyulur ısı gizli ısıya dönüşmüştür. Havaya serpilen su için ise tam tersi geçerlidir, nem miktarı azalır sıcaklığı artar. Su, sıcaklık farkının bir sonucu olarak havadan duyulur ısıyı absorbe eder daha sonra bu duyulur ısıyı su buharı şeklinde gizli ısı olarak kaybeder.



Şekil 3.3 Psikrometrik diyagramda nemlendirme işlemi

3.3.1.2 Nem Giderici (2-3)

Psikrometrik diyagramda (Şekil 3.4) gösterildiği gibi, nem alma odasında hava daha da soğutulur. Başlangıçta, spesifik nemde herhangi bir değişiklik gözlenmez. Sıcaklıktaki bir azalma, bağıl nemin artmasına neden olur. Hava, %100 bağıl nem çizgisiyle bulunduğu çığ noktasına kadar soğuduğunda veya başka bir deyişle doyduğunda, sıvı su olarak buharlarını kaybetmeye başlar. Bu süreçte, doyma noktasına kadar, hava yalnızca duyulur ısını kaybederken, doymalıktan sonra hem duyulur hem de gizli ısını kaybeder. Soğutma suyu ise havanın kaybettiği tüm ısıyı emerek ön ısıtmaya tabi tutulur ve bu da sıcaklığının artmasına neden olur.



Şekil 3.4 Psikrometrik diyagramda nem alma işlemi

3.3.2 Enerji Dengesi

3.3.2.1 Nemlendirici

Evaporatif soğutma sırasında havanın entalpisi sabit kaldığından, aşağıdaki enerji denkleminde gösterildiği gibi, hava sıcaklığındaki düşüş neminde artışa neden olur:

$$\dot{m}_A \cdot (C_{p,A} \cdot T_{1,A} + w_1 \cdot h_{fg}) = \dot{m}_A \cdot (C_{p,A} \cdot T_{2,A} + w_2 \cdot h_{fg}) \quad (3.23)$$

3.3.2.2 Nem Giderici

Hava:

Nem gidericinden geçen hava için termodinamiğin birinci yasası uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir. Nem gidericinden geçerken, hava bir miktar hissedilir ısı (ön ısıtma) ve bir miktar gizli ısı (tatlı su üretir) kaybeder, bu nedenle havanın hem sıcaklığı hem de nemi düşer.

$$\dot{m}_A.(C_{p,A}.T_{2,A} + w_2.h_{fg}) - \dot{Q}_{loss} - \dot{m}_F.h_w = \dot{m}_A.(C_{p,A}.T_{amb} + w_3.h_{fg}) \quad (3.24)$$

Su:

Nem gidericinde hava tarafından kaybedilen hissedilir ısı deniz suyu tarafından emilir, bu da deniz suyunun ön ısıtmasına neden olur.

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{m}_{W,2}.C_{p,W}.(T_{2,W} - T_{amb}) \quad (3.25)$$

3.3.3 Kütle Dengesi

3.3.3.1 Nemlendirici

Nemlendiriciden geçen hava için Kütlenin Korunumu Yasası uygulanırsa aşağıdaki eşitliği elde ederiz. Havanın özgül nemindeki değişiklik, deniz suyu miktarındaki değişikliklerdir.

$$\dot{m}_A.(w_2 - w_1) = \dot{m}_{W,2} - \dot{m}_{W,3} \quad (3.26)$$

3.3.3.2 Nem Giderici

Nem gidericinden geçen hava için Kütlenin Korunumu Yasası bu denklemi verir. Ayrıca bu denklemi kullanarak nem gidericinden elde edilen tatlı su miktarı da belirleneceğiz.

$$\dot{m}_A.(w_2 - w_3) = \dot{m}_{F2} \quad (3.27)$$

3.4 Sistem Genel Performansı

Sistemin genel performansı, su verimi ve enerji verimliliği kullanılarak belirlenebilir. Bu parametrelerin her ikisi için ilişkiler aşağıda verilmiştir:

3.4.1 Su Verimi

Toplam tatlı su miktarı, güneş damıtıcısından gelen tatlı su miktarı ile nem gidericinden gelen tatlı su miktarının toplamıdır.

$$m_T = (\dot{m}_F + \dot{m}_{F2}).t / (A_A + A_S) \quad (3.28)$$

3.4.2 Enerji Verimliliği

Burada çıktı üretilen suyun buharlaşma ısısıdır.

$$\eta_E = \dot{m}_T \cdot h_{fg} / RFD \quad (3.29)$$

Referans güneş desalinasyon sistemi (geleneksel SS) durumunda, (3.28) eşitliğinde $\dot{m}_{F2}$ 'nin 0'a eşit olduğuna ve (3.29) eşitliğinde de açıklık alanı bulunmadığına ($A_A = 0$) dikkat edilmelidir. Çünkü geleneksel güneş damıtıcısında sadece bir noktadan tatlı su alınmaktadır, bu nedenle 'Su Verimi' ifadesinde $\dot{m}_{F2} = 0$ 'dır, yani ikinci bir kaynaktan tatlı su kazanımı olmamaktadır. Ayrıca geleneksel güneş damıtıcısında, güneş enerjili parabolik kollektör de olmadığı için, 'Enerji Verimliliği' denkleminde $A_A = 0$ 'dır.



4.1 Girdiler

4.1.1 Varsayımlar

Sistemin analizinde (hem referans sistem hem de önerilen sistem) aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır. Bazı varsayımlarda bulunmanın amacı, analiz ve hesaplamaları kolaylaştırmaktır. Analizde yapılan tüm varsayımlar oldukça makul ve geçerlidir, hesaplamalar ve sonuçlar üzerinde önemsiz veya küçük bir etkisi vardır. Bu, analizin gerçek geçerliliği üzerinde hiçbir uzlaşma olmadığından emin olmak için önemlidir. Bu varsayımlardan bazıları yalnızca önerilen sistem için geçerliken, diğerleri her iki sistem için de geçerlidir.

- Sabit saat noktaları arasındaki belirli bir gündüz saati için, radyan akı yoğunluğu saniyede sabit kalır. Bu nedenle, güneş enerjisi hesaplamalarından elde edilen o saat için toplam ısıma akı yoğunluğu, birim zaman (saniye) başına ısıma akı yoğunluğunu elde etmek için 3600'e bölünebilir. Bunun %100 doğru olmadığını ve Dünya sürekli kendi eksenini etrafında döndüğü için zamanla bazı farklılıklar olduğunu unutmayın. Ancak bu kadar kısa bir zaman aralığındaki bu fark çok küçüktür ve ihmal edilebilir.
- Nemlendirici ve nem alıcının yanı sıra bunları birbirine ve önceki ve sonraki bileşenlere bağlayan kanallar, borular ve bağlantı parçalarının tümü, sonsuz derecede küçük ısı iletkenliği ile iyi yalıtılmıştır ve bu nedenle, neredeyse hiç ısı kaybı olmaz.
- Nemlendiriciye giren hava, güneş kollektörünün çıkışındaki sıcaklıkla aynı sıcaklıktadır.
- Nem alma cihazından çıkan hava, ortam sıcaklığında ve ortam nemindedir.
- Nem alma cihazına giren su, ortam havası ile aynı sıcaklıktadır. Nem alma odasındaki havanın kaybettiği tüm ısıyı absorbe ederken, ısı eşanjör malzemesi neredeyse hiç ısı emmez. Havadan suya olan ısı transferinin, %100 olduğu varsayılan ısı eşanjörünün verimliliğine bağlı olduğuna dikkat edilmelidir.
- Nem alma cihazından güneş damıtma cihazına giren su, nem alma cihazının çıkışındaki ile aynı sıcaklıktadır.
- Sistemin hiçbir aksamında hava/su sızıntısı yoktur.

