



**AYNALI YÜZEYLER İLE DESTEKLİ GÜNEŞ SU
DAMITMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Selva BEKMEZ

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Eda Feyza AKYÜREK

Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK

2024

Her hakkı saklıdır.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYNALI YÜZEYLER İLE DESTEKLİ GÜNEŞ SU
DAMITMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE
DENEYSEL İNCELENMESİ

Selva BEKMEZ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Eda Feyza AKYÜREK
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK

Ana Bilim Dalı: Makine Mühendisliği

Erzurum

2024

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

**AYNALI YÜZEYLER İLE DESTEKLİ GÜNEŞ SU DAMITMA
SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE DENEYSEL İNCELENMESİ**

Doç. Dr. Eda Feyza AKYÜREK ve Dr. Öğr. Üyesi Ali Çelik danışmanlığında, Selva BEKMEZ tarafından hazırlanan bu çalışma 29 / 08 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (5/5)** kabul edilmiştir.

Başkan	: Doç. Dr. Faraz Afşar	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Şükran Efe	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Emre Mandev	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Eda Feyza Akyürek	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ali Çelik	İmza	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Doç. Dr. Bünyamin ÖZGERİŞ
Enstitü Müdürü

*Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

29 / 08 / 2004

İmzası

Selva BEKMEZ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYNALI YÜZEYLER İLE DETEKLİ GÜNEŞ SU DAMITMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Selva BEKMEZ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Eda Feyza AKYÜREK

Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş enerjisi gelir. Dünyaya yansıyan güneş ışığından yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji elde edilir. Bu çalışmada, bir su damıtma sistemi kurulmuştur. Güneş enerjili bir sistemde farklı ayna açılarındaki tuzlu sudan temiz su elde edilmiştir. Deney sisteminde basamaklarda olan iç aynalar sabit, dış aynalar yatayla 30°,45°,60° gibi farklı açılarda ayarlanarak deney tekrarlanmıştır. Deney sisteminde yoğunlaşma yüzeyini soğutmak için 3 adet harici fan kullanılmıştır. Deneyler Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvar koşullarında yapılmıştır. Bu çalışma 5 saat süren deneyler sonucunda fanların, iç aynaların ve eğimi ayarlanabilir dış aynaların tuzlu sudan damıtılmış temiz su eldesinde önemli ölçüde artış olduğunu göstermektedir. Fansız ve aynasız olarak yapılan deneyde elde edilen damıtılmış temiz su miktarı 37,13 gr olurken, fanlı, iç aynalı ve eğimi yatayla 30° olana deneyde bu miktar 194,63 gr çıkmıştır. Ayrıca verim %23,73 olarak bulunmuştur. Ayrıca deneyler dış ortam koşullarında da tekrarlanmıştır. Deneylerde dış ortam koşulları, (güneş ışınımı, çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı) dış cam yüzey sıcaklığı ve iç ortam yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Genel olarak bu çalışmada, farklı ayna açılarındaki tuzlu sudan temiz su elde edilmesinde olumlu bir etki ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

2024, 53 sayfa

Anahtar Kelimeler: Su damıtma, Güneş enerjisi, Aynalı-basamaklı su damıtma sistemi

ABSTRACT

MS. Thesis

DESIGN AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOLAR WATER DISTILLATION SYSTEMS WITH REFLECTIVE SURFACES AND SUPPORTS

Selva BEKMEZ

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Eda Feyza AKYÜREK

Co-Consultant: Assist. Prof. Dr. Ali ÇELİK

Renewable energy sources are led by solar energy. Solar energy is the type of energy generated through the fusion process that occurs when hydrogen gas is transformed into helium. Renewable and sustainable energy is obtained from sunlight that reflects off the Earth. In this study, a water distillation system has been established. Clean water has been obtained from saltwater at different mirror angles in a solar-powered system. In the experimental setup, the inner mirrors were fixed while the outer mirrors were adjusted to various angles such as 30°, 45°, and 60° for repeated experiments. Three external fans were used to cool the condensation surface in the experiment. The experiments were conducted under laboratory conditions at Erzurum Technical University's Faculty of Engineering and Architecture. This study demonstrates, as a result of five hours of experiments, that the fans and the adjustable tilt of the outer mirrors significantly increased the amount of clean water distilled from saltwater. While the amount of distilled clean water obtained without fans and mirrors was 37,13 gr the amount rose to 194,63 gr in the experiment with fans, inner mirrors, and an inclination of 30°. Additionally, the efficiency was found to be 23,73%. The experiments were also repeated under external environmental conditions. During the experiments, external environmental conditions (solar radiation and ambient temperature), the temperature of the outer glass surface, and the temperatures of the inner surfaces were measured. Overall, this study observed a positive effect of different mirror angles on obtaining clean water from saltwater.

2024, 53 page

Keywords: Water distillation, Solar energy, Mirrored-step distillation system

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yol gösteren destek olan emeklerini hiç esirgemeyen ve beni her zaman cesaretlendiren öğrencisi olmaktan gurur duyduğum tez danışmanım Doç. Dr. Eda Feyza AKYÜREK 'e teşekkür ederim.

Araştırmada, deney kurulumunda ve deney esnasında yardımlarını hiç esirgemeyen kıymetli eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgileriyle bizlere yol gösteren, ışık tutan Erzurum Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ediyorum.

Lisans ve yüksek lisans hayatımda her konuda sabırla yardımcı olan beni destekleyen sevgili eşim Ubeydullah BEKMEZ'e desteğinden dolayı teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca beni destekleyen haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ediyorum.

Selva BEKMEZ
Ağustos 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	1
1.2. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli	3
1.3. Suyun Önemi ve Kullanım Alanları.....	5
1.4. Su İhtiyacı ve Su Kaynakları	5
1.5. Deniz Suyu	8
1.6. Damıtma ile temiz su üretimi	10
1.6.1. Çok işlemlili damıtma (multiple-effect distillation-MED)	10
1.6.2. Çok kademeli şok damıtma (multi-stage flash distillation-MSF).....	11
1.6.3. Mekanik buhar sıkıştırma (mechanical vapour compression)	11
1.6.4. Dondurarak damıtma.....	12
1.6.5. Ters osmoz	13
1.6.6. Elektrodializ	14
1.6.7. İyon değişimi.....	15
1.7. Güneş Enerjili Su Damıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması	15
1.7.1 Aktif sistemler	15
1.7.2. Pasif sistemler	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	29
1.3. Materyal	29
3.2.Yöntem	32
3.2.1. Deney sisteminin verimliliği	33
3.2.2. Maliyet hesaplamalar	34

4. ARAşTIRMA BULGULARI ve TARTIşMA.....	36
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	49



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

$^{\circ}$	Derece
A	Solar damıtıcının yüzey alanı (m^2)
h_{fg}	özgül ısı (J/gK)
i	Faiz oranı
I	incelenen radyasyon (W/m^2)
m	Metre
$\dot{m}$	Su üretim hızı (kg/s)
n	Damıtıcının ömrü
P	Yatırım maliyeti (₺)
$\bar{Q}_{SR}$	Güneş radyasyon oranı (W)
S	Kurtarma değeri
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_{sw}	Tuzlu suyun sıcaklığı ($^{\circ}C$)
η	Verimlilik

Kısaltmalar

AMC	Yıllık Bakım Maliyeti (₺)
ASV	Yıllık Kurtarma Değeri (₺)
CPL	Litre Başına Maaliyet (₺)
CRF	Sermaye Geri Kazanım Faktörü
FAC	İlk Yıllık Maaliyet (₺)
TAC	Toplam Yıllık Maaliyet (₺)
SSF	Batan Fon Faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Güneş sistemindeki gazların oranı.....	2
Şekil 1.2. Türkiye toplam güneş radyasyonu.....	3
Şekil 1.3. Türkiye global radyasyon değerleri.....	4
Şekil 1.4. Türkiye güneşlenme süreleri.....	4
Şekil 1.5. Deniz suyunun kimyasal bileşenleri.....	9
Şekil 1.6. Çok kademeli damıtma tesisinin şematik şekli.....	10
Şekil 1.7. Çok kademeli şok damıtma tesisinin diyagramı.....	11
Şekil 1.8. Buhar sıkıştırımlı damıtma sistemi.....	12
Şekil 1.9. Dondurarak ayırıştırma tekniği ile çalışan sistemler.....	13
Şekil 1.10. Ters osmoz çalışma prensibi.....	14
Şekil 1.11. Elektrodializ sistemi çalışma prensibi.....	14
Şekil 1.12. Konveksiyonel tek eğimli damıtıcı.....	16
Şekil 1.13. Simetrik V tipi plastik örtülü damıtıcı.....	17
Şekil 1.14. Sera tipi damıtma sistemi çift cam örtülü.....	17
Şekil 1.15. Nemlendirme-nemini alma tekniği ile çalışan sistemler.....	18
Şekil 1.16. Açık ısı borulu damıtma sistemi ısı borusu çalışma prensibi.....	19
Şekil 1.17. Fitilli (sıvı emicili) damıtma sistemi.....	20
Şekil 1.18. Parabolik yansıtıcılı damıtma sistemi.....	21
Şekil 2.1. Piramit güneş damıtıcısı.....	23
Şekil 2.2. Kare piramit güneş damıtıcısı.....	26
Şekil 3.1. Deney sistemi fotoğrafı.....	30
Şekil 3.2. Deney sistemi AutoCAD çizimi.....	31
Şekil 3.3. Deney sistemi ve sıcaklık ölçüm noktaları.....	31
Şekil 3.4. Dış ortam şartlarında deney sistemi.....	32
Şekil 4.1. Laboratuvar da yapılan deneyler elde edilen damıtılmış su miktarlar.....	36
Şekil 4.2. Durum 1,2,3 için iç ortam havası sıcaklık değişimi.....	37
Şekil 4.3. Durum 1,4,5,6 için iç ortam havası sıcaklık değişimi.....	38
Şekil 4.4. Durum 1,2,3 için dış cam sıcaklık değişimi.....	38
Şekil 4.5. Durum 4,5,6 için dış cam sıcaklık değişimi.....	39
Şekil 4.6. Durum 1,2,3 için tuzlu su sıcaklık değişimi.....	40
Şekil 4.7. Durum 1,4,5,6'da tuzlu su sıcaklıklarının değişimi.....	40

Şekil 4.8.	Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde güneş enerjili damıtıcının verimliliği.....	41
Şekil 4.9.	Dış ortam şartlarında durum 4 için sıcaklık değişimi.....	42
Şekil 4.10.	Laboratuvar ortamında durum 4 için sıcaklık değişimi	42
Şekil 4.11.	Dış ortam şartlarında deney sürecinde ölçülen güneş ışıması değerleri	43
Şekil 4.12.	Laboratuvar koşullarında ve gerçek ortamda durum 4 için damıtılmış su miktarı ve verimlilik.....	43
Şekil 4.13.	Laboratuvar şartlarında farklı açılardan deney sisteminin termal kamera görünümü (a-c).....	44
Şekil 4.14.	Dış ortam şartlarında durum 4 için farklı açılardan deney sisteminin termal kamera görünümü (a-c).	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Güneş enerji dönüşümleri	2
Çizelge 1.2. Suyun kullanım alanları	5
Çizelge 1.3. Dünyadaki suyun dağılımı	6
Çizelge 1.4. Havzalar itibariyle Türkiye’deki su potansiyeli	7
Çizelge 1.5. Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları.....	8
Çizelge 3.1. Sıcaklık ölçüm yerleri.....	30
Çizelge 3.2. Deney planları.....	33
Çizelge 4.1. Güneş damıtıcısının yapımında kullanılan bileşenlerin listesi ve piyasa fiyatları.	46
Çizelge 4.2. Maliyet hesapları	46

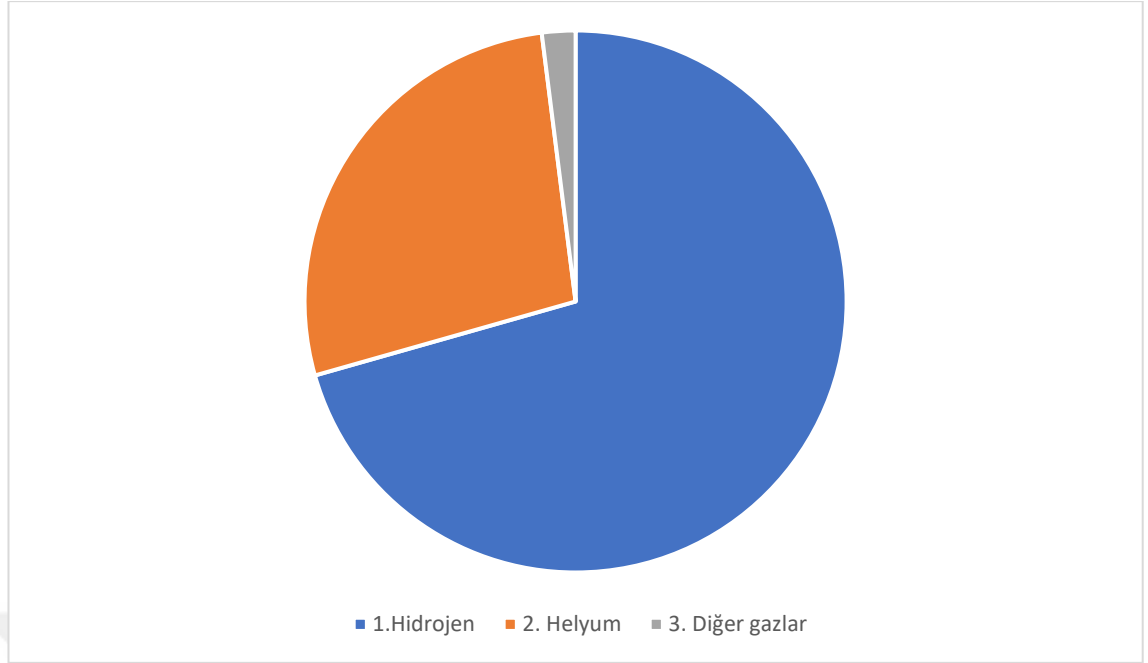
1. GİRİŞ

Doğada bulunan su sürekli bir döngü halindedir. Tekrardan su üretilemez. Bitmeyen bir kaynaktan gelir. Hayatımızı sürdürebilmemiz için en temel besin kaynaklarından biri sudur. Su, sindirim, dolaşım ve boşaltım sistemlerinin düzenli çalışmasında kritik bir rol oynar. Su hayattır. İnsan vücudunun %60 ı sudur. Dünyamızın ise 4/3 ünü su kaplamaktadır. Artan bu dünya nüfusunda temiz su bulma ihtiyacı giderek artmaktadır. Dünyadaki suların yalnızca %2,5 i tatlı sudan oluşmaktadır. İnsan nüfusunun artışından ve sanayinin gelişmesinden dolayı gün geçtikçe temiz su yerini atık sulara bırakmaktadır. Durum böyle olunca da tatlı su bulma zorluğu her geçen gün giderek zorlaşmaktadır. Su kaynaklarının lağımlar, kimyevi ilaçlar ve sanayi atıkları nedeniyle gün geçtikçe kirlendiği görülmektedir. Bu durumun önüne geçilmez insanlar bilinçlenip önlem alınmazsa çok büyük felaketlere yol açacağı bilinmektedir. Dünya genelinde her yıl, büyük çoğunluğu çocuk olan yaklaşık 2 milyon insan, sağlıklı su kullanımı ve yetersiz hijyen koşulları nedeniyle gelişen bağırsak enfeksiyonları yüzünden yaşamını yitirmektedir (Anonim 2024). Durum böyle olunca insanlar temiz su elde etme yöntemlerini kullanmaktadır. Temiz su üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılır.

Yenilenebilir enerji kaynakları deyince aklımıza güneş, rüzgâr, biokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen gibi enerji kaynakları gelir. Su, güneş, rüzgâr, dalga gibi kendiliğinden tükenmeyen diğer enerji kaynaklarının üretiminde kullanılan kaynaklardır.

1.1. Güneş Enerjisi

Canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için Güneş'e ihtiyaçları vardır. Güneş, Dünya'ya en yakın ve orta büyüklükte bir yıldız olup, yaklaşık 5 milyar yıllıktır. Gazlardan oluşan bu yıldızın katmanları bulunmaktadır. Atom sayısı bakımından %91,0 hidrojen ve %8,9 helyumdan oluşur. Güneş'in kütesinin yaklaşık %70,6'sı hidrojenden, %27,4'ü helyumdan ve kalan %2'si ise diğer gazlardan oluşmaktadır. Şekil 1.1 de verilmiştir.