- Güneş damıtma cihazında soğuran yüzey siyah cisimdir.
- Referans sistemde damıtıcıya giren su deniz suyu, referans sisteminde damıtıcıya giren su tuzlu su şeklindedir.
- Güneş damıtıcısında yalıtımdan kaynaklanan iletim ısı kayıpları göz ardı edilmiştir.
- Referans güneş damıtma cihazında, tüm su kütlesi çalışmaya başlamadan önce eklenir. Önerilen güneş enerjisi damıtma cihazında, eklenecek tüm su kütlesi ilk önce nem alma cihazından, ısı kaybı olmayan, yalıtımlı bağlantısı olan iyi yalıtılmış bir kapta toplanır. Daha sonra bir kerede güneş damıtıcısına beslenir. Güneş damıtıcısı, tüm tuzlu suyun eklendiği anın başında çalışmaya başlar ve belirtilen zamana kadar devam eder. Operasyon boyunca, zaman uyumsuzluğundan bağımsız olarak, hem PT hem de SSSS, saniyede aynı miktarda güneş enerjisi alır, çünkü birleşik operasyonun toplam süresi boyunca verilen konumun Güneş'e göre çok fazla değişmez, birinci varsayımla bağlantılı.
- Su yüzeyinden yükselen ve cama ulaşan tüm su buharları sonunda yoğunlaşarak tatlı suya dönüşür.
- Hem camdan hem de sudan geçen termal gradyan ihmal edilmiştir.

4.1.2 Tasarım Girdileri

4.1.2.1 Geometrik Parametreler

Tablo 4.1 Sistem geometrik özellikleri

Parametre	Değer
C.R	17
A_A [m ²]	1.875
η_C	0.7
$\dot{m}_A$ [kg/s]	0.038
$\dot{m}_W$ [kg/s]	0.017
A_S [mm ²]	330 650

Ön Uzunluk (SSSS) [mm]	204.961
Arka Uzunluk (SSSS) [mm]	491.906
Cam ve Soğurucu Kalınlığı (SSSS) [mm]	4
Eğim Açısı (PT + SSSS) [deg]	Enlem

4.1.2.2 Malzeme Özellikleri

Tablo 4.2 Sistem malzeme özellikleri

Özellik	Değer
$C_{P,A}$ [kJ/kg.°C]	1.012
C_G [kJ/kg.°C]	0.84
C_W (deniz suyu) [kJ/kg.°C]	4.07
C_W (tuzlu su) [kJ/kg.°C]	4.021
C_B [kJ/kg.°C]	0.45
ρ_G [kg/m ³]	2500
ρ_W (deniz suyu) [kg/m ³]	1023.6
ρ_W (tuzlu su) [kg/m ³]	1230
ρ_B [kg/m ³]	7800
h_{fg} [kJ/kg]	2260

α_G	0.05
α_W	0.01
τ_G	0.95
τ_W	0.89
ϵ_G	0.94
ϵ_W	0.95

4.1.3 İklim Koşulları

Model İstanbul için uygulanmıştır. İstanbul ile ilgili önemli coğrafi parametrelerin değerleri Tablo 4.3'te verildi.

Tablo 4.3 İstanbul'un coğrafi özellikleri

Enlem	41.008°N
Boylam	28.978°E
Albedo	0.3
Yükseklik [m]	40

Ilıman iklim kuşağında yer alan İstanbul, dört mevsimi de yaşar. Sadece gündüz süresindeki ve güneş ışığının yoğunluğundaki değişime dayanan dört mevsim süresi, dört güneş mevsimi verir. Kuzey Yarımküre'nin ılıman kuşağında, bahar, Mart ekinoksunda, yaz, Haziran gündönümünde, güz, Eylül ekinoksunda ve kış, Aralık ekinoksunda ortalır. Termal mevsimlerin, mevsimsel gecikme nedeniyle genellikle güneş mevsimleriyle örtüşmediğini unutmamak gerekir. Bu çalışma daha çok güneş enerjisi ile ilgili olduğundan, analiz için güneş mevsimleri dikkate alınmalıdır. Dört mevsim de

analiz için kabul edilir. Analiz için her mevsimin orta noktası veya ilgili ekinoks/gündönümü dikkate alınır. Ekinoks/gündönümünün tam olarak gerçekleştiği günün, aşağıdaki Tablo 4.4'te verilen ortalama tarihlere kıyasla her iki yönde de 1 gün değişebileceğine dikkat edilmelidir.

Tablo 4.4 Dört güneş mevsimi (Kuzey Yarımküre)

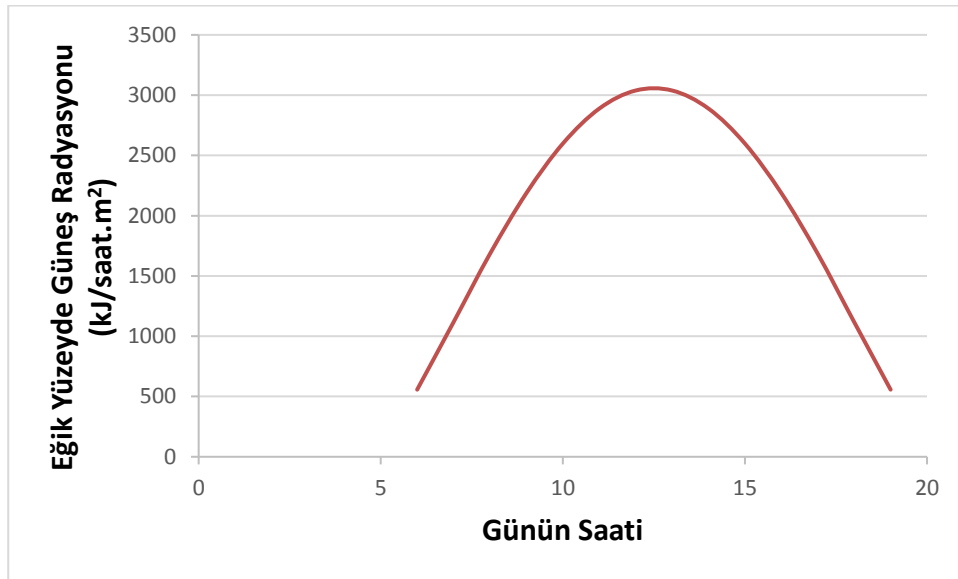
Mevsim	Süre	Orta-Nokta
Bahar	Şubat - Mart - Nisan	20 Mart
Yaz	Mayıs - Haziran - Temmuz	21 Haziran
Güz	Ağustos - Eylül - Ekim	22 Eylül
Kış	Kasım - Aralık - Ocak	21 Aralık

Bu dört günün tamamında, söz konusu sistemler 13:00 – 14:00 saatleri arasında çalışır, çünkü bu saat en yoğun güneş saatlerinin (PSH) merkezidir. Operasyon sırasında gökyüzünün açık (bulut yok) olduğunu varsaydık. Güneş radyasyonunun yoğunluğu maksimum 12:00-14:00 arasındadır, çünkü bu süre yaklaşık olarak öğle vaktinde merkezlenir ve Güneş'in o gün için belirli bir konuma en yakın olur ve yerel boylam o noktada güneşi içerir. Bu gerçeklik, 21 Haziran (açık gün) İstanbul için gündüz boyunca eğik yüzeydeki güneş radyasyonunun değişimini gösteren Tablo 4.5 ve Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Günlük sıcaklık değişimi nedeniyle, 13:00 – 14:00 dahili zamanı, 12:00 – 13:00 zaman aralığından daha sıcaktır. Bu nedenle analiz için önceki aralık seçildi.

Tablo 4.5 RFD'nin günlük değişimi (İstanbul, 21 Haziran)

Zaman Aralığı		Eğik Yüzeyde Güneş Radyasyonu (kJ/saat.m ²)
7:00	8:00	1117.498
8:00	9:00	1683.995

9:00	10:00	2187.51
10:00	11:00	2598.115
11:00	12:00	2888.341
12:00	13:00	3038.55
13:00	14:00	3038.55
14:00	15:00	2888.341
15:00	16:00	2598.115
16:00	17:00	2187.51
17:00	18:00	1683.995
18:00	19:00	1117.498



Şekil 4.1 RFD'nin günlük değişimi (İstanbul, 21 Haziran)

Bu nedenle, analiz için dikkate alınan zamanla ilgili bilgiler Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Analiz süresi

Başlangıç Saati	13:00
Bitiş zamanı	14:00
t [hr]	1

Dört mevsimsel günün tümü için radyan akı yoğunluğu ve ortam sıcaklığı değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 İstanbul için iklim verileri

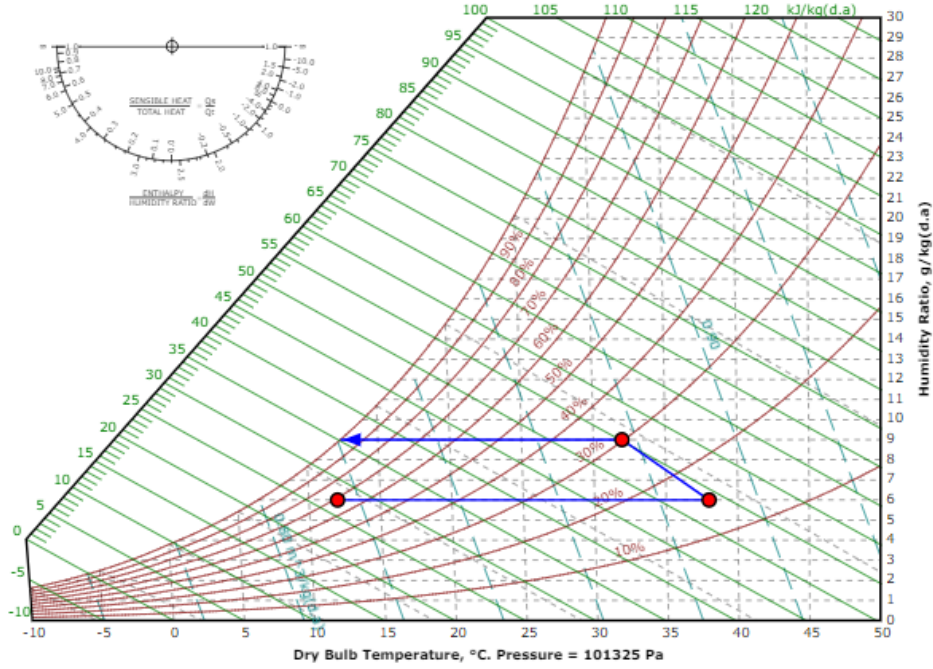
No.	Gün		RFD	T_{amb}
			kJ/saat.m²	°C
1	Bahar Ekinoks	Mart 20	2768.321	12
2	Yaz Gündönümü	Haziran 21	3038.549	27
3	Güz Ekinoks	Eylül 22	2741.252	25
4	Kış Gündönümü	Aralık 21	2000.485	11

Radyan akı yoğunluğu hesaplamaları için Microsoft Excel üzerinde herhangi bir şehir ve herhangi bir tarih için radyan akı yoğunluğunu hesaplayabilen ayrı bir program geliştirildi. Ortam sıcaklıkları Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi - NOAA'dan elde edildi. Bu sıcaklıklar temel olarak ilgili aylar için ortalama en yüksek sıcaklıklardır, çünkü bu en makul yaklaşımdır.

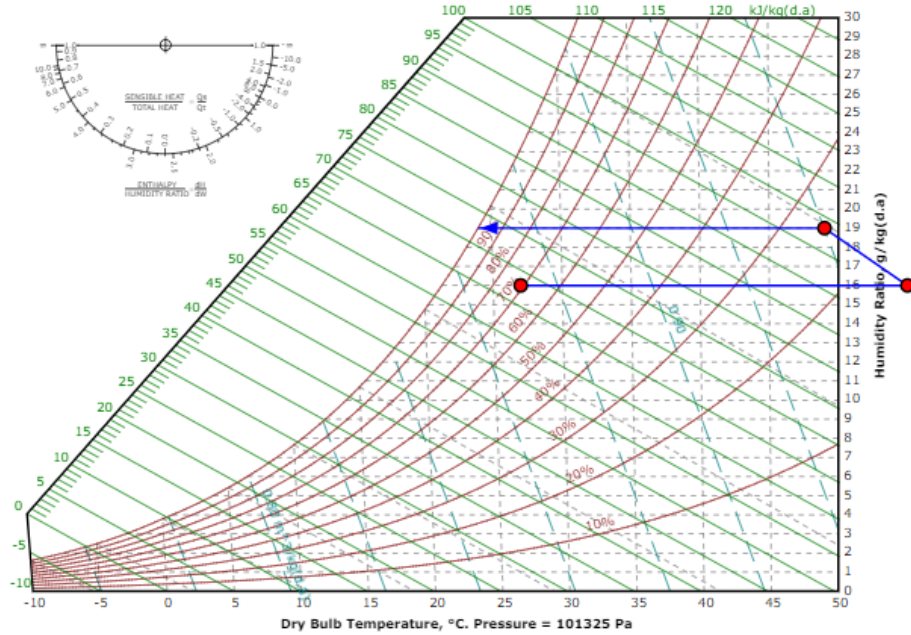
Rüzgar hızı 20 km/saat, ortam bağıl nemi sırasıyla %76, 71, 74 ve %80 olarak alındı.

4.2 Çıktılar

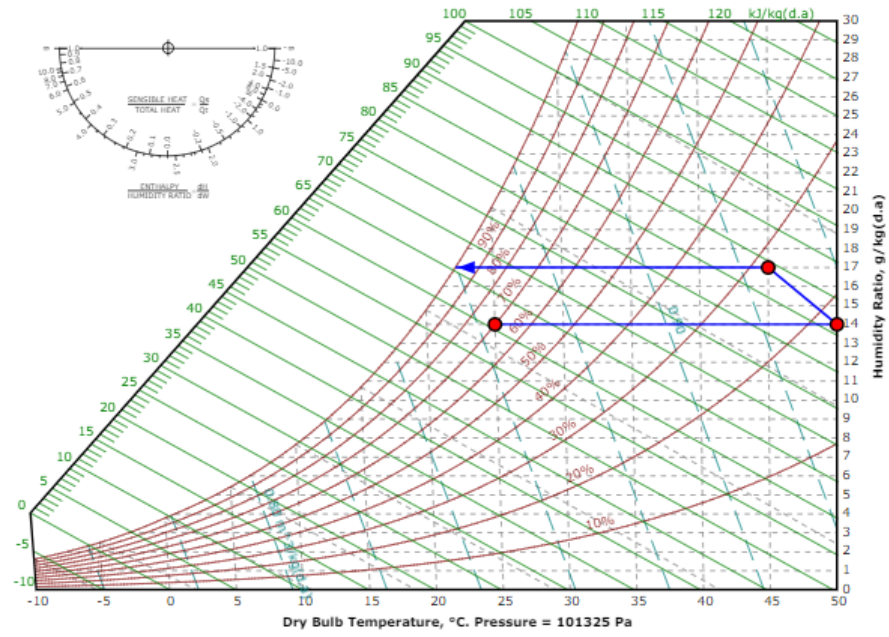
Güneş enerjisi ile havanın ısıtması ve nemlendirme-nem alma işlemleri her mevsim için ayrı ayrı psikrometrik diyagramda (FLYCARPET kullanılarak) gösterilmiştir.