Şekil 1.1. Güneş sistemindeki gazların oranı

Nükleer yakıtlar hariç, dünyada kullanılan tüm yakıtların kaynağı Güneş'tir. Güneş'ten yayılan enerjinin yalnızca küçük bir bölümü yeryüzüne ulaşır. Bu enerji, doğal dönüşümler ve insan tarafından geliştirilen dönüşümler ile farklı şekillerde değişime uğrar. Bu dönüşümler Çizelge 1.1'de verilmektedir (İnan 2021).

Çizelge 1.1. Güneş enerji dönüşümleri

Doğal Dönüşümler	İnsanın Geliştirdiği Dönüşümler
• Toprak ve su ısınması • Işıkla birleşim (Fotosentez) • Yağış ve buharlaşma (su döngüsü) • Rüzgâr ve dalga oluşumu • Doğal yangınlar	• Güneş ısınımı elektrik (güneş gözeleri) • Su gücü mekanik elektrik (barajlar) • Rüzgâr elektrik – mekanik (rüzgâr türbinleri) • Biyokütle ısı (odun vb. yakma sistemleri) • fosil yakıt ısı – elektrik (elektrik ve ısı üretim merkezleri) • Güneş mimarlığı uygulamaları • Güneş ısınımı ısı (toplaçlar, damıtım düzenekleri)

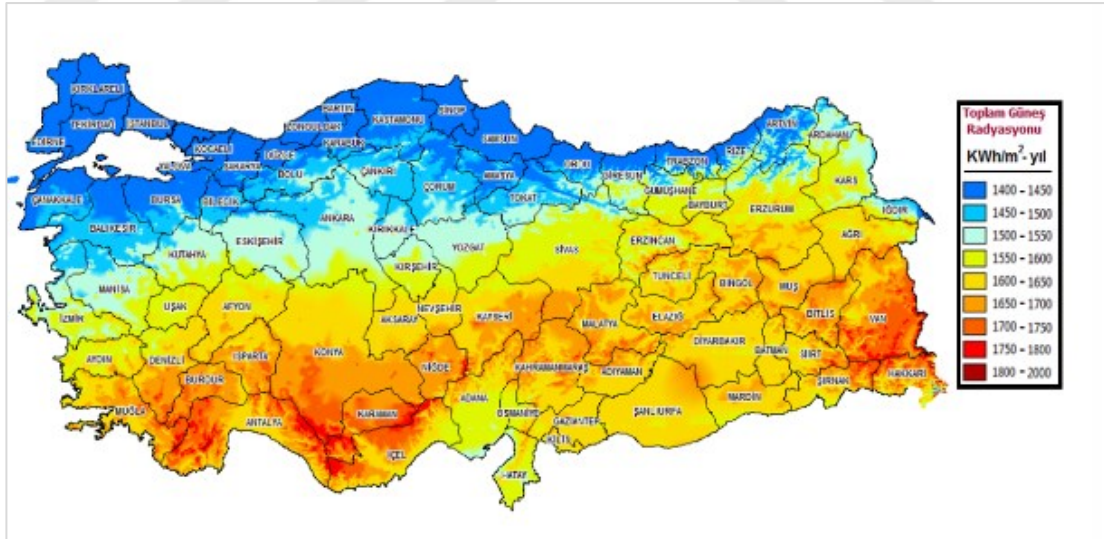
1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, eski çağlardan beri bilinse de günümüzdeki anlamda kullanımı 18. yüzyılda yaygınlaşmıştır. Güneş enerjisinden faydalanmaya yönelik çalışmalar ise 17. yüzyılda Galileo'nun merceği keşfetmesiyle başlamıştır (Akova 2008).

Güneş enerjisi elektrik üretimi, ısıtma ve temiz su elde edilmesinde dünyanın her yerinde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, kurulumunun kolaylığı, çevreyi kirletmemesi ve zararlı atık üretmemesi nedeniyle en yaygın kullanılan enerji kaynağıdır.

1.2. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye, Kuzey Yarım Küre’de, 36-42° kuzey enlemleri ile 26-45° doğu boylamları arasında konumlanmıştır (YGEM 2015). Coğrafi konumu sayesinde ülkemiz, önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bakanlığımız tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre, Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.741 saat, ortalama ışıınım miktarı ise yıllık 1.527,46 kWh/m² olarak belirlenmiştir (Anonim 2021). Şekil 1.2’de toplam güneş radyasyonu verilmiştir.

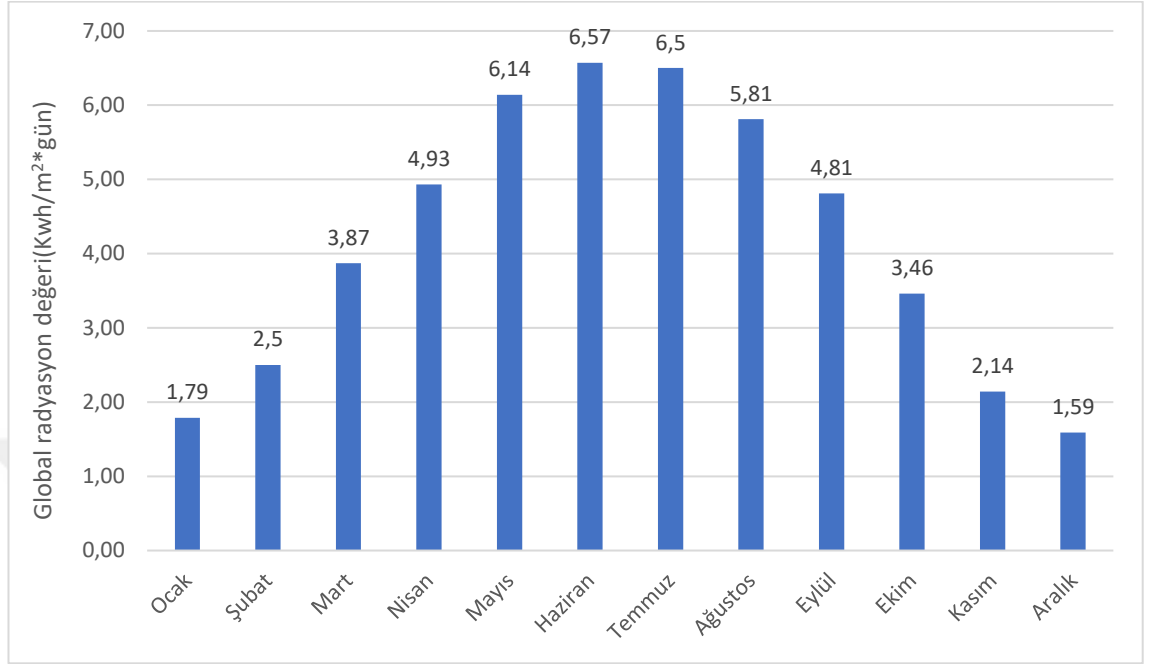


Şekil 1.2. Türkiye toplam güneş radyasyonu

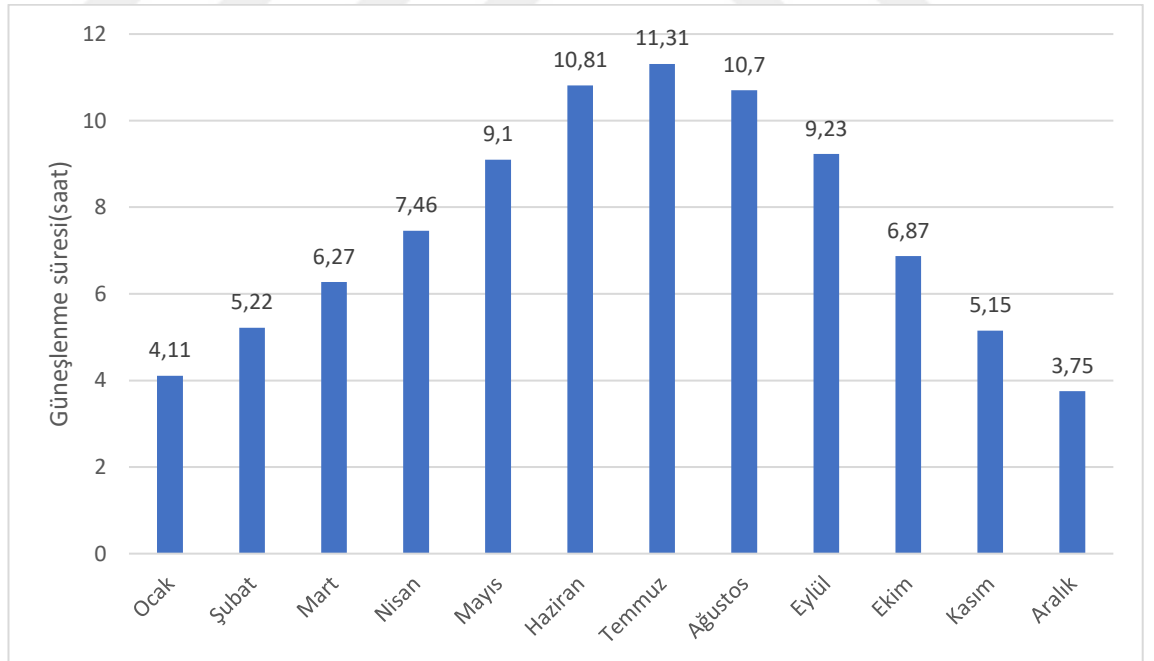
Ülkemizde aylara göre toplam güneş radyasyon parametreleri Şekil 1.3 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek değerlere haziran ve temmuz aylarında çıkmaktadır. En düşük değerlerinde kış aylarında yani aralık ve ocakta olduğu görülmüştür. Şekil 1.4’te aylara göre güneşlenme süreleri verilmiştir. En uzun

1. GİRİŞ

güneşlenme süresi temmuz ayında 11,31 saat olarak kaydedilmiştir. En kısa güneşlenme süresi ise aralık ayında 3,75 saat olarak ölçülmüştür (Anonim 2022).



Şekil 1.3. Türkiye global radyasyon değerleri



Şekil 1.4. Türkiye güneşlenme süreleri

1. GİRİŞ

1.3. Suyun Önemi ve Kullanım Alanları

Yeryüzündeki en değerli kaynaklardan biri su olup, yaşamın temel unsuru olarak kabul edilir. Canlıların hayatta kalabilmesi ve fizyolojik fonksiyonlarını sürdürebilmesi için suya gereksinimleri vardır. Su insan vücudunun %65-70'ini, kanın ise %65-85'inin oluşturmaktadır. Bitkilerinde fotosentez yapabilmeleri için suya ihtiyaçları vardır (Anonim 2007). Suyun gelecekte de önemli bir yere sahip olacağı sudan kaynaklı savaşların yaşanacağı açıkça görülmektedir.

Tarımsal üretim de devamlılığın sağlanması suya bağlıdır. Bir bölgenin ekonomik kalkınması o bölgede temiz sudan elde edilen besin çeşitliliğine, yenilenebilir enerji elde edilmesine ve gelecek nesillere bu devamlılığın sağlanması ile mümkündür. Çizelge 1.2'de suyun kullanım alanları gösterilmiştir (Yılmaz 2003).

Çizelge 1.2. Suyun kullanım alanları

Kullanım Alanı	Dünya Ortalaması	Gelişmiş Ülkelerde	Gelişmekte Olan Ülkelerde	Az Gelişmiş Ülkelerde
Tarım	67	39	52	86
Endüstri	23	46	38	7
Konut	10	15	10	7

Tarımda ve endüstride su tüketimi konutlara oranlara daha fazla olup konutlarda sadece evsel kullanım ve ısınma için kullanılmaktadır.

1.4. Su İhtiyacı ve Su Kaynakları

Dünya yüzeyinin %70'i sularla kaplıdır, ancak bu suların yalnızca %3,5'i tatlı sudur. Dünya üzerindeki su kaynakları denizler, göller, okyanuslar, akarsular, buzullar, atmosfer ve yeraltı sularından oluşur. Dünyadaki toplam su miktarı ise 1,4 milyar km³ olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 1.3 de verilmiştir (Anonim 2007).

1. GİRİŞ

Çizelge 1.3. Dünyadaki suyun dağılımı

Su Kaynağı	Kilometreküp Olarak İfade Edilen Su Hacmi	Mil Küp Olarak İfade Edilen Su Hacmi	Tatlı Su Yüzdesi	Toplam Su Yüzdesi
Okyanuslar, Denizler ve Körfezler	1.338.000.000	321.000.000	×	96,5
Buz Tepeleri, Buzullar ve Kalıcı Kar	24.064.000	5.773.000	68,7	1,74
Yer Altı Suyu	23.400.000	5.614.000	×	1,7
Tatlı	10.530.000	2.526.000	30,1	0,76
Tuzlu	12.870.000	3.088.000		0,94
Toprak Nemi	16.500	3.959	0,05	0,001
Zemin Buzu ve Sürekli Don Olan Toprak	300.000	71.970	0,86	0,022
Göller	176.400	42.320	×	0,013
Tatlı	91.000	21.830	0,26	0,007
Tuzlu	85.400	20.490	×	0,006
Atmosfer	12.900	3.095	0,04	0,001
Bataklık Suyu	11.470	2.752	0,03	0,0008
Nehirler	2.120	509	0,006	0,0002
Biyolojik Su	1.120	269	0,003	0,0001
Toplam	1.386.000.000	332.500.000	×	100

Dünya nüfusunun hızla artması, endüstriyel amaçlı su kullanımı ve tarımda sulama olarak kullanım suya olan ihtiyacın artmasına sebep olmuştur. Türkiye’de ve dünyada su kaynaklarının azalması yeni su kaynaklarının bulunması gerekmektedir.

Türkiye su kaynakları açısından önemli bir yere sahiptir.3 tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye’de önemli bir su potansiyeli vardır. Çizelge 1.4 de gösterildiği gibi Türkiye’nin toplam su potansiyeli 186,05 km³’tür. Yıllık toplam en fazla akış Fırat (31,61 km³) ve Dicle (31,33 km³) havzalarıdır.

Yıllık en düşük akış ise Akarçay (0,49 km³) ve Burdur Gölleri (0,50 km³) havzalarıdır (Çeliker 2004).

1. GİRİŞ

Çizelge 1.4. Havzalar itibariyle Türkiye'deki su potansiyeli

Havza Adı	Yıllık Toplam Akış (km ³)	Tarım Alanı (ha)	Sulanabilir alan (ha)
Meriç Ergene	1,33	1.095.320	1.077.992
Marmara	8,33	865.704	729.957
Susurluk	5,43	850.046	755.394
Kuzey Ege	2,09	367.479	316.348
Gediz	1,95	667.207	623.403
K. Menderes	1,19	222.437	194.799
B. Menderes	3,03	1.044.296	907.383
Batı Karadeniz	8,93	437.356	406.601
Antalya	11,06	451.224	448.111
Burdur Gölleri	0,5	251.403	249.484
Akarçay	0,49	364.411	359.938
Sakarya	6,4	2.814.341	2.681.137
Batı K. Deniz	9,93	855.008	640.557
Yeşilırmak	5,8	1.617.206	1.401.213
Kızılırmak	6,48	4.049.796	3.761.142
Konya Kapalı	4,52	2.182.762	2.134.915
Doğu Karadeniz	11,07	438.281	327.790
Seyhan	8,01	764.673	714.014
Asi	1,17	376.240	331.719
Ceyhan	7,18	779.792	713.670
Fırat	31,61	4.293.793	4.111.316
Doğu K. Deniz	14,09	712.575	350.717
Çoruh	6,3	326.220	303.362
Aras	4,63	642.017	641.137
Van Kapalı	2,39	436.485	433.319
Dizle	21,33	1.148.238	1.137.628
TOPLAM	186,05	28.054.310	25.753.586

1. GİRİŞ

1.5. Deniz Suyu

Deniz suyu, dünyanın oluşumundan bu yana suya ihtiyaç duyan canlılar için bir yaşam alanı sunar ve tuzlu bir yapıya sahiptir. "Deniz suyu" ifadesi yalnızca denizleri değil, okyanuslar ve diğer büyük su kütlelerini de kapsar. Dünya yüzeyinin yaklaşık %70'i denizlerle kaplı olup, deniz suyu yaklaşık %3,5 oranında tuz içerir (Msxlabs 2015).

Dünya üzerindeki bazı denizlerin tuzluluk oranları Çizelge 1.5 de verilmiştir (Janisch 1994).

Çizelge 1.5. Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları

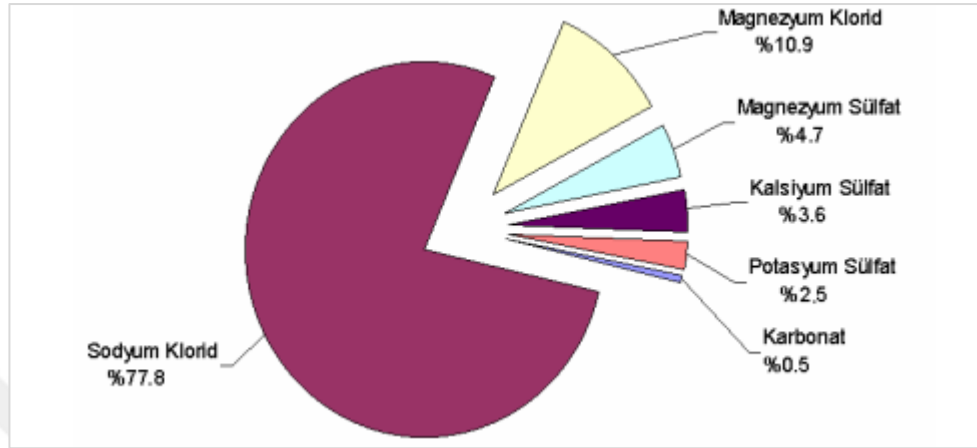
Denizler	Tuz Konsantrasyonu (%)
Standart deniz suyu	35
Baltık denizi	7
Hazar denizi	13
Pasifik okyanusu	34
Atlantik okyanusu	36
Kızıldeniz	43
Basra körfezi	43
Karadeniz	18
Marmara denizi	22
Ege denizi	38
Akdeniz	43

Türkiye’de deniz tuzluluk oranları en yüksek Akdeniz bölgesidir. Kavurucu yaz günlerinde buharlaşan suyun çok az miktarını yağış olarak geri alabildiğinden tuz oranı fazladır. En düşük tuz oranı ise Karadeniz’dir çünkü o bölgede yağış miktarı fazladır.

Deniz suyunun içerisinde bulunan elementler, kimyasal maddeler ve aşırı tuz sebebiyle normal kullanımı oldukça zorlaştırmaktadır.

1. GİRİŞ

Şekil 1.5’de deniz suyunda olan kimyasal bileşenler ayrıntılı olarak verilmiştir (Künzel 1989). Deniz suyu işlem görmeden birçok alanda kullanılabilir. Bunların bazıları turizm sektörü, fabrikalar, sanayi sektörü, tuvaletler gibi alanlarda deniz suyu işlenmeden kullanılabilir.



Şekil 1.5. Deniz suyunun kimyasal bileşenleri

Deniz suyunu kullanmaya 17. ve 19. Yüzyıllar arasında başlanmıştır. Dünyada ilk modern anlamda deniz suyunu arıtarak kullanım 19. yy’nin ilk yarısından itibaren başlamıştır. Osmanlı Devleti hac dönemlerinde su ihtiyacını karşılayabilmek için Cidde’de deniz suyunu arıtabilmek için bir istasyon kurmuştur (Yılmaz 2013).

Türkiye’de ise bazı bölgelerde yaşanan su sıkıntıları sebebiyle deniz suyundan içilebilir temiz su elde edilmesi için çalışmalar başlamıştır.

Sonuç olarak, sanayi devriminden bu yana dünya genelinde su tüketimi artarken, tatlı su kaynaklarında ise bir artış yaşanmamış; aksine su kıtlığı sorunları baş göstermiştir.

Böylelikle tatlı su kaynaklarının azalması ile birlikte gelecek nesillere aktarımın zor olduğu görülmektedir. Bununla birlikte gelişen sanayileşen dünyada küresel ısınmanın da etkisiyle kaynaklar bir hayli azalmıştır. Bu sıkıntılar Türkiye şartlarında da gözle görülür bir düzeyde artmaktadır.

1.6. Damıtma ile temiz su üretimi

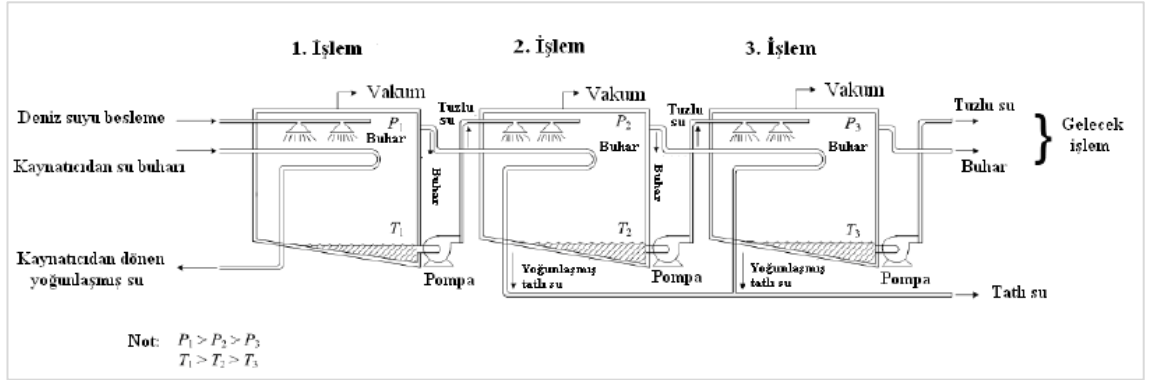
Suyun damıtılıp temiz su elde edilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu damıtma sistemlerinin avantajları ve dezavantajları olabilmektedir. En sık kullanılan damıtma yöntemi ise buharlaştırarak damıtmadır.

Deniz suyu arıtmada kullanılan damıtma uygulamaları şunlardır.

- i. Çok işlemlili damıtma (multiple-effect distillation)
- ii. Çok kademeli şok damıtma (multi-stage flash distillation)
- iii. Mekanik buhar sıkıştırma (mechanical vapour compression)
- iv. Güneşle damıtma (solar distillation)

1.6.1. Çok işlemlili damıtma (multiple-effect distillation-MED)

Bu sistem bir süredir endüstriyel amaçlı damıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemin maliyet ve mukavemetindeki bozulmalarından dolayı MSF (Çok kademeli şok damıtma) üniteleri yerini almıştır. Şekil 1.6 de sistem ayrıntılı olarak verilmiştir (Vishwanathappa 2005).



Şekil 1.6. Çok kademeli damıtma tesisinin şematik şekli

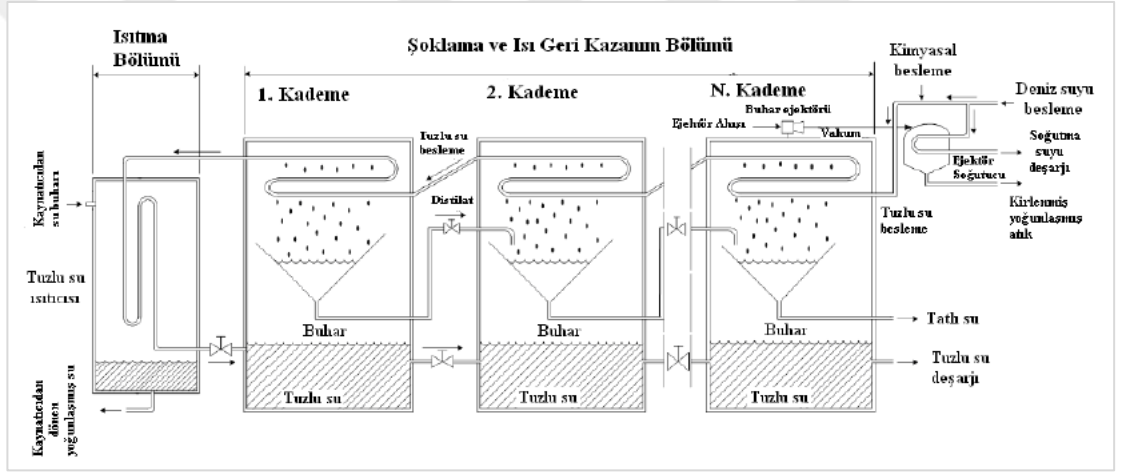
Bu sistemde, ilk aşamada deniz suyu sisteme dahil edilir. Önceden ısıtılmış su buharı, tüplerin üzerine püskürtülen deniz suyu ile karşılaşır. Bu etkileşim sonucunda oluşan su buharı, ikinci bir işlemde geçerek ısı transferi yoluyla yoğunlaşır ve toplanır (Muhammad 2019).

1. GİRİŞ

İlk aşamada deniz suyunun yalnızca bir kısmı buharlaştırılır, geri kalan su ise ikinci işlem için kullanılır. Bu işlemler sırasıyla devam eder. Büyük ölçekli bir tesiste, bu süreçleri tamamlamak için genellikle 6 ila 16 işlemci bulunur (Vishwanathappa 2005).

1.6.2. Çok kademeli şok damıtma (multi-stage flash distillation-MSF)

Bu sistem, ilk kez 1950’li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Buhar ve deniz suyu, birden fazla kademedan geçerek yoğunlaştırılır. Bu yöntem, en basit ve en güvenilir tuzsuzlaştırma yöntemlerinden biridir (Artüz 1990). Şekil 1.7 ‘de sistem ayrıntılı olarak verilmiştir (Vishwanathappa 2005).



Şekil 1.7. Çok kademeli şok damıtma tesisinin diyagramı

Sistemde deniz suyu ısıtma bölümünde kanal içerisinde ısıtılarak 1. Kademe olarak adlandırılan kanal içerisine aktarılır ve yoğunlaştırılarak toplanır. Deniz suyu, sürekli bir döngü içinde yükselen su buharının kanala çarpmasıyla ısı alışverişi yapar. Bu süreç sonucunda yoğunlaşan su buharı toplanır ve her kademedan geçerek tatlı suya dönüştürülür (Vishwanathappa 2005).

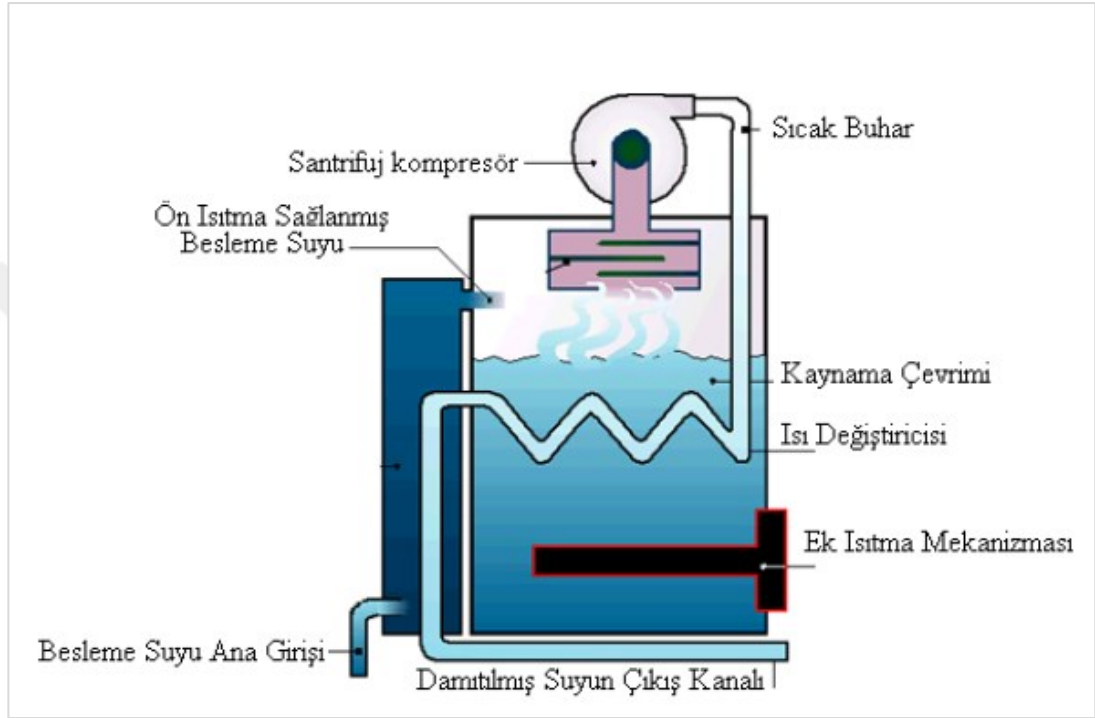
1.6.3. Mekanik buhar sıkıştırma (mechanical vapour compression)

Bu tür sistemlerde, damıtma işlemi için bir ısı kaynağı kullanılır. Bir ısı kaynağı kullanılarak buhar üretilir ve ardından kompresörle sıkıştırılır. Sıkıştırma sonucunda

1. GİRİŞ

buharın basıncı ve sıcaklığı artar. Deniz suyu ise bu buharı soğutmak için kullanılır. Sürekli bir çevrim halindedir sistem (Anonim 2006).

Şekil 1.8’de sistemin çalışma prensibi verilmiştir (Anonim 2010). Dünya çapında birçok endüstriyel sistemde kullanılır.



Şekil 1.8. Buhar sıkıştırırmalı damıtma sistemi

Diğer damıtma yöntemleri;

- a) Dondurarak damıtma
- b) Ters osmoz
- c) Elektrodializ
- d) İyon değişimi

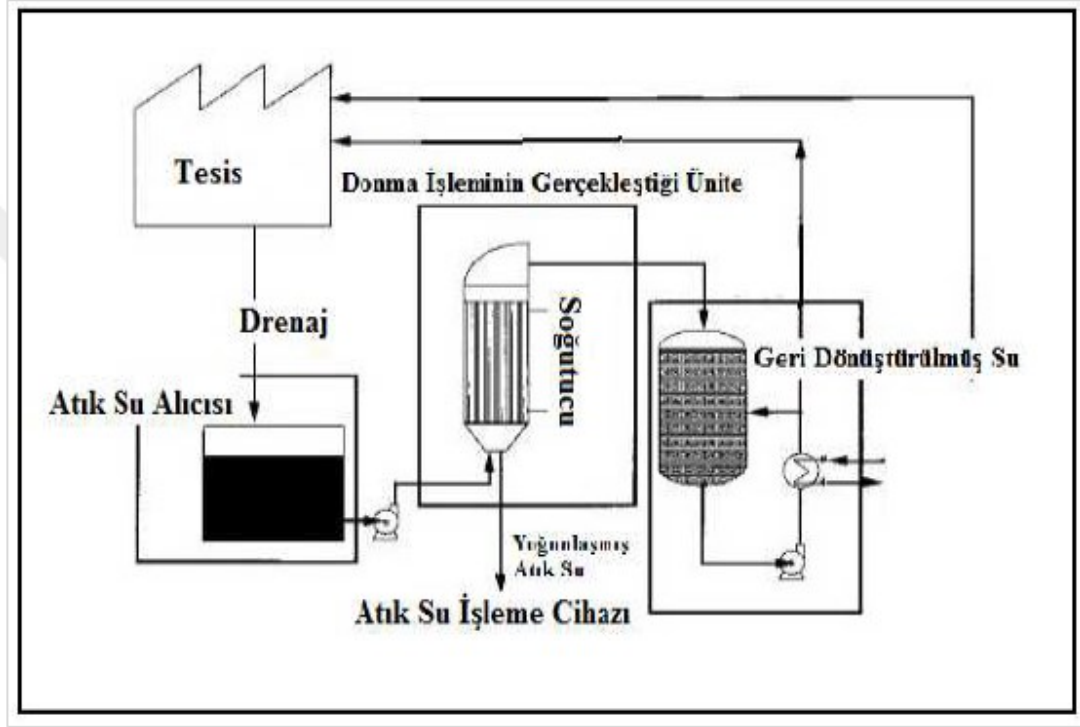
1.6.4. Dondurarak damıtma

Bu sistemde, tuzlu suyun, hava basıncı yaklaşık 0,004 bir tank içine püskürtülmesi ile yapılır. Suyun bir kısmı buharlaşırken, geri kalan kısmı ısı alır. Isıyı alan su, buza

1. GİRİŞ

dönüşür. Bu buzlar tuz içermez ve tatlı suyla yıkandıktan sonra eritilerek saf su elde edilir (Can 2002).

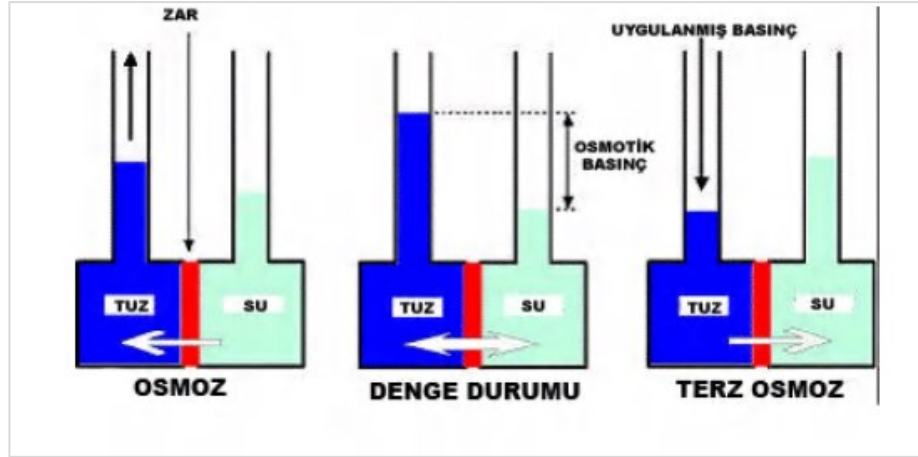
Şekil 1.9’de sistemin çalışma prensibi verilmiştir. Bu sistemin avantajları yüksek olsa da yüksek maliyet ve karmaşık soğutma sistemi gereksinimleri nedeniyle sanayide geniş bir kullanım alanı bulamamıştır (Eltawil 2009).