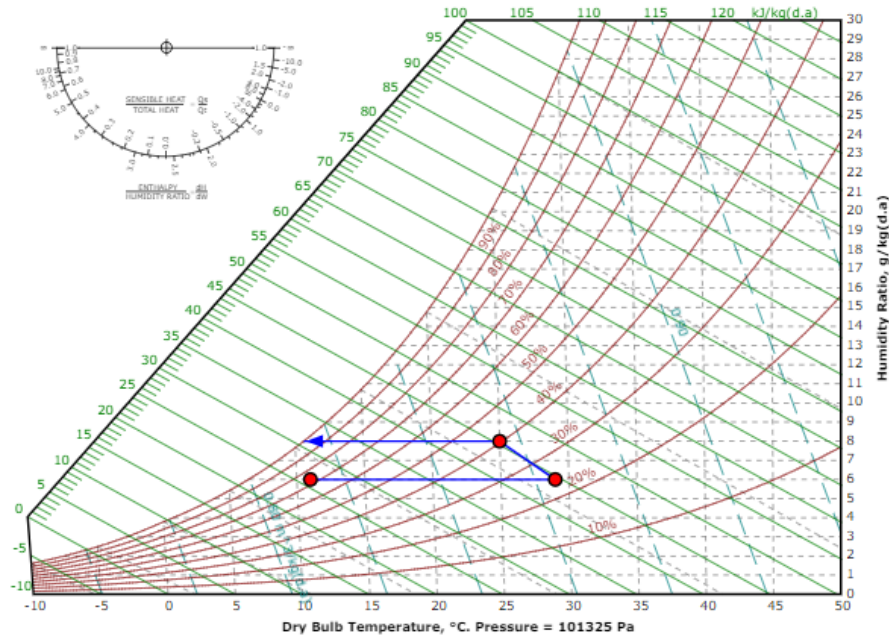
Şekil 4.2 Psikrometrik diyagramda işlemler (bahar)



Şekil 4.3 Psikrometrik diyagramda işlemler (yaz)



Şekil 4.4 Psikrometrik diyagramda işlemler (güz)



Şekil 4.5 Psikrometrik diyagramda işlemler (kış)

Aşağıdaki sonuçlar (Tablo 4.8, 4.9, 4.10), EES kullanılarak yukarıda tartışılan varsayımlara ve girdi değerlerine göre güneş enerjisiyle desalinasyon sistemlerinin (hem geleneksel hem de önerilen) matematiksel modelinin teorik analizinden elde edildi.

Tablo 4.8 Geleneksel sistem performansı değerleri

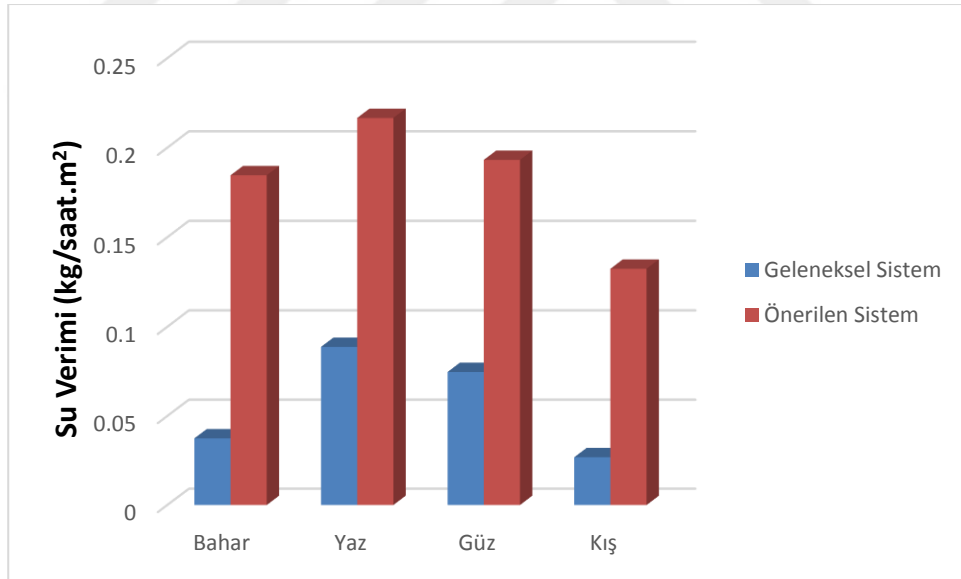
				Geleneksel Güneş Damıtıcısı				
No.	Mevsim	Gün		m_T	η_E	T_w	T_G	$T_w - T_G$
				kg/saat.m ²		°C	°C	°C
1	Bahar	Bahar Ekinoks	Mart 20	0.03744	0.03057	16.39	14.42	1.97
2	Yaz	Yaz Gündönümü	Haziran 21	0.08876	0.06602	31.62	29.39	2.23
3	Güz	Güz Ekinoks	Eylül 22	0.07475	0.06163	29.16	27.07	2.09
4	Kış	Kış Gündönümü	Aralık 21	0.02685	0.03033	14.15	12.59	1.56

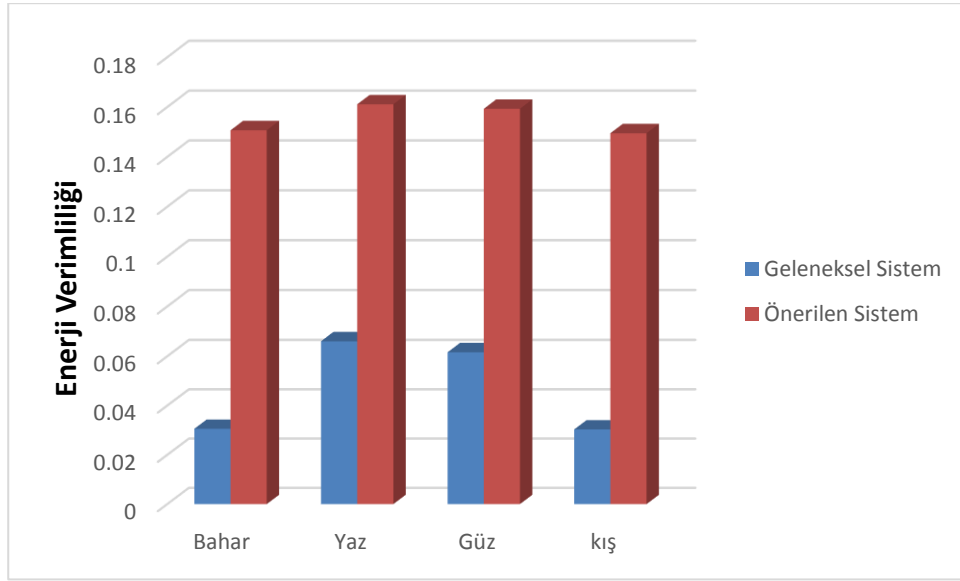
Tablo 4.9 Önerilen sistem performansı değerleri

				Önerilen Sistem				
No.	Mevsim	Gün		m_T	η_E	T_w	T_G	$T_w - T_G$
				kg/saat.m ²		°C	°C	°C
1	Bahar	Bahar Ekinoks	Mart 20	0.1846	0.1507	24.39	19.81	4.58
2	Yaz	Yaz Gündönümü	Haziran 21	0.2166	0.1611	40.37	35.72	4.65
3	Güz	Güz Ekinoks	Eylül 22	0.1932	0.1593	37.07	32.68	4.39
4	Kış	Kış Gündönümü	Aralık 21	0.1324	0.1495	19.96	16.36	3.6

Tablo 4.10 Performansta iyileşme

No.	Mevsim	Gün		Artış			
				m_T	η_E	T_w	$T_w - T_G$
				%	%	%	%
1	Bahar	Bahar Ekinoks	Mart 20	393.056	392.967	48.8103	132.487
2	Yaz	Yaz Gündönümü	Haziran 21	144.029	144.017	27.6724	108.52
3	Güz	Güz Ekinoks	Eylül 22	158.462	158.478	27.1262	110.048
4	Kış	Kış Gündönümü	Aralık 21	393.11	392.911	41.0601	130.769

**Şekil 4.6** Su veriminde karşılaştırma



Şekil 4.7 Enerji verimliliğinde karşılaştırma

Tablo 4.8-10, dört mevsim için hem geleneksel hem de önerilen sistemlerin en önemli beş performans parametresinin - su verimi, enerji verimliliği, su sıcaklığı, cam sıcaklığı ve su ve cam sıcaklıkları arasındaki fark - değerlerini göstermektedir. Ayrıca önerilen sistem durumunda konvansiyonel sisteme (konvansiyonel güneş damıtıcısı) kıyasla yüzde artış/azalış gösterir. Tablodan, her mevsimde ve her performans parametresi için yüzde değişiminin pozitif olduğu açıktır, bu da önerilen sistemin geleneksel sistemden daha iyi performans gösterdiği anlamına gelir.