Şekil 1.9. Dondurarak ayrıştırma tekniği ile çalışan sistemler

1.6.5. Ters osmoz

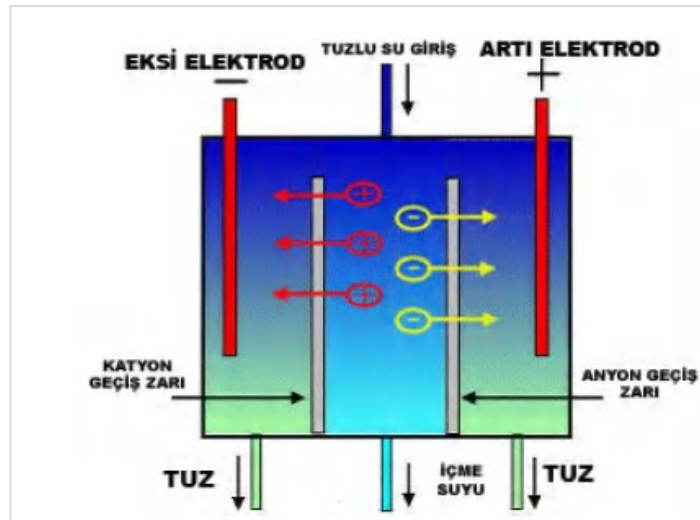
Sistemde, farklı konsantrasyonlardaki iki çözelti yarı geçirgen bir membranla birbirinden ayrılır. Çözelti tarafına osmotik basınçtan daha yüksek bir basınç uygulandığında, bu işleme ters osmoz denir. Bu durumda sıvı, yüksek konsantrasyonlu taraftan düşük konsantrasyonlu tarafa geçer. Basınç uygulanan tarafta çözünmüş maddeler belli bir yüksekliğe kadar yükselir ve bu yoğun çözeltiye "konsentrat" adı verilir. Şekil 1.10’de sistemin çalışma prensibi verilmiştir (Can 2022).



Şekil 1.10. Ters osmoz çalışma prensibi

1.6.6. Elektrodializ

Bu sistem, elektrik alanı kullanılarak gerçekleştirilen bir damıtma işlemidir. Ünite, anot, katot, anyon ve katyon değişimi sağlayan zarlar sırasıyla yerleştirilir. Katyon zarları, pozitif yüklü iyonların geçişine izin verirken, anyon zarları negatif yüklü iyonların geçmesine olanak tanır. Elektrik alanının etkisiyle, sodyum iyonları katyon zarından geçerek besleme suyu bölümünden ayrılır. Klorür iyonları ise anyon zarından geçerek diğer tarafa doğru hareket eder ve böylece besleme suyundan ayrılır. Şekil 1.11 de sistemin çalışma prensibi verilmiştir (Can 2022).



Şekil 1.11. Elektrodializ sistemi çalışma prensibi

1.6.7. İyon değişimi

İyon değiştiriciler, çözeltilerdeki iyonları alıp, yerine aynı miktarda farklı iyonlar bırakan sistemlerdir. İyon değişimi arıtılacak suyun içerisine ii reçine dolu bir sütundan geçirilerek gerçekleştirilir. Bu sistem günümüzde içme sularının elde edilmesinde yaygın olarak kullanılır (Can 2002).

1.7. Güneş Enerjili Su Damıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Geçmişten günümüze kadar temiz su eldesinde çeşitli parametreler denenmiştir. Temiz su elde etmede en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi çevreye fosil yakıtların aksine emisyon gazı salmadığından daha sürdürülebilir bir gelecek imkânı sunar insanlara.

Güneş enerjili damıtma sistemleri ‘pasif’ ve ‘aktif’ olmak üzere 2 kısımda incelenir.

1.7.1 Aktif sistemler

Bu sistemin temel amacı damıtıcı içerisindeki tuzlu suyun sıcaklığının düşmesini önlemektir.

Bu sistemler 2 başlık altında incelenir.

Gece arıtmalı damıtıcı

Konveksiyonel tip damıtıcılar, havuzdaki su kütleinde depolanan ısı enerjisini, güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde buharlaşma için kullanır. Su derinliğinin fazla olması gerekmektedir. Su miktarı ile depolanan ısı enerjisi doğru orantılıdır (Tiwari 2003).

Yüksek sıcaklıklı damıtıcı

Sistem, havuza sabit bir akışla su beslemesi yaparak çalışır. Bu sistemde, bir damıtıcı ve sıcak su sağlayan kolektörler bulunur. Havuz suyu, kolektörlere yönlendirilir, burada ısısı artar ve ardından havuza geri döner. Döngü sırasında damıtılan su sistemden ayrıldığında, su seviyesini dengelemek için soğuk su eklenir. Bu işlem güneş ışığının olduğu zaman içerisinde devam eder (Tiwari 2003).

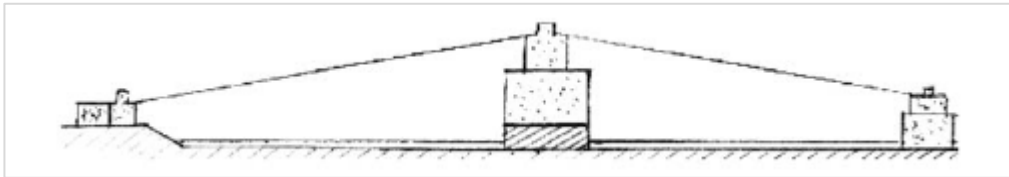
1.7.2. Pasif sistemler

Bu sistemlerde birçok damıtma yöntemi vardır. Bu bölümde bu damıtma sistemlerinin bir kısmını göreceğiz.

- Konvansiyonel Tek Eğilimli Damıtıcı
- Konvansiyonel Çok Eğilimli Damıtıcı
- Sera Tipi Damıtma Sistemleri
- Nemlendirme-Nemini Alma Tekniği ile Çalışan Sistemler
- Açık Isı Borulu Sistemler
- Fitilli (Sıvı Emicili) Sistemler
- Parabolik Yansıtıcı Sistemler

Konvansiyonel tek eğilimli damıtıcı

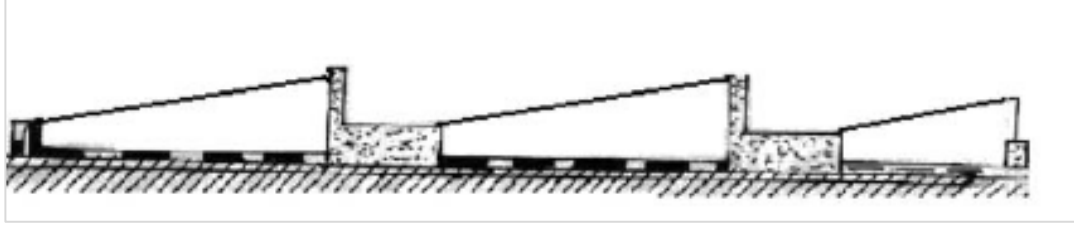
Bu damıtıcılar Şekil 1.12’de görüldüğü gibi tek eğime sahiptir. Eğim nedeniyle yüzey alanı küçüktür ve toplama kanalı, yoğunlaşan akışın yönüne doğru yerleştirilmiştir (Phadatare 2006).



Şekil 1.12. Konveksiyonel tek eğilimli damıtıcı

Konvansiyonel çok eğimli damıtıcı

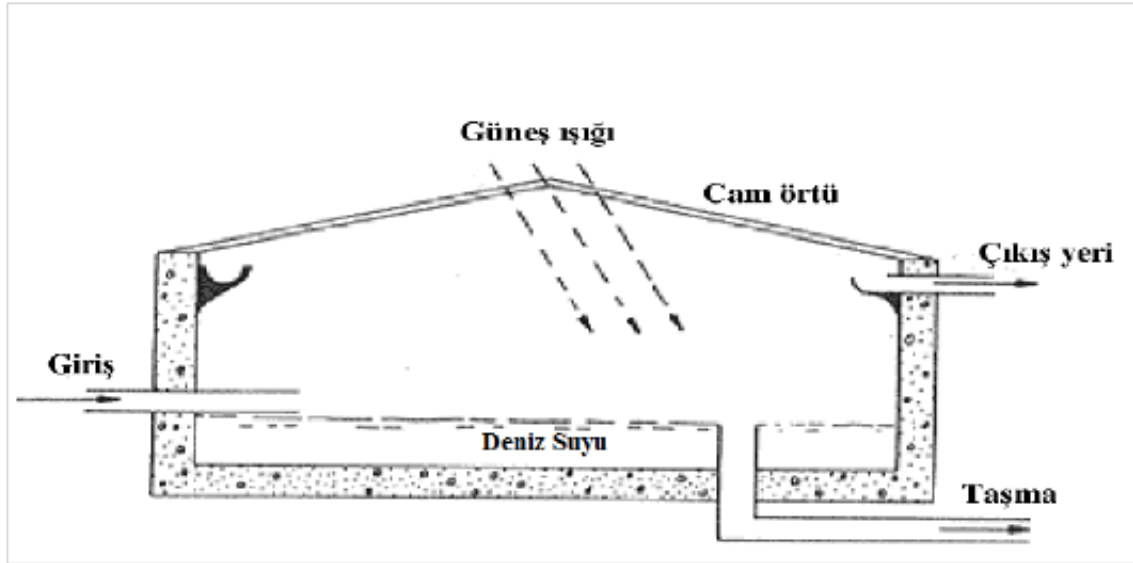
Bu sistemde 2-4 tane eğim bulunmaktadır. Sistemde ne kadar eğim varsa o miktarda toplama kanalı vardır. Şekil 1.13’de konveksiyonel çok eğimli damıtıcıya örnek verilmiştir (Phadatare 2006).



Şekil 1.13. Simetrik V tipi plastik örtülü damıtıcı

Sera tipi damıtma sistemleri

Bu tür sistemlerde, üzeri şeffaf camla kaplanmış ve tabanı siyaha boyanmış bir havuz bulunur. Bu sistemler güneşten başka herhangi bir kaynağa ihtiyaç duymamaktadır. Bu sistemde güneş ışınları camlardan geçerek tabanda bulunan suyu yoğunlaştırarak cam yüzeye tutunur ve bu tutunan su buharı oluklara akarak su damıtılmış olur (Yiğit ve Atmaca 2010). Bu Sitem Şekil 1.14’de verilmiştir (Cingiz 2007).

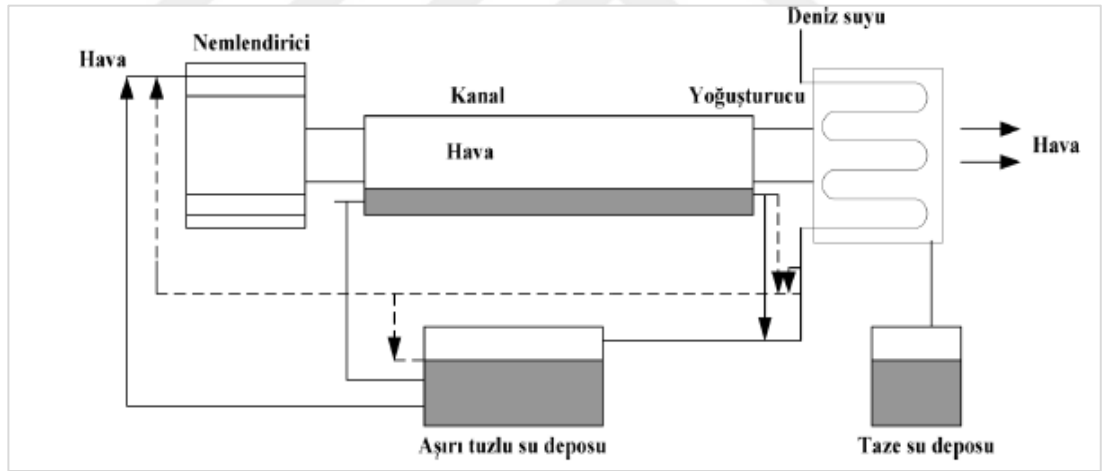


Şekil 1.14. Sera tipi damıtma sistemi çift cam örtülü

Nemlendirme-nemini alma tekniği ile çalışan sistemler

Bu sistemin ana prensibi, havanın su buharı ile etkili bir şekilde karışabilmesi üzerine kuruludur. Tuzlu suyu buharlaştırmak için kuru hava kullanılır. Kuru hava, nemlendiriciye girerek nemlendirilir ve sonrasında depodan gelen sıcak hava, tuzlu suyu ısıtarak buharlaşmasını sağlar. Kanaldan geçen deniz suyu, nemlendiriciden gelen sıcak hava ile etkileşerek buharlaşır. Böylelikle ilk aşama tamamlanmış olur. İkinci aşamada nemini alma kısmı uygulanır.

Bu aşamada, kanalı terk eden nemli hava yoğuşturucuya yönlendirilir ve burada deniz suyuna ısısını vererek yoğunlaşır. Böylelikle temiz su elde edilmiş olur (Qiblawey and Banat 2008). Şekil 1.15’de sistemin şematik gösterimi verilmiştir (Cingiz 2007).



Şekil 1.15. Nemlendirme-nemini alma tekniği ile çalışan sistemler

Açık ısı borulu sistemler

Sistem, güneş kolektörü ve buharlaştırıcı bölgeye yerleştirilmiş açık ısı borusundan oluşur. Bu borunun her iki ucu da açık ve havası boşaltılmıştır. Isı borusunun buharlaştırıcı kısmı, deniz suyu girişine ve aşırı tuzlu atık suya bağlıdır. Sistemdeki deniz suyu güneş ışınları sayesinde buharlaşır ve daha düşük sıcaklıktaki yoğuşturucu bölgeye gelir. Temiz su fitil yardımıyla temiz su çıkışından tahliye edilir (Cingiz 2007).

Şekil 1.16’de sistemin çalışma prensibi verilmiştir (Anonim 2010).

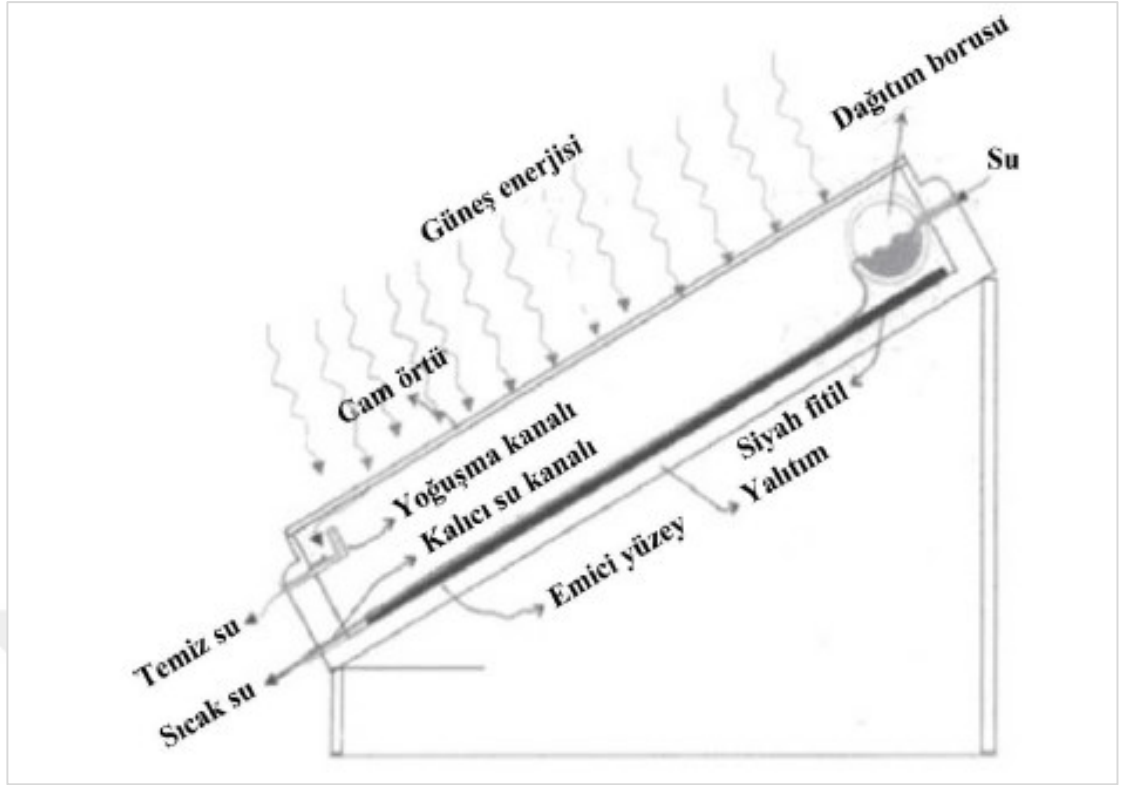


Şekil 1.16. Açık ısı borulu damıtma sistemi ısı borusu çalışma prensibi

Fitilli (sıvı emicili) sistemler

Sistemde damıtma içerisinde havuzlar yerine fitiller kullanılır. Damıtma sisteminin dış materyali paslanmaz malzemeden imal edilir. Yoğuşma sağlamak için sistem üzerinde cam kullanılır. Güneş ışığını maksimum derecede absorbe etmesi için fitiller siyah renge boyanır. Fitiller su emilimini sağlamak için bir kısmı tuzlu su içerisine batırılır güneş ışığı sayesinde su emilimi gerçekleşir. Yoğuşma işlemi cam yüzeyinde oluşmaktadır. Damıtıcı sisteme belli bir eğim verildiğinde güneş ışıını daha uygun açılarda gelerek yoğuşma işlemi daha hızlı gerçekleşir. Böylelikle damıtma işlemi hızlandırılmış olur. Cam yüzeyinde damıtılmış olan su ayrı bir kanalda toplanır. Bu sistemin dezavantajı zamanlara fitillerin kirlenip bakteri oluşturmasıdır (Cingiz 2007).

Şekil 1.17’de sistemin çalışma prensibi verilmiştir (Can 2002).

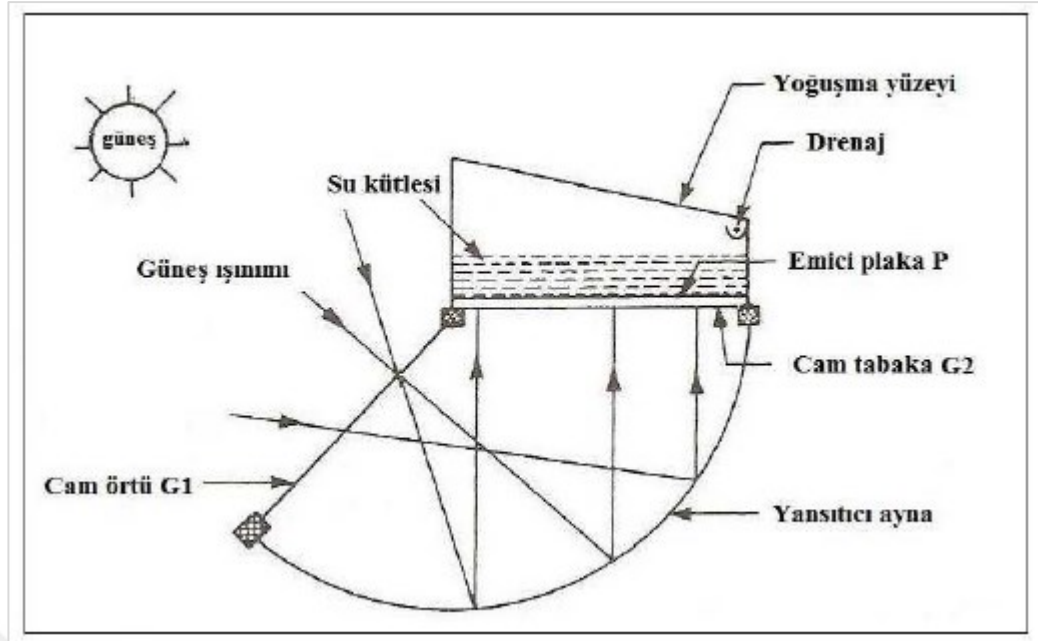


Şekil 1.17. Fitilli (sıvı emicili) damıtma sistemi

Parabolik yansıtıcı sistemler

Bu sistemlerde hazne çift taraflı güneş ışınlımlarına maruz bırakılır. Sistem saydam bir örtüden yapılır. Sistemin alt kısmına güneş ışınlımlarını da yansıtmak için bir yansıtıcı ayna kullanılır. Böylelikle hazne içerisindeki deniz suyu iki taraftan da ısıtılmış olur. Yoğuşmanın etkisi ile am yüzeyinde tutunan su damlacıkları yer çekimi etkisi ile oluklarda toplanmış olur. Böylelikle deniz suyu tuzdan arındırılmış olur.

Bu sistemin dezavantajı gündüz güneş ışınlımının fazla olmasından kaynaklı hızlı ısınırken gece vakitleri de hızla soğumaktadır (Cingiz 2007). Şekil 1.18’de sistemin çalışma prensibi verilmiştir (Tiwari 2004).



Şekil 1.18. Parabolik yansıtıcılı damıtma sistemi

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İlk bakışta basit gibi görünse de su damıtma genel olarak en önemli mühendislik süreçlerinden ve uygulamalı bilimlerden biridir. Bu konunun önemini göstermek için dünya sularının %97'sinden fazlasının atık ve tuzlu olduğunu vurgulamak gerekir. Bu bağlamda sonuç oranını artırmanın yollarını bulmak için (düşük etkili olmasına rağmen) birçok parametre araştırılmıştır (Kumar et al. 2015; Tiwari and Sahota 2017).

Essa et al. (2021) yaptıkları çalışmada güneş damıtma havuzu suyunun sınır katmanlarını ve yüzey gerilimini kırarak bir mekanizma geliştirildi bu mekanizmada tepsi güneş damıtma cihazındaki çatlakları kullanılarak suyun yer çekimi kuvvetinin etkilerini incelemişlerdir. Tepsi damıtma ünitesinin performansını artırmak için tepsilere iç dış kolektörler yerleştirildi. Tepsilerde farklı çatlak sayıları kullanılarak deney tekrarlanmıştır. Daha sonra en yüksek verimliliği 7 çatlaklı tepsi ile elde etmişlerdir. Geleneksel damıtıcı için %34,5 olan değer bu yöntemle %51 olduğu gösterilmiştir.

Essa et al. (2021) tarafından yapılan farklı bir çalışmada da piramit güneş damıtıcısındaki fitil ile yapılacak olan yeni bir çalışma mekanizması yapıldı. Bu mekanizmada kordonlu fitil piramit güneş enerjili damıtıcının orijinal lavabo astarının 3 cm üzerinde çok sayıda çatlak bulunan paralel bir üst lavabo astarı yapılmıştır. Bu astarın havuz suyunu çekmek için ve kılcal hareketle fitil yüzeyini hep ıslak tutmak için astar çatlaklardan sarkan fitil kordonları jüt fitil ile kaplanmıştır. Çok sayıda farklı fitil sayılarından deney tekrarlanmıştır. Damıtıcıya gelen enerji girişini artırmak için iç dış aynalar kullanıldı. Geleneksel damıtıcı için %34,5 olan değer bu yöntemle %53 olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.1'de sistemin tasarımı verilmiştir.



Şekil 2.1. Piramit güneş damıtıcısı

Abdelgaied et al. (2022) tarafından yapılan bu çalışma tasarımı üç etkili hibrit modifikasyonunun dâhil edilmesi yoluyla kademeli güneş damıtıcısının yüksek performans elde edilmesi ile ilgilidir. Isı transferini artırmak için yüzeye iç ve dış aynalar eklenmiştir. Deney tuzlu su ile gerçekleştirilmiştir. Referans damıtıcıda elde edilen su oranı 4,15 l/m²/gün olduğu gözlemlenirken kademeli aynalı damıtıcıda 9,79 l/m²/gün olduğu belirtilmiştir. Termal verimlilik ise referans damıtıcıda %33,3 iken kademeli güneş damıtıcısında %78,8 olduğu görülmüştür. Kademeli güneş damıtma cihazı yüksek performans elde etmeden etkili yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

Shmroukh and Ookawara (2020) tarafından yapılan bu çalışmada kademeli güneş enerjili damıtıcıyı bakır kanatçıklar eklenerek ve şeffaf basamakla birleştirmenin etkisi incelenmiştir. Deney düzeneğinde iç dış aynalar kullanılmıştır. Bu deney düzeneği tuzlu sudan temiz su elde etmek için tasarlanmıştır. Kademeli güneş enerjisinin verimliliği %63 olarak gözlemlenmiştir. Literatürdeki diğer basamaklı güneş damıtıcılarına göre oldukça yüksek bir verime sahiptir.

Tanaka et al. (2000) yatay bir havuz astarı eğimli bir cam kapak ve tuzlu suyla ıslatılmış fitillerle temas halindeki dikey paralel bölmelerden oluşan üçgen bir tasarıma sahip güneş enerjili damıtma sistemi tasarlanmıştır.

Thakur et al. (2021) yaptıkları çalışmada faz değişim malzemelerinin (PCM) uygulanması düz plaka toplayıcılarının (FPC) bağlanması, nanopartiküllerin kullanılması

ve kademeli güneş enerjili bir damıtıcı bu damıtıcıya kondansatör eklenmesi ile oluşan bir deney düzeneği kullanılmıştır.

Gaur et al. (2021) yaptıkları araştırmanın amacı maksimum verim elde etmek için PVT hibrit aktif güneş enerjisi damıtıcısının (HASS) farklı su derinliklerinde ısı transferi analizi yapmaktır. Damıtıcı havuzunda 0,15 m su derinliğine sahip akan su ile akan su olmayan modellemeler ile deney tekrar edilmiştir. Deney sırasında su cam kapağın üzerinde akmaktadır. Üzerinde akan su ile cam kapağı soğutulan bu hibrit sistemin ısı verimi gözlemlenmiştir. Suyun cam kapak üzerinden akması verimliliği %4 oranında artırmıştır.

Tiwari and Somwanshi (2018) tarafından kullanılan deney düzeneği Jodhpur'un (HİNDİSTAN) sıcak ve kurak iklim bölgesinde içme suyunu karşılayabilmek için tasarlanmıştır. Bu düzenek çeşme rezervuarına bağlı iki küçük güneş enerjili damıtma sistemidir. Tesislerin verimliliğini artırmak için güneş enerjili damıtıcıların cam yüzeyleri rezervuarlarda depolanan soğuk su ile soğutulup verimlilik artışı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak gerekli olan damıtma alanının geleneksel tek eğimli güneş enerjili damıtıcı tesisine (soğutulmamış) kıyasla %37,8 ila %39,5 daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Sambare et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisinden yararlanarak hem yeraltı sularını hem de yüzey suyunu arındırıp içilebilir temiz içme suyuna dönüştürmek için çeşitli damıtma sistemleri günümüze kadar araştırılmıştır. Ancak bu sistemin sürdürülebilir olabilmesi için sistemin verimliliği çok fazla olması gerekir. Bu damıtıcı sistemde tüp şeklindeki güneş distileleri (TSS) daha verimli damıtma sistemleri arasında yerini almıştır. Farklı kapak malzemelerini kullanarak daha fazla verimliliği amaçlamayı hedeflemişlerdir. Polivinil klorür (PVC), polikarbonat, akrilik ve cam gibi farklı kapak malzemeleri ile 4 farklı deney yapılmıştır. Diğer malzemelere kıyasla cam kapak ile yapılan deneyde daha iyi verimlilik elde edilmiştir. Cam kapakta verimlilik $6,23 \text{ L/m}^2$ günlük ekserji %7,67 ve enerji verimliliği ise %71,56 olarak ölçülmüştür. Yapılan tüm malzemelerde ekonomik analizlerde en düşük maliyetli akrilik kapaklı TSS olmuştur.

Özcan ve Deniz (2023) çalışmalarında termoelektrik teknolojisinin güneş enerjisi kullanarak tuzlu sudan temiz su elde edilmesi tasarlanmıştır. Su çıkışını ve verimliliği artırmak için termoelektrik jeneratörlü güneş enerjili damıtma sistemi (CSS-TEG) yapılmıştır. Jeneratörsüz yapılan deneylerde elde edilen günlük enerji ve ekserji verimlilikleri %35,55 %2,403 iken TEG'li sistemde ise %40,34 %2,462 olarak ölçülmüştür. Elde edilen su miktarları jeneratörsüz deneyde 4313g/m² iken yeni sistemde 4893g/m² elde edilmiştir.

Kumar et al. (2018) bu çalışmalarında geleneksel pasif güneş enerjili damıtıcı ve hibrit aktif (PV/T) NiCr ısıtıcılı güneş enerjili damıtıcı sistemleri ele alınmıştır. Bu deney 3 farklı su derinliklerinde tekrarlanmıştır. (0,005m, 0,10m, 0,15m) deney verimliliğini artırmak için PV ile çalışan bir nikel-krom ısıtıcı dâhil edilmiştir. Bu çalışma pasif güneş enerjili damıtıcıya göre daha yüksek termal ve elektrik verimliliği elde edilmiştir.

Sharon et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada hibrit güneş enerjili damıtma sistemi önerilmiş ve Hindistan'ın Chennai kentinin iklim koşullarında yapılmıştır. Hibrit güneş enerjili damıtma cihazı, havza güneş enerjili damıtma cihazı ve dikey difüzyon damıtma cihazının birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu deneyde emici alanı/havza alan oranı, difüzyon boşluğu, havza su derinliği ve besleme suyu akış hızları ölçülmüştür. Hibrit güneş enerjili damıtma sistemi yaz aylarından ziyada kış aylarında daha yüksek performans göstermiştir.

Parsa et al. (2020) Temmuz 2018 yılında Tahran şehrinin TOCHAL Dağının zirvesinde 4000 m yüksekte ve Tahran şehrinin merkezinde 2 farklı deney çalışması yapmışlardır. Çalışmada mükemmel optik özellikler, anti bakteriyel özellikler ve yüksek ısı iletkenliğe sahip gümüş nanofluidli ve nanofluidsiz malzeme kullanılmıştır. Dağın zirvesinde güneş ışıınımı şehir merkezine göre daha fazladır. Dağın zirvesindeki UV ışıınımı şehir merkezine göre %30 daha yüksektir. Zirvede yapılan deneyde elde edilen veriler şehir merkezinde yapılan deneye göre daha iyi sonuç verdiği ortaya koyulmuştur.

Sadeghi and Nazari (2021) tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisi kullanılarak içme suyu elde etmek için tasarlanmış cihazlarda düşük sıcaklıklarda yapılan çalışmada damıtıcı cihazlarında zatürreye neden olan bakteriler gözlemlenmiştir. Bu

2. KAYNAK ÖZETLERİ

çalışmada dezenfeksiyon için bir hibrit nanofluidin antibakteriyel özelliğinin uygulanması ve ısı transfer oranının artırılması için yapılmış bir tasarımıdır.

Bu araştırmada antibakteriyel-manyetik $AgFe_3O_4$ deiyonize su kullanılmıştır. Termoelektrik soğutma kanallı damıtma sistemine yoğunlaştırılmış güneş kolektörüyle entegre edilmesi ve sıvıya $AgFe_3O_4$ nanopartiküllerin eklenmesiyle hem üretkenlik hem de enerji verimliliği artışı görülmüştür.

Bait and Ameer (2018) çalışmalarında güneş enerjili damıtma sistemlerinde sık kullanılan nanofluidlerin rolünü incelemişlerdir. Doğrudan güneş enerjili damıtma sistemlerinde nanofluidlerin olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Saravanan and Murugan (2020) çalışmalarında tatlı suya olan talebin günümüz koşullarında artması sebebiyle deniz suyundan içilebilir tatlı su elde edilmesinin incelemişlerdir. Kare piramit güneş imbiğinin (SPSS) çeşitli dikey fitil malzemeleri kullanılarak deneysel olarak analiz edilmiştir. Havza su derinliklerini hesaplamak için farklı derinliklerde deneyler yapılmıştır. (2,3,4,5,6 cm) En verimli derinlik 2 cm olarak ölçülmüştür. Derinlik arttıkça verimliliğinde azaldığı gözlemlenmiştir. Fitil malzemesi olarak polyester, havlu pamuk, jüt kumaş ve yünlü kumaş kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara bakıldığında en yüksek verimlilik yünlü kumaş kullanılarak yapılan deneyde elde edilmiştir. Şekil 2.2’de sistemin tasarımı verilmiştir.



Şekil 2.2. Kare piramit güneş damıtıcısı

Bataineh and Abbas (2020) tarafından yapılan çalışmada deney düzeneğine hem iç reflektörler hem de kanatçıklar eklenerek bir damıtma sistemi kurulmuştur. Deney Ürdün hava koşullarında yapılmıştır. Havza suyu ve havza astarı tarafından emilen güneş radyasyonları, güneş yolu diyagramı ve eğimli yüzeylere düşen ışın radyasyonunun saatlik değişimi dikkate alınarak yapılmıştır. Kanatçıklı iç reflektörlerin bir araya getirilmesiyle hem üretkenlik artmıştır hem de deney verimliliğinde gözle görülür bir değişim görülmüştür. Bu deneyde dahili reflektörlerin kullanılması, eğim faktörü yüksek olduğu için kış aylarında üretkenliği daha arttırdığı saptanmıştır. Deney verimliliği haziran nisan eylül ekim ocak aralık aylarında sırasıyla %13, %20, %28, %33, %37, %46 arttığını göstermektedir.