Ayrıca yüzde artışı oldukça yüksektir, hem su verimi ve enerji verimliliği hem de su-cam sıcaklık farkı için %100'den fazla ve su sıcaklığı için %25'ten fazladır. Bu artış, hem su verimi hem de enerji verimliliği için yüzde değişiminin yaz ve sonbahardaki değişimin iki katından fazla olduğu ilkbahar ve kış aylarında daha belirgindir. Hem kış hem de sonbaharda bu parametrelerin her ikisinde de (su verimi ve enerji verimliliği) yaklaşık %393 artış gözlemlenmektedir. Su sıcaklığı söz konusu olduğunda, bu durumda da, ilkbahar ve kış aylarındaki artış, yaz ve sonbahardaki artışın kabaca iki katı olup, ilkbaharda %50'ye, kışın ise %40'tan fazladır.

Su-cam sıcaklık farkı, güneş damıtıcısı her iki sistemde de mevcut olduğundan, hem geleneksel hem de önerilen sistemler için su verimi ile doğrudan ilişkilidir. Konvansiyonel sistemde sistemin birincil bileşeni iken, önerilen sistemde entegre sistemin önemli bir bileşenidir. Su ile cam arasındaki sıcaklık farkı ne kadar büyük olursa, yükselen su buharının ısı enerjisi cama kaybetmesi ve sıvı hale geçmesi o kadar kolay

olur. Su verimi ve enerji verimliliği nihai performans parametreleridir. Burada su verimi, birim alan başına saatte üretilen tatlı su miktarını gösterir. Önerilen sistem için su verimliliği tüm mevsimlerde konvansiyonel sistemden önemli ölçüde yüksek olduğundan, önerilen sistemin geleneksel sisteme göre birim alan başına önemli ölçüde daha fazla tatlı su ürettiği sonucuna varılmıştır. Arazi maliyeti ve arazi yönetimi gibi farklı faktörlerin kombinasyonu nedeniyle mevcut alan sınırlı olduğundan ve arazi 'değerli' bir kaynak olarak kabul edildiğinden, aynı tatlı su üretimi için daha az alan daha iyi performans anlamına gelir, dolayısıyla önerilen sistem bu konuda geleneksel sistemden çok daha avantajlıdır. Ayrıca enerji verimliliği, belirli bir sistemin ne kadar verimli olduğunu ve girdi enerjisini (güneş enerjisi) ne kadar verimli bir şekilde tatlı suya dönüştürdüğünü gösterir. Güneş enerjisi serbestçe kullanılabilir ve bol miktarda bulunur, ancak bu güneş enerjisini termal enerji olarak yakalamak, belirli bileşenleri (önerilen sistemimizdeki PT güneş kolektörü gibi) ve geometrik gereksinimleri (belirli bir eğim açısı gibi) gerektirir, dolayısıyla bir bütün olarak süreç, hem ilk yatırım hem de sürekli bakım için maliyet gerektirir. Bu nedenle, termal kayıpların mümkün olduğunca minimum olduğundan emin olmalıyız. Önerilen sistemimize gelince, enerji verimliliği her zaman konvansiyonel sistemden daha yüksektir, önerilen sistemimiz bu konuda da konvansiyonel sistemden çok daha iyidir. Daha da yüksek verimlilikler için, güneş enerjisi damıtma cihazında vakum oluşturmak veya fazladan bir cam kaplama yerleştirmek gibi, güneş enerjisi damıtıcısının içinden konvektif ısı kayıplarını azaltmayı amaçlayan başka teknikler kullanılabilir. Enerji verimliliği mevsime göre çok fazla değişmemektedir.

Önerilen sistemin özellikle yılın düşük sıcaklık zamanlarında daha iyi çalıştığı güvenle söylenebilir. Kuzey Yarımküre için, güneş yoğunluğu Haziran gündönümünde, Aralık gündönümünden daha fazladır ve hava daha sıcaktır. Hem Mart hem de Eylül ekinoksları aynı güneş yoğunluğunu deneyimlese de, mevsimsel gecikme nedeniyle, Kuzey Yarımküre'de Mart ekinoksu Eylül ekinoksundan genellikle daha soğuktur. Kısacası, hem ilkbahar ekinoksu hem de kış gündönümü, yaz gündönümü ve sonbahar ekinoksundan daha soğuktur. Konsantre güneş kolektörleri de dahil olmak üzere, düşük sıcaklık süresinde, sıcaklıkların zaten çok yüksek olduğu yüksek sıcaklık süresine kıyasla güneş desalinasyon sisteminin performansını önemli ölçüde artırabilir. Bu sonuç literatürde de bildirilmiştir. Hem konvansiyonel hem de önerilen sistemlerde, en yüksek su verimi diğer

tüm mevsimlere göre yaz mevsiminde meydana gelmiş, bunu sonbahar ve ardından ilkbahar izlemiştir. Kış, her iki durumda da en düşük su verimini göstermiştir.

4.3 Parametrik Analiz

Önerilen sistemin performansının EES üzerinde matematiksel model kullanılarak geleneksel sistemle karşılaştırılmasında, tasarımla ilgili parametrelere tipik değerler atandı ve değerler her iki sistem için de sabit kaldı. Peki ya bu değerleri değiştirirsek? Tasarımla ilgili farklı girdi parametrelerinin değiştirilmesinin önerilen sistemimizin performansı üzerindeki etkisi nedir? Parametrik analiz bu sorunu giderir. Optimum tasarım parametrelerine ulaşmak için genellikle parametrik analiz gereklidir. Aynısı, ortam sıcaklığı ve bağıl nem gibi hava ile ilgili parametreler için de geçerlidir. Burada parametrik analiz için dikkate alınan tasarımla ilgili parametreler, güneş damıtıcısı alanı, nem alma cihazına suyun kütle akış hızı ve parabolik-oluklu güneş kolektörüne havanın kütle akış hızı gibi geometriyle ilgili parametrelerdir. Tasarımla ilgili diğer parametreler, önerilen sistemimizin temel aldığı bileşenler olarak sabitlendi, bu nedenle parametrik analize dahil edilemezler. Parametrik analiz, EES'de aynı matematiksel model kullanılarak gerçekleştirilir.

4.3.1 Hava Akış Hızı

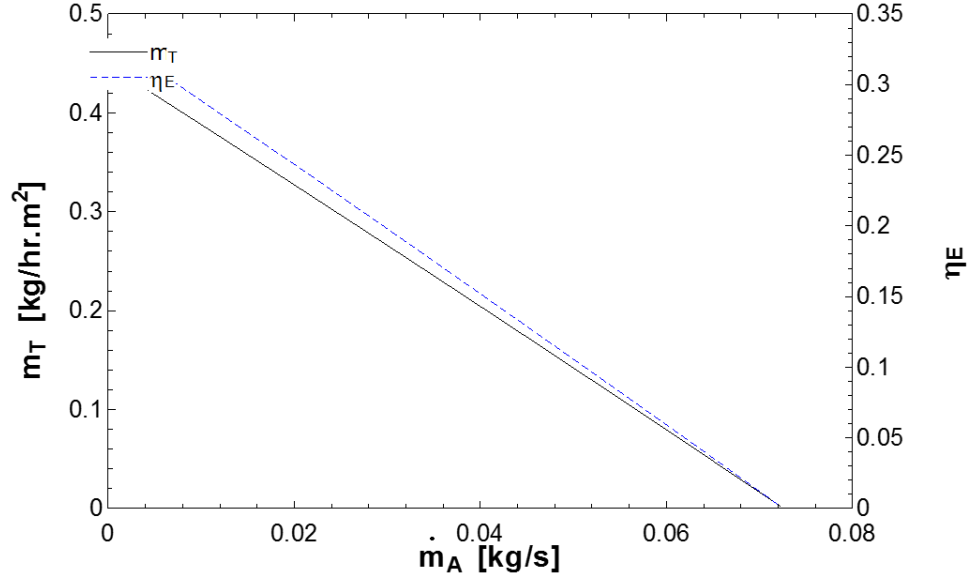
Tablo 4.11'de ve Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, hava debisi arttıkça hem su veriminin hem de enerji verimliliğinin düştüğü, diğer bir deyişle sistem performansının düştüğü görülmektedir. Görünen o ki, hava akış hızı arttıkça, hem yoğunluk hem de alan sabit olduğundan, sürekli rejim için süreklilik denkleminde dayanan tek etki, akışkan hızının da artmasıdır.