Matrawy et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada buharlaşma yüzeyini oluklu bir şekil vererek ısı kapasitesi azaltılıp gözenekli bir malzeme kullanılmıştır. Suyu batırılmış siyah giysiler kullanılarak doymuş hale getirilmiştir. Deney Suudi Arabistan iklim koşullarında yapılmıştır. Deneye 4 harici ayna eklenerek verim daha fazla olmuştur. Güneş damıtıcısının yoğunlaşma üretkenliği %86 oranında artmıştır.

Güneş enerjisinden yararlanarak yapılan damıtma sistemleri günümüzde büyük rol oynamaktadır. Özellikle temiz su ihtiyacına ulaşmanın zor olduğu bölgelerde önemli bir yere sahiptir. Artan nüfus oranıyla beraber kirli sudan temiz su elde etme ihtiyacı gün geçtikçe fazlalaşmıştır. Bu sistemler kirli sudan kirleticileri buharlaştırarak ayrıştırıp yoğunlaştırılmış temiz suyu toplamıştır.

Deniz suyuna ulaşımın olmadığı ve geleneksel damıtma yöntemlerinin uygulanamadığı bölgelerde bu buharlaştırarak ayrıştırma yöntemi önemli bir yer etmiştir. Bu konuyla alakalı birçok araştırmacı deneyler ortaya koymuş ve literatüre sunmuşlardır.

Bu deneylerin verimliliği farklı sıcaklık ve diğer dış ortam şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterse de su ihtiyacını karşılamada önemli ölçüde kolaylık sağlamıştır. (Maurya et al. 2024; Easa et al. 2024; Hammad et al. 2024; El-Said et al. 2024; Bacha et al. 2024; Davra et al. 2024; Shanmugan et al. 2024; Jiao et al. 2024; Arunkumar et al. 2024; Tei et al. 2024; Alsehli et al. 2024).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Afshari et al. (2024) tarafından yapılan çalışmada iki güneş enerji teknolojisi kullanılmıştır (Solar Still ve Solar Parabolik Çanak) bu iki çalışmada güneş enerjili damıtıcı sistemlerin basit veya gelişmiş tasarımlarla saf su üretme kabiliyeti ortaya konulmuştur. Bu çalışma belirli su arıtma uygulamalarında verimli enerji yönetimi için gerekli bilgiler sunmaktadır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

1.3. Materyal

Bu deney sistemi ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çalışma için tasarlanan güneş enerjili damıtma sistemi Şekil 3.1’de verilmiştir. Sac malzemeden imal edilmiş deney düzeneğinin perspektif görünümü ve yandan görünümü Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te verilmiştir.

Deneyde kullanılan damıtıcı sistemin taban alanı 600*600 mm alan ölçüsüne sahiptir. Damıtıcının dış materyali sacdan imal edilmiştir. Deney düzeneği 40*40 mm kutu profiller üzerine konumlandırılmıştır. Damıtıcının dış materyali 5 cm XPS izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Deneyde 60*60 cm ebatlarında 5 mm kalınlığında cam yüzey kullanıldı ve eğimi 30° olarak ayarlanmıştır. Hava sızdırmazlığını önlemek için cam ile metal arasına plastik conta eklendi ve vidalar ile sabitlenmiştir.

Damıtıcının iç yüzey ile basamakları suya ve ısıya dayanıklı siyah boya ile boyanmıştır. Damıtıcının iç basamaklarında ise 12*60 ebatlarında ve 90° li iç aynalar kullanıldı kullanılmıştır.

Damıtıcıdan yoğunlaşan buharın toplanması için 2 cm genişliğinde 60 cm uzunluğunda kanal yapılmıştır. Bu kanalın dış yüzeye bakan tarafı güneşle temasının önlenmesi için kâğıt bir bant yardımı ile kapatılmıştır.

Damıtıcı sistemin üst kısmına 50*70 ebatlarında açı değeri ayarlanabilir bir ayna eklenmiştir.

Ayna yüzeyli güneş enerjili damıtma sistemi iç mekânda 5,5 voltluk bir enerji kaynağı ile çalışmaktadır. Dış ortamda ise harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmayıp güneş enerjisinden faydalanılmıştır. İç ortamda yapılan deneylerde cam yüzeyi soğutmak için 3 adet fan (12v) kullanılmıştır. Damıtıcının ve ortam sıcaklıklarını ölçmek için 5 adet termokupl kullanılmıştır. Deney sisteminde sıcaklık ölçüm noktaları Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Sıcaklık ölçüm yerleri

Termokupl 1	Damıtıcı iç yüzey 1. basamak
Termokupl 2	Damıtıcı iç yüzey 2. basamak
Termokupl 3	Damıtıcı iç yüzey ortam havası
Termokupl 4	Dış ortam havası
Termokupl 5	Dış cam yüzey

Deney sisteminde bütün deneyler eşit miktarda tuz ve su eklenerek tekrarlanmıştır. Her bir durum için 2,5 litre su, 125 gr. tuz eklenmiştir.

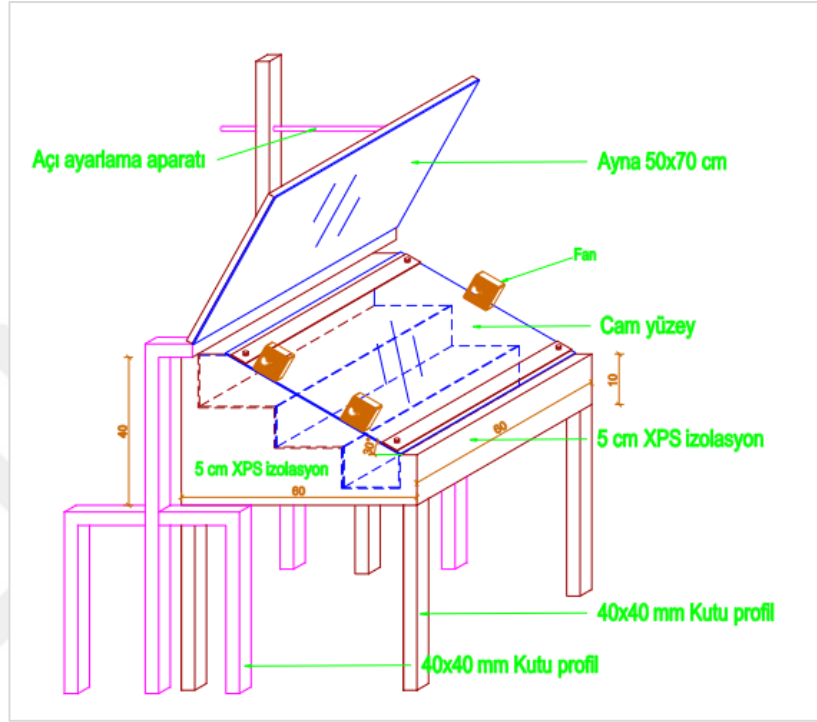
Her deneyin sonucunda bu 3 basamakta kalan sular boşaltılarak kurutuldu ve bir sonraki deney için aynı su ve tuz oranları ayarlanarak deney düzeneği hazır hale getirilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda kanalda toplanan temiz su miktarı kaydedilerek diğer deney verileri ile karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 3.1’de deney sistemi fotoğrafı verilmiştir.



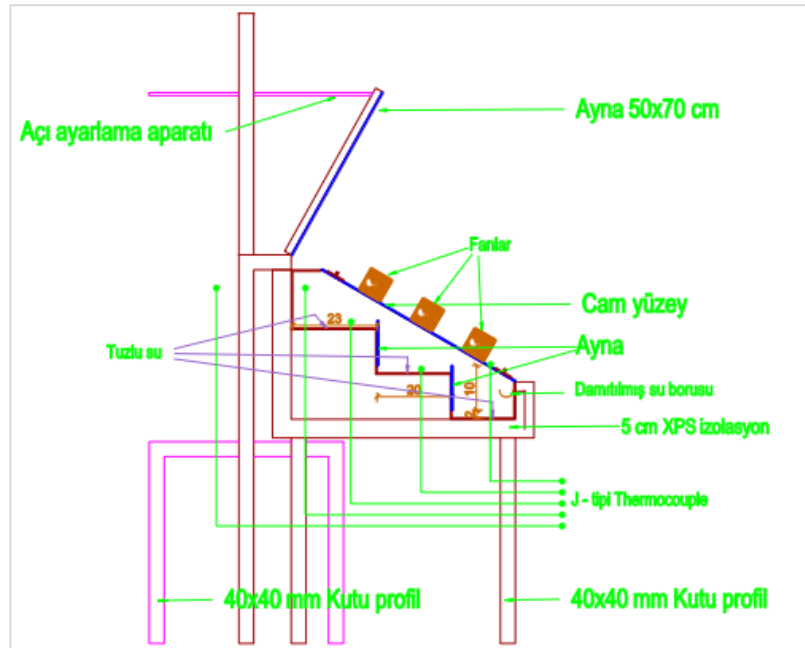
Şekil 3.1. Deney sistemi fotoğrafı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Şekil 3.2 deney sisteminin AutoCAD çizimi ve ölçüleri Şekil 3.3'te sistemin sıcaklık ölçüm noktaları verilmiştir. Mühendislik uygulamalarında önemli bir yere sahip olan bu çizim bize sistemin uygulanabilirliği, hataları ve sistemin iyileştirilmesinde önemli bir yol göstermiş olur.



Şekil 3.2. Deney sistemi AutoCAD çizimi



Şekil 3.3. Deney sistemi ve sıcaklık ölçüm noktaları

3.2.Yöntem

Durum 1 de fan ve iç dış aynalar kapatılarak deney yapılmıştır. Durum 2’de fan eklenerek deney yapılmıştır. Durum 3’te ise iç ayna açılıp yoğuşma etkisi incelenmiştir. Durum 4, 5,6 da dış aynaya açı verilerek tekrarlanmıştır. Bu ilk altı deney aynı koşulları sağlamak için laboratuvar ortamında yapılmıştır. Durum 7,8,9 ise Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi bahçesinde yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Dış ortam şartlarında deney sistemi

Bu çalışmada yapılan deneyler Erzurum merkezde yaklaşık olarak 39.9042° kuzey enlemi ve 41.2679° doğu boylamında gerçekleştirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere dış aynanın eğim açısı güneş ışığını yakalamada önemli bir parametredir. Dış aynanın üzerine daha fazla güneş ışığı gelmesi için bu parametrenin optimum değerlerde kullanılması gerekmektedir.

Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda; Erzurum için aylık, mevsimlik ve yıllık optimum eğim açı değerlerinin yaklaşık 15° ile 60° arasında değiştiği görülmektedir (Aydın 2020; Gönül 2018). Bu çalışmada dış ayna Erzurum için belirlenmiş optimum eğim açı değerleri arasındaki belirli açılarla konumlandırılarak deneyler yapılmıştır. Harici ışık kaynağı ile test kabineye sabit ve sürekli termal ısıyı gönderilmiştir. Deneylerde sıcaklık ölçülerek kaydedilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu sistemde toplam 9 adet deney yapılmış ve deney planları da Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney planları

Durum no	Deney adı	Harici fan	Dış ayna	Dış ayna açısı	İç ayna
Durum1	Fansız Aynasız	×	×	×	×
Durum 2	Fanlı Aynasız	✓	×	×	×
Durum 3	Fanlı iç Aynalı	✓	×	×	✓
Durum 4	Fanlı İç Dış Aynalı	✓	✓	30 ⁰	✓
Durum 5	Fanlı İç Dış Aynalı	✓	✓	45 ⁰	✓
Durum 6	Fanlı İç Dış Aynalı	✓	✓	60 ⁰	✓
Durum 7	Dış ortam Fansız İç Dış Aynalı	×	✓	30 ⁰	✓
Durum 8	Dış ortam Fansız İç Dış Aynalı	×	✓	45 ⁰	✓
Durum 9	Dış ortam Fansız İç Dış Aynalı	×	✓	60 ⁰	✓

3.2.1. Deney sisteminin verimliliği

Güneş enerjili bir damıtıcının su üretim performansını değerlendirmek için verimliliğine bakılır. Güneş enerjili damıtıcının enerji verimliliği denklem 3.1 de gösterilmiştir (Shoeibi 2020).

$$\eta = \frac{\sum \dot{m} \times h_{fg}}{\dot{Q}_{SR}} \quad (3.1)$$

Burada $\dot{m}$ artılmış suyu, h_{fg} de suyun entalpisini belirtir. Bu deney sisteminde tuzlu suyun buharlaşması ile h_{fg} elde edilir. h_{fg} Literatürde kullanılan ampirik ifade ortalama su sıcaklığını kullanılarak elde edilir ve denklem 3.2’de gösterilmiştir (Elgendi 2023).

$$h_{fg} = [2501.9 \times 10^3 - 2.40706 \times 10^3 T_{sw} + 1.192217 T_{sw}^2 - 1.5863 \times 10^{-2} T_{sw}^3] \quad (3.2)$$

$\dot{Q}_{SR}$ Güneş enerjisi damıtıcısı tarafından alınan termal enerjisi temsil eder ve denklem 3.3'te gösterilmiştir.

$$\dot{Q}_{SR} = A \times I \quad (3.3)$$

3.2.2. Maliyet hesaplamalar

Bu çalışma da maliyet analizi literatürdeki birçok güneş damıtıcıları için kullanılan denklemler ile elde edilir. Burada ki amaç, damıtıcının su üretim kapasitesini artırmak için yapılan değişikliklerde litre başına maliyete (CPL) etkisini belirlemesidir.

CPL, toplam yıllık maliyetin (TAC) yıllık üretkenliğe (M) oranı ile belirlenir ve denklem 3.4'te gösterilmiştir (Soulayman 2016; Cooper 1969).

$$CPL = \frac{TAC}{M} \quad (3.4)$$

Toplam yıllık maliyet TAC ilk yıllık maliyet (FAC) ile yıllık bakım maliyetinin (AMC) toplanması ve yıllık kurtarma değerinin (ASV) çıkarılması ile hesaplanır ve denklem 3.5'te gösterilmiştir.

$$TAC = FAC + AMC - ASV \quad (3.5)$$

Yukarıda gösterilen FAC, AMC VE ASV denklem 3.6,3.7,3.8 de gösterilmiştir. Burada AMC yıllık bakım maliyetinin FAC %15'i olarak ele alınır (Aydın 2020).

$$FAC = P \times CRF \quad (3.6)$$

$$AMC = 0.15 \times FAC \quad (3.7)$$

$$ASV = S \times SSF \quad (3.8)$$

Üst kısımda verilen denklemde S kurtarma değerini P ise sermaye maliyetini temsil etmektedir. S birçok çalışmada P'nin yaklaşık %20'si olarak ele alınmıştır (Aydın 2020). SSF baton fon faktörünü ifade eder, faiz oranı (i) baz alınarak denklem 3.9 da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$SSF = \frac{i}{(i+1)^{n-1}} \quad (3.9)$$

CRF, sermaye geri kazanım faktörünü ifade etmektedir. Denklem 3.10 da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Türkiye şartlarında politika faiz oranı %50 olarak baz alınır ve çalışma bu değere göre hesaplanmıştır (Anonim 2024).