$$\dot{m} = \rho.A.v \quad (4.1)$$

Yüksek bir akış hızı, aynı hava kütlelerinin güneş ışığının konsantrasyonuna daha az maruz kalarak güneş alıcısından hızla geçtiği anlamına gelir. Veya birim zamanda güneş kolektörüne giren havanın kütlesi artar, bu da akışkanın termal kapasitesinde bir artış anlamına gelir. Sonuç olarak, kolektör çıkışında hava sıcaklığı daha düşüktür. Bu, ön ısıtma ve düşük bağıl nem için suya daha az enerji aktarımına neden olur, bu nedenle bu durumda havanın daha az su buharını absorbe etmesi beklenir. Bu nedenle, sistemin performansının düştüğü görülmüştür. Düşüş hızı lineerdir.

Tablo 4.11 Sistem performansının hava akış hızına göre değişimi

$\dot{m}_A$	$\dot{m}_w$	A_s	RFD	T_{amb}	Θ_{amb}	$\dot{m}_T$	η_E
kg/s	kg/s	m ²	kJ/saat.m ²	°C	-	kg/saat.m ²	-
0.0038	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.4254	0.3164
0.0114	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.3795	0.2822
0.019	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.3333	0.2479
0.0266	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.2868	0.2133
0.0342	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.2401	0.1786
0.0418	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.1931	0.1436
0.0494	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.1458	0.1085
0.057	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.09831	0.07312
0.0646	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.05051	0.03757
0.0722	0.017	0.214	3038.5	27	0.71	0.00245	0.001822



Şekil 4.8 Sistem performansının hava akış hızına göre değişimi

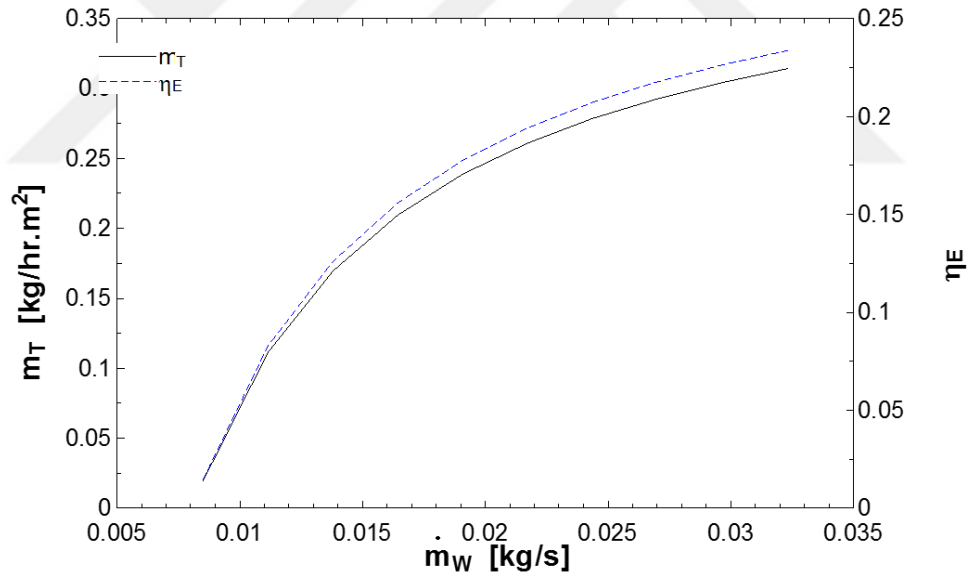
4.3.2 Su Akış Hızı

Tablo 4.12’de ve Şekil 4.5’te gösterildiği gibi, nem alma cihazı girişindeki su debisi arttıkça hem su verimi hem de enerji verimliliğinin arttığı, diğer bir deyişle sistem performansının arttığı görülmektedir. Nemlendiricideki sıcak ve kuru havayla karşılaşan su kütlesindeki artıştan kaynaklanır, bu da hava tarafından daha fazla su buharı emilmesine ve (Şekil 4.6’da bakınız) havadaki nemin artmasına neden olur, bu da daha yüksek bir tatlı su verimi sağlar. Bu nedenle, sistemin performansının arttığı görülmüştür. İyileştirme oranı paraboliktir.

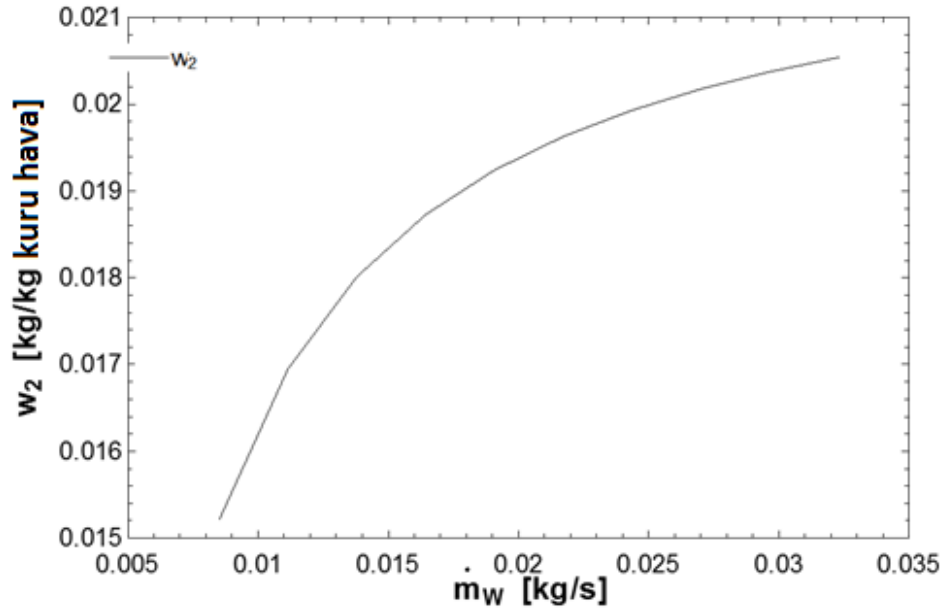
Tablo 4.12 Sistem performansının su akış hızına göre değişimi

$\dot{m}_w$	$\dot{m}_A$	A_s	RFD	T_{amb}	Θ_{amb}	$\dot{m}_T$	η_E
kg/s	kg/s	m ²	kJ/saat.m ²	°C	-	kg/saat.m ²	-
0.0085	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.01962	0.01459
0.01114	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.1113	0.08282
0.01379	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.1695	0.1261

0.01643	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.2096	0.1559
0.01908	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.2388	0.1776
0.02172	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.2611	0.1942
0.02437	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.2786	0.2072
0.02701	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.2928	0.2178
0.02966	0.038	0.214	3038.5	27	0.71	0.3044	0.2264
0.0323	0.038	0.214	0.844	27	0.71	0.3142	0.2337



Şekil 4.9 Sistem performansının su akış hızına göre değişimi



Şekil 4.10 Nemli havanın su akış hızına göre değişimi

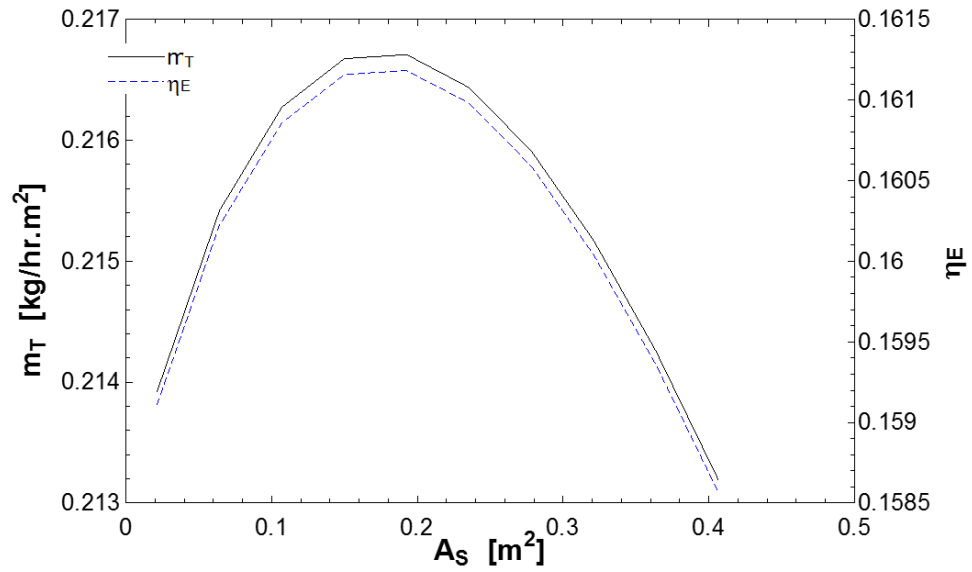
4.3.3 Güneş Damıtıcısı Alanı

Güneş damıtıcısının alanı kritik bir faktördür. Alan artışının hem olumlu hem de olumsuz yönleri vardır. Olumlu yönü, damıtıcının alanın artırılması, cama giren ve suya ve soğurucuna ulaşan güneş radyasyonu miktarını artırması, bu da buharlaşma hızının artması (güneş enerjisinin gizli enerjiye dönüştürülmesi) ile sonuçlanması olumlu bir yöndür. Ancak artan bir alan aynı zamanda su yüzeyinden cam kapağa ve cam örtüden atmosferik havaya termal kayıplarda bir artışa neden olur, bu da istenmeyen bir durumdur. Bizim durumumuzda alanı artırmanın etkisi Tablo 4.13'te ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Başlangıçta, alan arttıkça hem su verimi hem de enerji verimliliği artar. Daha sonra maksimum su üretkenliği ve enerji verimliliğinin yaklaşık 0,2 m²'de elde edildiği zirve noktasına (PP) ulaşır. Zirve noktasından sonra, yatay eksen pozitif yönde ilerledikçe hem su verimi hem de enerji verimliliği azalmaya başlar. Zirve noktası, sistem performansının en iyi olduğu optimum çalışma noktasıdır (OPO), genel tasarım değerlendirmelerine dahil edilebilir.

Tablo 4.13 Sistem performansının alana göre değişimi

A_s	$\dot{m}_A$	$\dot{m}_w$	RFD	T_{amb}	Θ_{amb}	$\dot{m}_T$	η_E
m ²	kg/s	kg/s	kJ/saat.m ²	°C	-	kg/saat.m ²	-

0.0214	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2139	0.1591
0.0642	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2154	0.1602
0.107	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2163	0.1609
0.1498	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2167	0.1612
0.1926	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2167	0.1612
0.2354	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2164	0.161
0.2782	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2159	0.1606
0.321	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2152	0.16
0.3638	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2143	0.1594
0.4066	0.038	0.017	3038.5	27	0.71	0.2132	0.1586



Şekil 4.11 Sistem performansının alana göre değişimi

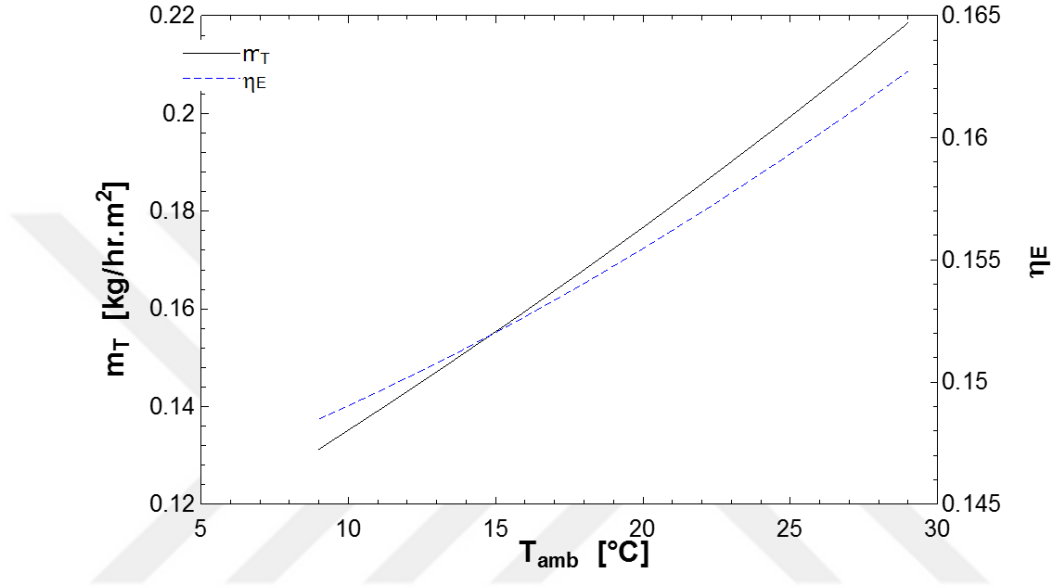
4.3.4 Ortam Sıcaklığı

Güneş yoğunluğu yıl boyunca değiştiğinden, günlük yüksek ortam sıcaklığı, özellikle ılıman bölgede yıl boyunca değişir. Ancak mevsimsel gecikme ve günlük sıcaklık değişimi nedeniyle, bu iki varyasyon ve bunların maksimum ve minimumları çoğu zaman çakışmaz. İstanbul'da aylık ortalama en yüksek sıcaklık, Ağustos ayındaki en yüksek değerden (29°C) Şubat ayında en düşük değere (9°C) kadar değişmektedir. Sıcaklıktaki değişiklik, Tablo 4.14'te ve Şekil 4.8'de gösterildiği gibi sistemin performansını etkileyebilir. Beklendiği gibi, artan güneş yoğunluğu ile artan ortam sıcaklığı, suyun buharlaşma oranını ve buna bağlı olarak su verimini ve enerji verimliliğini artırır. Bu nedenle, hem önerilen hem de geleneksel desalinasyon sistemleri, yaz aylarında diğer mevsimlere göre daha fazla su üretir. Ardından sonbahar, ardından ilkbahar ve son olarak da kış gelir. Sonbahar ekinoksu ilkbahar ekinoksundan önemli ölçüde daha sıcak olduğundan, yalnızca güneş yoğunluğunun önemli bir faktör olmadığı açıktır. Bunun yerine ortam sıcaklığı da belirleyici bir rol oynar.

Tablo 4.14 Sistem performansının sıcaklığa göre değişimi

RFD	T _{amb}	$\dot{m}_A$	$\dot{m}_w$	A _s	Θ_{amb}	$\dot{m}_T$	η_E
kJ/saat.m ²	°C	kg/s	kg/s	m ²	-	kg/saat.m ²	-
1998	9	0.038	0.017	0.214	0.71	0.1313	0.1485
2113.2	11.22	0.038	0.017	0.214	0.71	0.14	0.1497
2228.4	13.44	0.038	0.017	0.214	0.71	0.1489	0.151
2343.6	15.67	0.038	0.017	0.214	0.71	0.1581	0.1525
2458.8	17.89	0.038	0.017	0.214	0.71	0.1675	0.154
2574	20.11	0.038	0.017	0.214	0.71	0.1772	0.1555
2689.2	22.33	0.038	0.017	0.214	0.71	0.1871	0.1572

2804.4	24.56	0.038	0.017	0.214	0.71	0.1973	0.159
2919.6	26.78	0.038	0.017	0.214	0.71	0.2078	0.1608
3034.8	29	0.038	0.017	0.214	0.71	0.2185	0.1627



Şekil 4.12 Sistem performansının sıcaklığa göre değişimi

4.3.5 Ortam Bağlı Nemi

Ortamdaki bağıl nemin sistemin su verimi ve enerji verimliliği üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Ortam bağıl nemi ne olursa olsun, önerilen sistem havayı ısıtarak kuru havaya dönüştürme ve ardından ortam havası ile aynı bağıl nem ile tekrar havaya dönüştürme yeteneğine sahiptir.