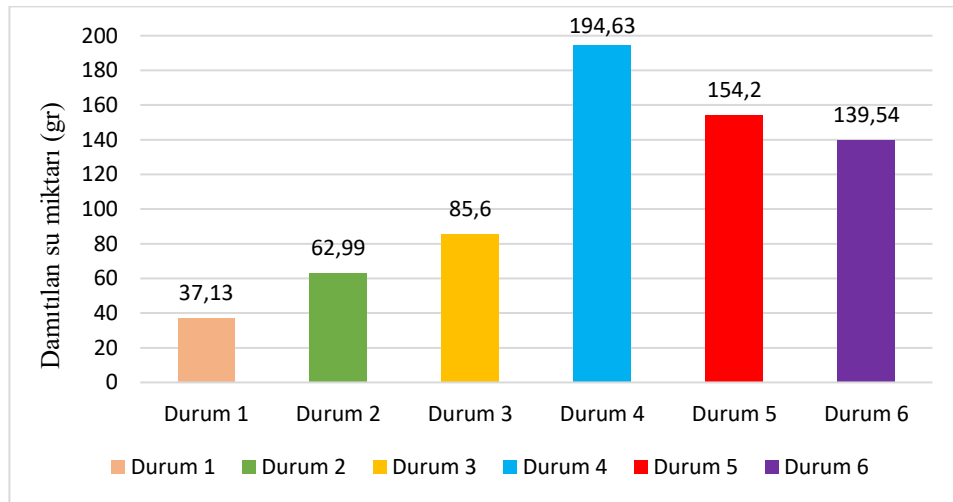
$$CRF = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^{n-1}} \quad (3.10)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmalarda temiz su miktarının verimliliğini etkileyen faktörler üzerinde durularak incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı da temiz su verimliliğini artıracak parametreler ekleyerek kapsamlı bir analiz sunmaktır. Bu parametreler basamaklara ayna, harici fan ve farklı açılara sahip dış ayna eklenerek deney yapılmıştır. Deney düzeneğinin içinde ve dış kısmında sıcaklık değişimleri termal kamera görüntüleri alınarak ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

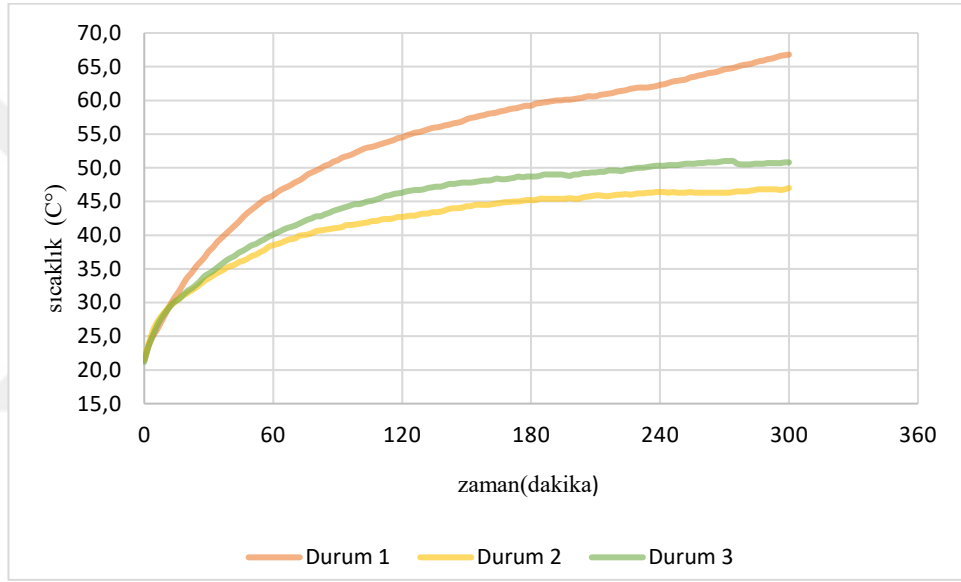
Deneyde güneş ışınlarının iç ve dış aynalar yardımı ile yoğunlaştırulup temiz su eldesinde olumlu etki ettiği açıkça belirtilmiştir. Referans durumla karşılaştırıldığında harici fan ve aynalar elde edilen sonuçlarda pozitif yönde etkisi olduğu görülmüştür. Camın 3 adet harici fanla soğutulması yoğunlaşmayı hızlandırmıştır. Fansız yapılan deneye göre verimin daha yüksek olduğu ve elde edilen temiz su miktarının 2 kat arttığı belirlenmiştir. Basamaklara yerleştirilen aynaların olumlu etkisi olduğu gözlemlense de farklı açılara sahip aynanın daha büyük etken oluşu belirlenmiştir.

En yüksek verimlilik fanlı ve dış aynanın yatayla 30° konumlandırıldığı deney düzeneğinde elde edilmiştir. Bu durumda elde edilen maksimum temiz su miktarı 194,6 gr olurken, en düşük verim ise fansız aynasız deney düzeneğinde elde edilmiştir. Temiz su miktarı sadece 37,1 gr olarak ölçülmüştür. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonunda elde edilen damıtılmış su miktarları Şekil 4.1’de verilmiştir.



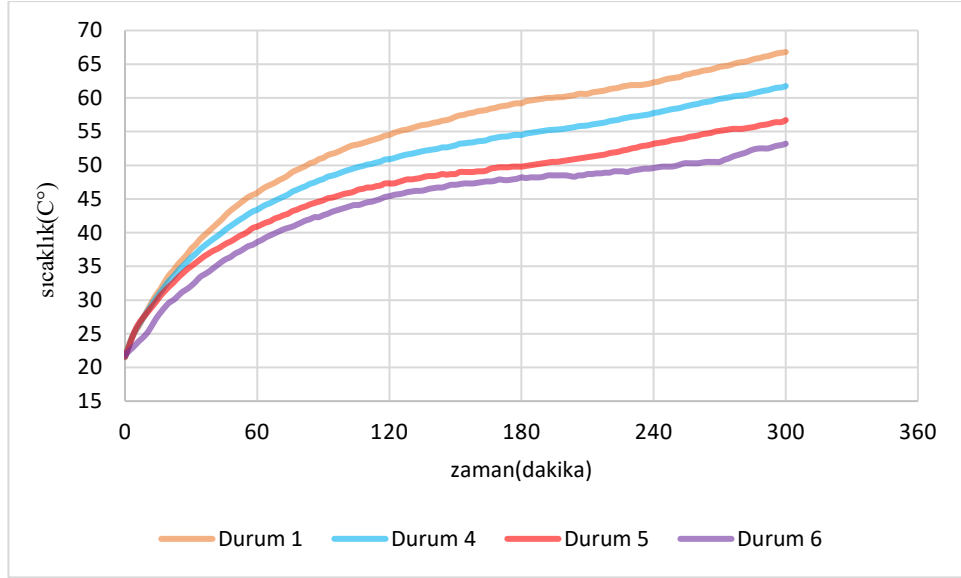
Şekil 4.1. Laboratuvarda yapılan deneyler elde edilen damıtılmış su miktarlar

Yapılan bu çalışmada yapay bir ışık kaynağı ile 300 W/m^2 radyasyon akısı kullanılmıştır. Deneylerin sıcaklık değerleri elde edilen temiz su miktarları diyagramlar halinde ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. İlk 3 deneyde düzeneğinin içindeki sıcaklık değerleri Şekil 4.2 de verilmiştir. Şekil 4.2 da cam yüzeyinin fanla soğutulması ve iç basamaklardaki aynaların iç ortam sıcaklığına etkisi gösterilmiştir. Durum 2 ve 3'te referans Durum 1'e göre ortam sıcaklığının düşük olduğu görülmektedir. Bu grafik fanın ve aynaların sıcaklık üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Durum 1 de iç ortam sıcaklığı yaklaşık 67°C 'yi bulurken Durum 2 de yaklaşık 47°C , Durum 3'te ise yaklaşık 50°C 'dir. Bu da temiz su eldesinin referans deneye göre fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2. Durum 1, 2, 3 için iç ortam havası sıcaklık değişimi

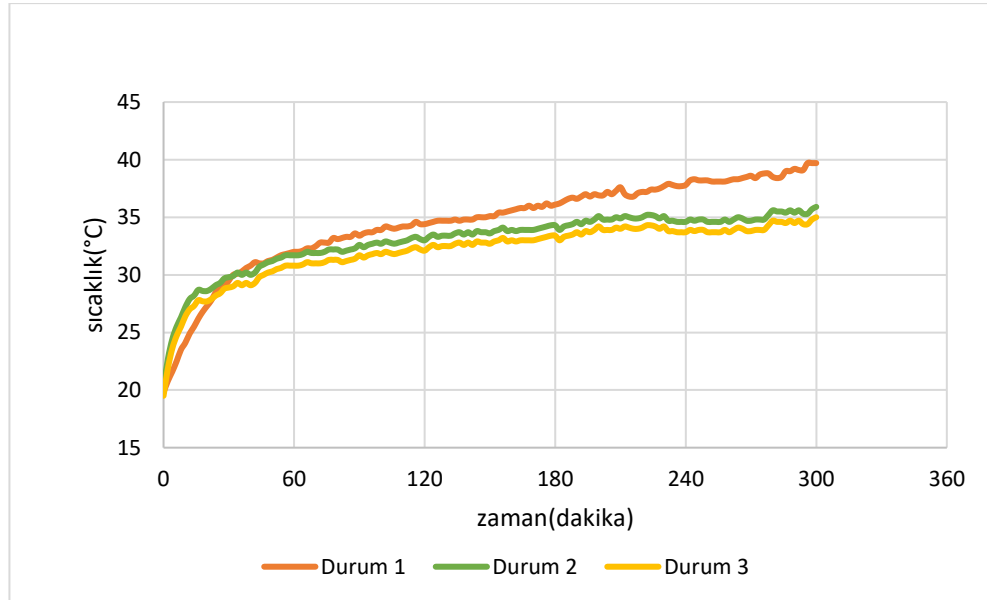
Şekil 4.3 de dış aynaların iç ortam sıcaklığına etkisini göstermektedir. Durum 4'te en yüksek sıcaklık ve verim elde edilmiştir. Durum 1 de diğer durumlara göre en yüksek sıcaklık olmasına rağmen damıtılmış su miktarı düşüktür. Durum 4'te yatayla 30° açıyla ayarlanan dış aynalar sisteme daha fazla güneş ışınımı almasını sağlamıştır ve bu deney ortam sıcaklığının artıp buharlaşmanın daha fazla olmasına yol açmıştır. Dış ayna açısı arttıkça sıcaklık seviyesinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.3. Durum 1,4,5,6 için iç ortam havası sıcaklık değişimi

Şekil 4.4 de Durum 1,2,3 için cam sıcaklığının zaman bağlı grafiği verilmiştir. Cam sıcaklığı 5 saatlik deney süresi boyunca 20 ile 40 C° arasında değerler almıştır.

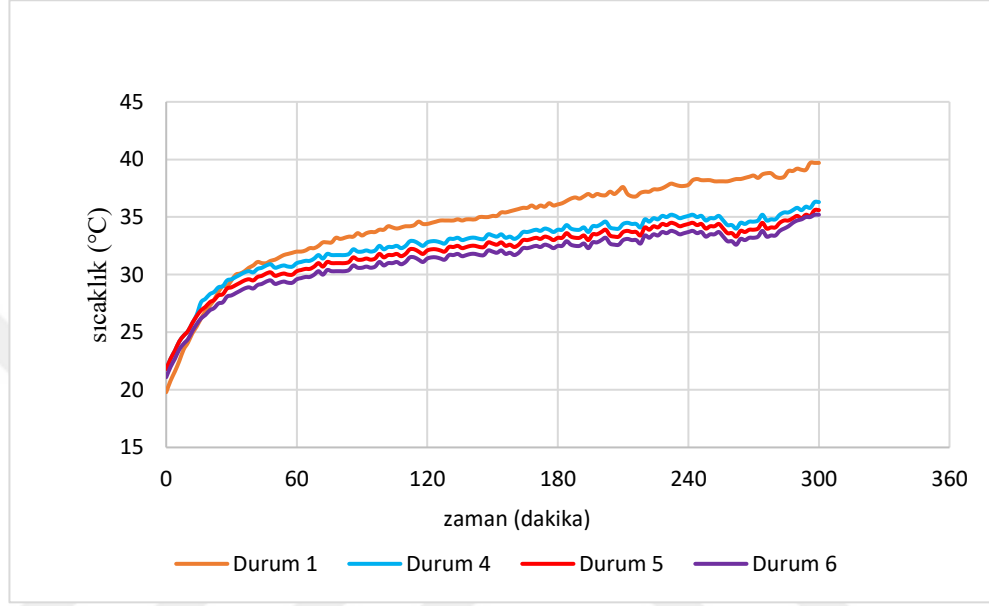
Durum 1 de fansız çalışma yapıldığından Durum 2 ve Durum 3'e göre daha yüksek sıcaklıklara çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.4. Durum 1,2,3 için dış cam sıcaklık değişimi

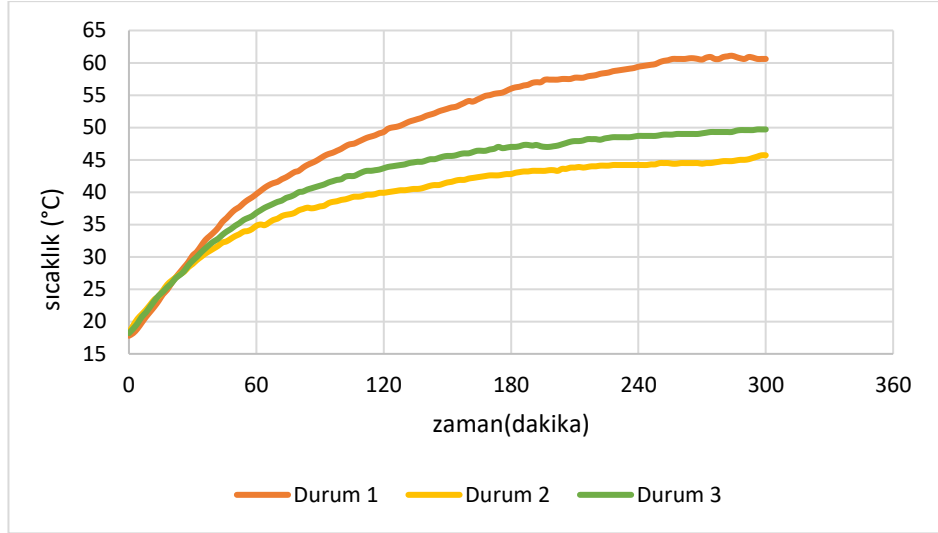
Şekil 4.5 de Durum 1,4,5,6 için dış cam sıcaklığının zaman içerisinde değişimi gösterilmektedir. Durum 1'de, Durum 4,5,6'ya göre daha yüksek sıcaklık olduğu

görülmektedir. Durum 1’de cam yüzey sıcaklığı fazla olmasına rağmen elde edilen damıtılmış su ve verimlilik azdır. Sonuç olarak yoğunlaşma olması için kullanılan dış cam yüzeyinin yüksek sıcaklıkta olması yoğunlaşma sürecini yavaşlattığından dolayı damıtılmış su miktarı daha azdır. Buda gösteriyor ki deney düzeneğinde fan ve iç kısmında kullanılan aynaların damıtılmış su miktarına etkilerinin olumlu sonuç verdiği görülmektedir.



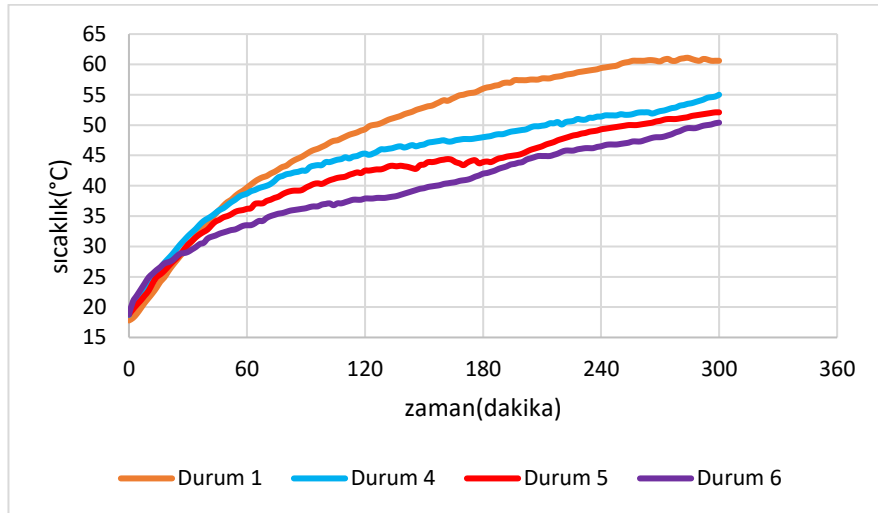
Şekil 4.5. Durum,4,5,6 için dış cam sıcaklık değişimi

Şekil 4.6’de Durum 1,2,3 için tuzlu suyun sıcaklıkları verilmiştir. Basamaklarda aynalar güneş ışınımını su yüzeyine yoğunlaştırarak Durum 3’te Durum 2’ye göre tuzlu su sıcaklığının daha fazla olduğu belirtilmiştir. Durum 1 de tuzlu su sıcaklığı fazla olmasına rağmen cam yüzeyinin sıcaklığının hızlı bir şekilde artmasından dolayı suyun yoğunlaşmasını zorlaştırır. Farklı bir deyişle cam yüzeye yerleştirilen fanlar tuzlu suyun sıcaklığını düşürüp buharlaşmayı azaltsa da yoğunlaşma oranını önemli ölçüde arttırmıştır.