4.4 Sonuçlar

Bu çalışmadan şu sonuca varılmaktadır:

- Konvansiyonel güneş damıtma sistemine, güneş enerjili nemlendirme –nem alma ünitesi eklenmesi ve burada dolaşacak havanın sıcaklık artışının parabolik oluk kolektör ile sağlanması, ayrıca sisteme iki farklı yerden tatlı su girdisinin sağlanması ile bu entegre sistem, geleneksel güneşle desalinasyon sistemine göre avantajlı bir alternatiftir.
- Önerilen sistem, çalışmada gerçekleştirilen teorik analize dayalı olarak geleneksel sistemden daha iyi performans göstermiştir. Güneş ışığına maruz kalan aynı alan için

önerilen sistem, geleneksel sistemden çok daha fazla su üretmektedir. Önerilen sistemin performansı, hem su üretkenliğinin hem de enerji verimliliğinin %300'den fazla arttığı düşük sıcaklıklı mevsimlerde büyük ölçüde artar.

- Artan hava debisi su verimini düşürürken, su debisi için ters ilişki gözlemlendi. Güneş damıtıcısı alanı, eğri azalmaya başlamadan önce optimum çalışma noktasına ulaşır.
- Önerilen sistem, sistem performansından ödün vermeden hem kuru hem de nemli koşullarda çalışabilir.



- Afrand, M., Kalbasi, R., Karimipour, A., & Wongwises, S. (2017). Experimental investigation on a thermal model for a basin solar still with an external reflector. *Energies*, 10(1), 18.
- Akshay, C., Soni, P., Dhiman, S. K., Bhowmick, S., & Gaba, V. K. (2021). Thermal modelling of single and double slope passive solar stills for different climatic zones in India. *International Journal of Ambient Energy*, (just-accepted), 1-33.
- Al-Sulaiman, F. A., Zubair, M. I., Atif, M., Gandhidasan, P., Al-Dini, S. A., & Antar, M. A. (2015). Humidification dehumidification desalination system using parabolic trough solar air collector. *Applied Thermal Engineering*, 75, 809-816.
- El-Sebaii, A. A., Al-Ghamdi, A. A., Al-Hazmi, F. S., & Faidah, A. S. (2009). Thermal performance of a single basin solar still with PCM as a storage medium. *Applied Energy*, 86(7-8), 1187-1195.
- Fathy, M., Hassan, H., & Ahmed, M. S. (2018). Experimental study on the effect of coupling parabolic trough collector with double slope solar still on its performance. *Solar Energy*, 163, 54-61.
- García-Santamaría, F., Xu, M., Lousse, V., Fan, S., Braun, P. V., & Lewis, J. A. (2007). A germanium inverse woodpile structure with a large photonic band gap. *Advanced Materials*, 19(12), 1567-1570.
- Gupta, B., Sharma, R., Shankar, P., & Baredar, P. (2016). Performance enhancement of modified solar still using water sprinkler: An experimental approach. *Perspectives in Science*, 8, 191-194.
- Hamed, M. H., Kabeel, A. E., Omara, Z. M., & Sharshir, S. W. (2015). Mathematical and experimental investigation of a solar humidification–dehumidification desalination unit. *Desalination*, 358, 9-17.
- Kumar, R. A., Esakkimuthu, G., & Murugavel, K. K. (2016). Performance enhancement of a single basin single slope solar still using agitation effect and external condenser. *Desalination*, 399, 198-202.
- Kabeel, A. E., Omara, Z. M., & Essa, F. A. (2014). Enhancement of modified solar still integrated with external condenser using nanofluids: An experimental approach. *Energy conversion and management*, 78, 493-498.
- Kabeel, A. E., Omara, Z. M., & Essa, F. A. (2014). Improving the performance of solar still by using nanofluids and providing vacuum. *Energy conversion and management*, 86, 268-274.
- Kabeel, A. E., El-Samadony, Y. A. F., & El-Maghlany, W. M. (2018). Comparative study on the solar still performance utilizing different PCM. *Desalination*, 432, 89-96.
- Khalifa, A. J. N. (2011). On the effect of cover tilt angle of the simple solar still on its productivity in different seasons and latitudes. *Energy conversion and management*, 52(1), 431-436.

- Koh, J. J., Lim, G. J., Chakraborty, S., Zhang, Y., Liu, S., Zhang, X., ... & He, C. (2021). Robust, 3D-printed hydratable plastics for effective solar desalination. *Nano Energy*, 79, 105436.
- Liu, X., Tian, Y., Chen, F., Caratenuto, A., DeGiorgis, J. A., ELSonbaty, M., ... & Zheng, Y. (2021). An Easy-to-Fabricate 2.5 D Evaporator for Efficient Solar Desalination. *Advanced Functional Materials*, 2100911.
- Luo, X., Shi, J., Zhao, C., Luo, Z., Gu, X., & Bao, H. (2021). The energy efficiency of interfacial solar desalination. *Applied Energy*, 302, 117581.
- M. Jakob. (1949). Heat Transfer. New York: Wiley.
- Murugavel, K. K., Sivakumar, S., Ahamed, J. R., Chockalingam, K. K., & Srithar, K. (2010). Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials. *Applied energy*, 87(2), 514-523.
- Shanmugan, S., Janarthanan, B., & Chandrasekaran, J. (2012). Performance of single-slope single-basin solar still with sensible heat storage materials. *Desalination and Water Treatment*, 41(1-3), 195-203.
- Sindal, M., Singh, N., & Sharma, A. (2013). Solar desalination using zinc oxide as photocatalyst. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences (JCBPS)*, 3(2), 958.
- Sindal, M., Singh, N., & Sharma, A. (2013). Use of cupric oxide as photocatalysts in solar desalination. *Int. J. Green Herb. Chem.*, 2, 203-207.
- Tabrizi, F. F., Dashtban, M., Moghaddam, H., & Razzaghi, K. (2010). Effect of water flow rate on internal heat and mass transfer and daily productivity of a weir-type cascade solar still. *Desalination*, 260(1-3), 239-247.
- Tabrizi, F. F., Dashtban, M., & Moghaddam, H. (2010). Experimental investigation of a weir-type cascade solar still with built-in latent heat thermal energy storage system. *Desalination*, 260(1-3), 248-253.
- Tanaka, Hiroshi. "Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter." *Desalination* 249.1 (2009): 130-134.
- Tenthani, C., Madhlopa, A., & Kimambo, C. Z. M. (2012). Improved solar still for water purification.
- Tiwari, G. N., & Tiwari, A. (2016). *Handbook of solar energy*. Singapore: Springer.
- Toure, S., & Meukam, P. (1997). A numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (Côte d'Ivoire). *Renewable Energy*, 11(3), 319-330.
- Wang, H., Yang, W., Cheng, L., Guan, C., & Yan, H. (2018). Chinese ink: High performance nanofluids for solar energy. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 176, 374-380.
- Zhu, L., Sun, L., Zhang, H., Aslan, H., Sun, Y., Huang, Y., ... & Yu, M. (2021). A solution to break the salt barrier for high-rate sustainable solar desalination. *Energy & Environmental Science*, 14(4), 2451-2459.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildiri

Aslam, M. N., & Ulusarslan, D. (2022). Nemlendirme ve Nem Alma Sistemi Entegre Edilmiş Parabolik Oluk Kollektörlü Güneş Desalinasyon Sistemi. In Y. Şahin, A. Olaru, & S. Yalçinkaya (Eds.), 7. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji yönetimi Kongresi (pp. 495-503), Istanbul, 2022. Istanbul, Turkey: Güven Plus Grup Danışmanlık A.Ş. Yayınları