Şekil 4.6. Durum 1,2,3 için tuzlu su sıcaklık değişimi

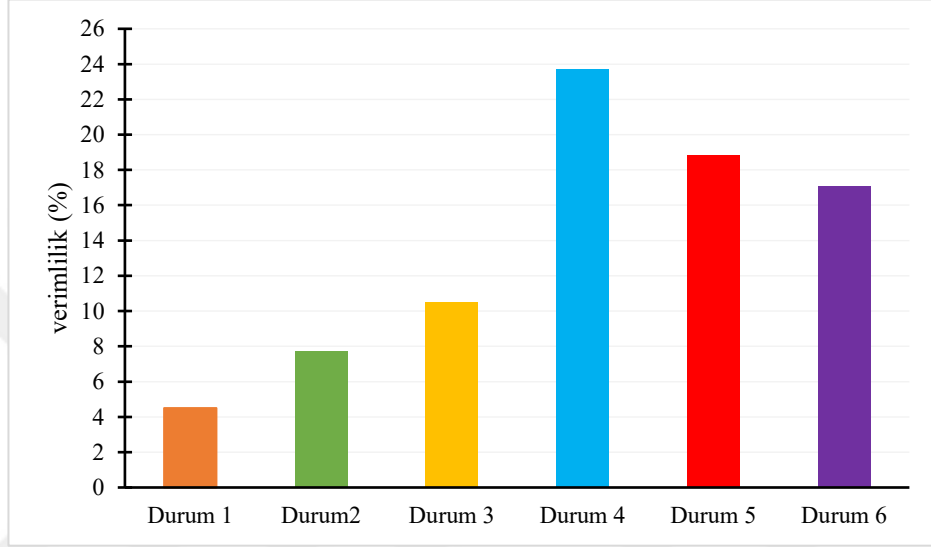
Şekil 4.7 de Durum 1,4,5,6 için tuzlu suyun sıcaklıkları verilmiştir. İç ortam sıcaklığında görüldüğü gibi Durum 4'te Durum 5 ve Durum 6'ya göre daha yüksek tuzlu su sıcaklığı elde edilmiştir. Ancak fansız ve iç dış aynasız durumla karşılaştırıldığında değerin oldukça düşük olduğu görülür. Bu sonuçlar dış aynaların yatayla 30° açıyla konumlandırarak sisteme daha fazla güneş ışınlamı girmesinin sağlamıştır. Burada anlaşılacağı gibi açı ne kadar küçük olursa suyun sıcaklığı da o derece büyük olup hızlı bir buharlaştırma gerçekleşir.



Şekil 4.7. Durum 1,4,5,6'da tuzlu su sıcaklıklarının değişimi

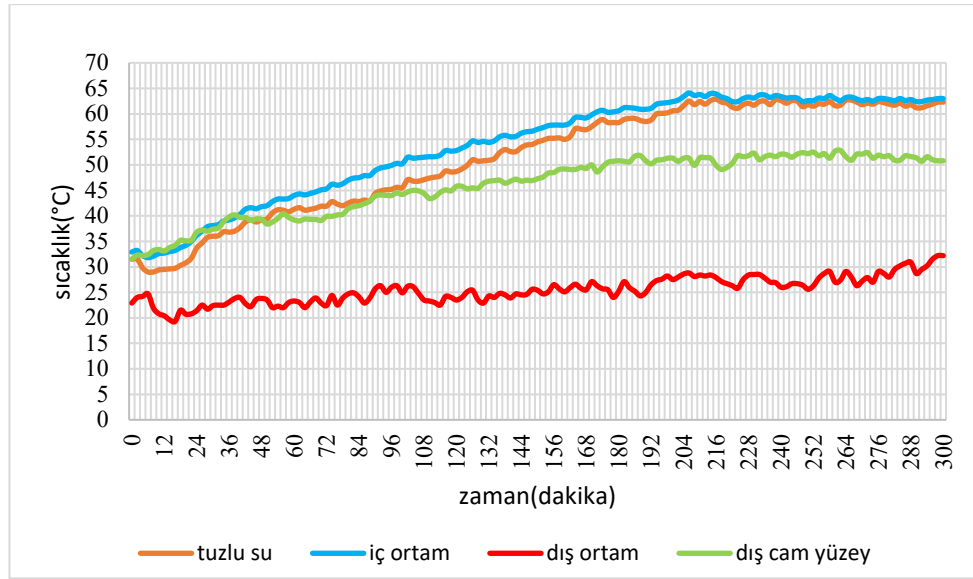
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 birlikte değerlendirildiğinde dış aynaların kullanımının iç ortam sıcaklığında ve tuzlu su sıcaklığında artış konusunda önemli ölçüde yararlı olduğu

görülmektedir. Durum 5 ve 6'da ki değerlerden Durum 2 ve 3'e göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum daha yüksek güneş ışınımına maruz kalan suyun hızlı bir şekilde ısındığı ve bundan dolayı suyun daha hızlı buharlaştığını göstermektedir. Sistem içerisinde daha fazla su buharı bulunduğundan daha fazla damıtılmış temiz su eldesini açıklamaktadır. Ayrıca sistemde dış ayna kullanımı ek enerji harcadığından ve damıtılmış su miktarını artırdığından kullanılması tavsiye edilir.

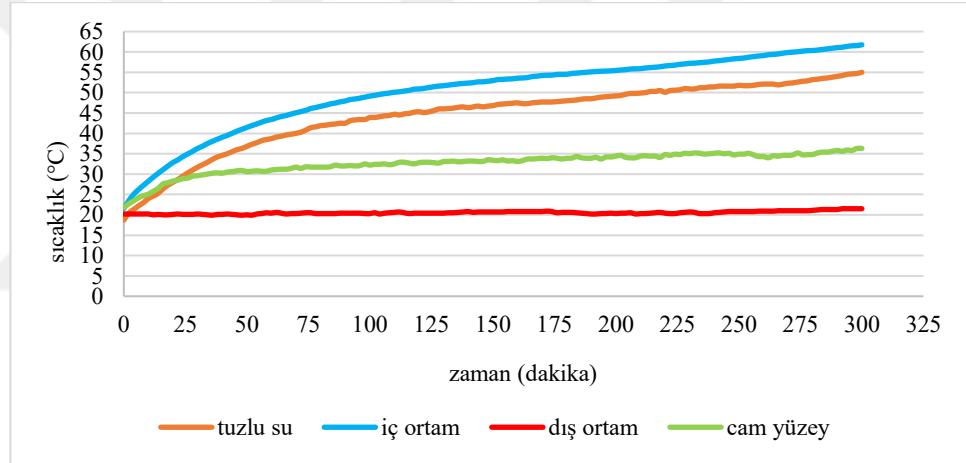


Şekil 4.8. Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde güneş enerjili damıtıcının verimliliği.

Şekil 4.8'da gösterildiği gibi laboratuvar koşullarında yapılmış damıtılmış en yüksek su miktarına ve verimliliğe sahip Durum 4 olduğu görülmüştür. Durum 4 için gerçek çevre şartlarında da deney tekrarlanmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dış hava şartlarında yapılan bu deney laboratuvar ortamında sabit radyasyon değeri altında gözlemlenen verilerin değişken hava şartlarında ve radyasyon koşullarında nasıl bir performans göstereceğini belirlemek için yapılmıştır. Dış ortamda deney düzeneği ve dış ayna güneşe bakacak şekilde konumlandırıldı. Laboratuvar koşullarında kullanılan su ve tuz miktarları dış ortam şartlarında da kullanıldı. Laboratuvar şartlarında elde edilen değerlerde dış etkenler minimum da tutulurken dış ortam şartlarında rüzgâr hızı, toz tanecikleri ve radyasyon değişkenliği sebebiyle sıcaklık eğrilerinde önemli ölçüde dalgalanmalar yaşanmıştır. Bu farklılıklar Şekil 4.9 ve 4.10 'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

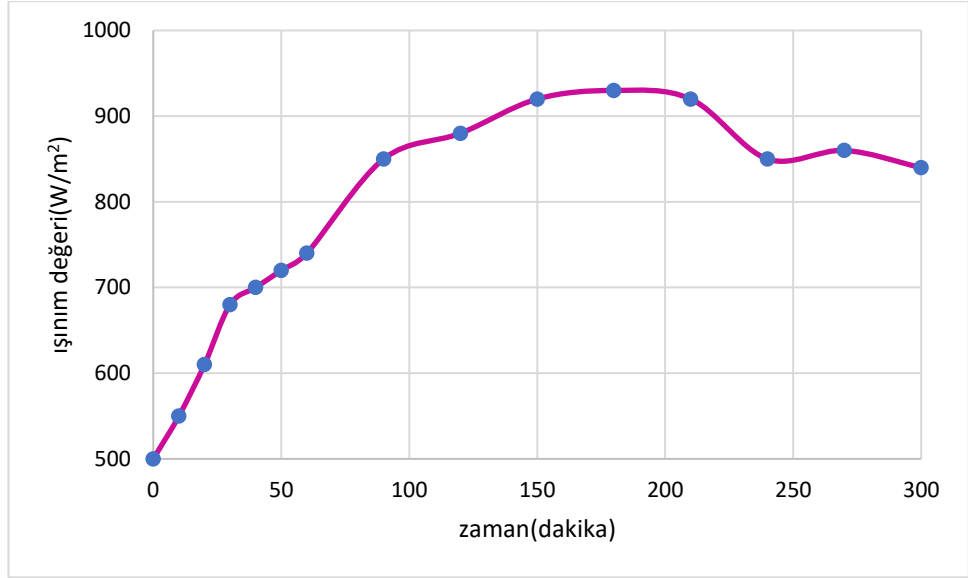


Şekil 4.9. Dış ortam şartlarında durum 4 için sıcaklık değişimi



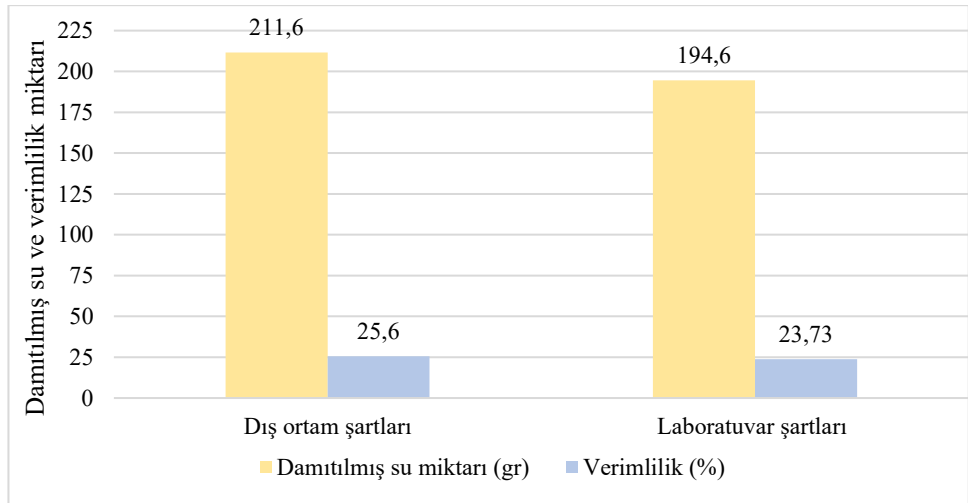
Şekil 4.10. Laboratuvarda durum 4 için sıcaklık değişimi

Dış ortam koşullarında yapılan deneylerde ölçülen güneş ışıınımı değerleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Değerler dış etkenlere bağlı olarak 500 ile 950 W/m² arasında değişmektedir. Dış ortam koşullarında deneyler sabah 8:30/13:30 saatleri arasında yapılmıştır.



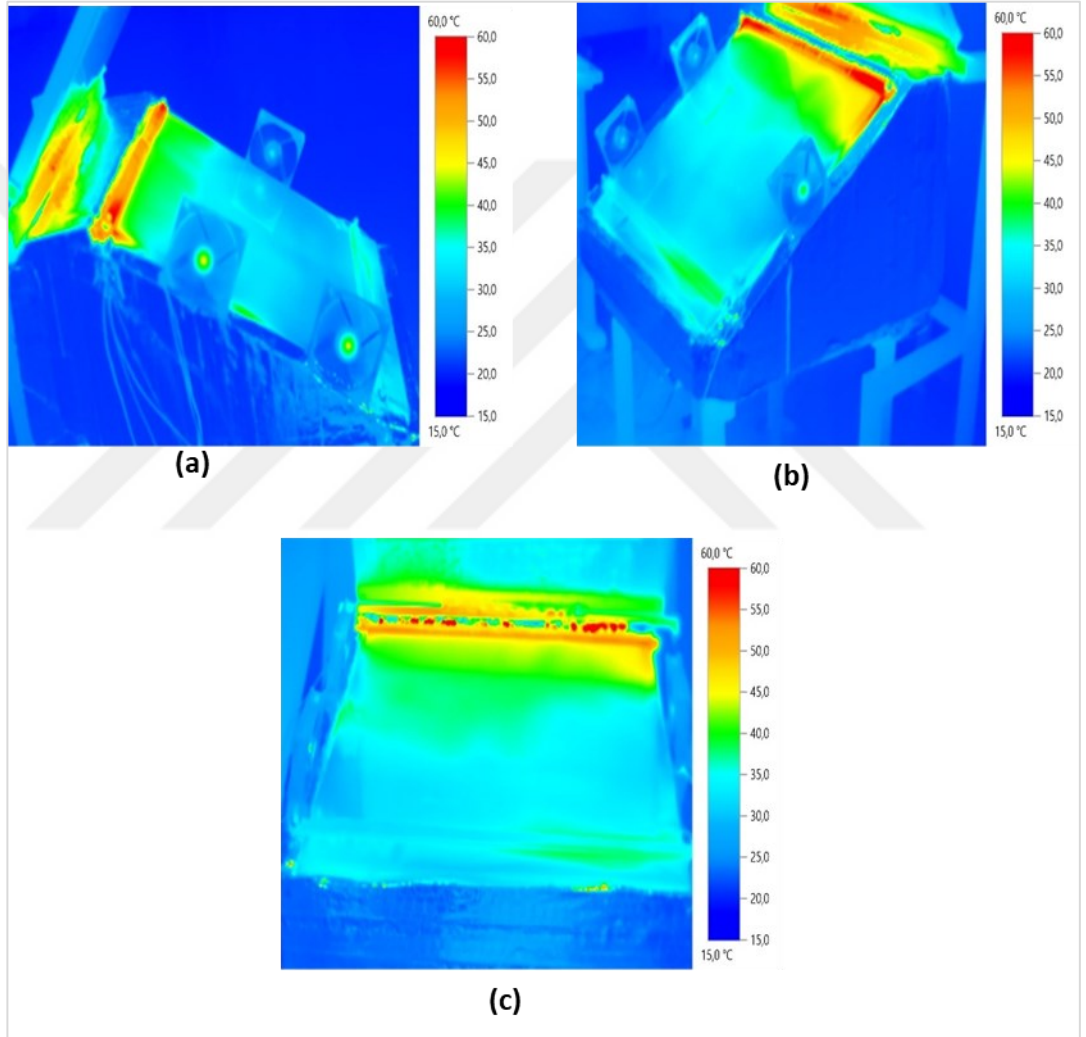
Şekil 4.11. Dış ortam şartlarda deney sürecinde ölçülen güneş ışıınımı değerleri

Şekil 4.12 da dış ortam koşullarında ve laboratuvar ortamında yapılmış Durum 4 için tatlı su miktarları ve enerji verimlilikleri gösterilmiştir. Gerçek şartlarda daha yüksek güneş ışıınımı, güneş enerjisi damıtıcısındaki tuzlu suyun buharlaşmasını hızlandırmıştır ve rüzgâr ile birlikte yoğunlaşma bir miktar hızlanmış oldu. Durum 4'te laboratuvar şartlarında elde edilen damıtılmış su miktarı 194,6 gr. iken gerçek koşullarda bu değer 211,6 olarak ölçülmüştür. Laboratuvar şartlarında verimlilik % 23,73 iken gerçek durumda verim % 25,60 olduğu görülmüştür. Sonuçta; verimde de dış ortam şartlarında artış görülmüştür. Bu sonuçlar laboratuvar da yapılan deneylerin gerçek koşullarda uygulanabilirliğini göstermiştir.



Şekil 4.12. Laboratuvar koşullarında ve gerçek ortamda durum 4 için damıtılmış su miktarı ve verimlilik.

Şekil 4.13(a-c)'de laboratuvar koşullarında yapılan deneylerin termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Deney düzeneğinde ısı yalıtımı yapılmış olup ısı kaybı en alt düzeyde tutulmuştur. Görsellerde görüldüğü gibi deney düzeneğinin duvarları 20 °C'nin altındadır. Test esnasında yoğuşmanın fazla olduğu cam yüzeyi sıcaklıkları 30 °C'nin üstünde olup, deney düzeneğinin iç kısmında sıcaklık değerleri 45 °C'nin üzerindedir. Cam yüzeyinin üzerinde fanlar yardımı ile yoğuşma fazla olduğundan sıcaklık değeri düşüktür.



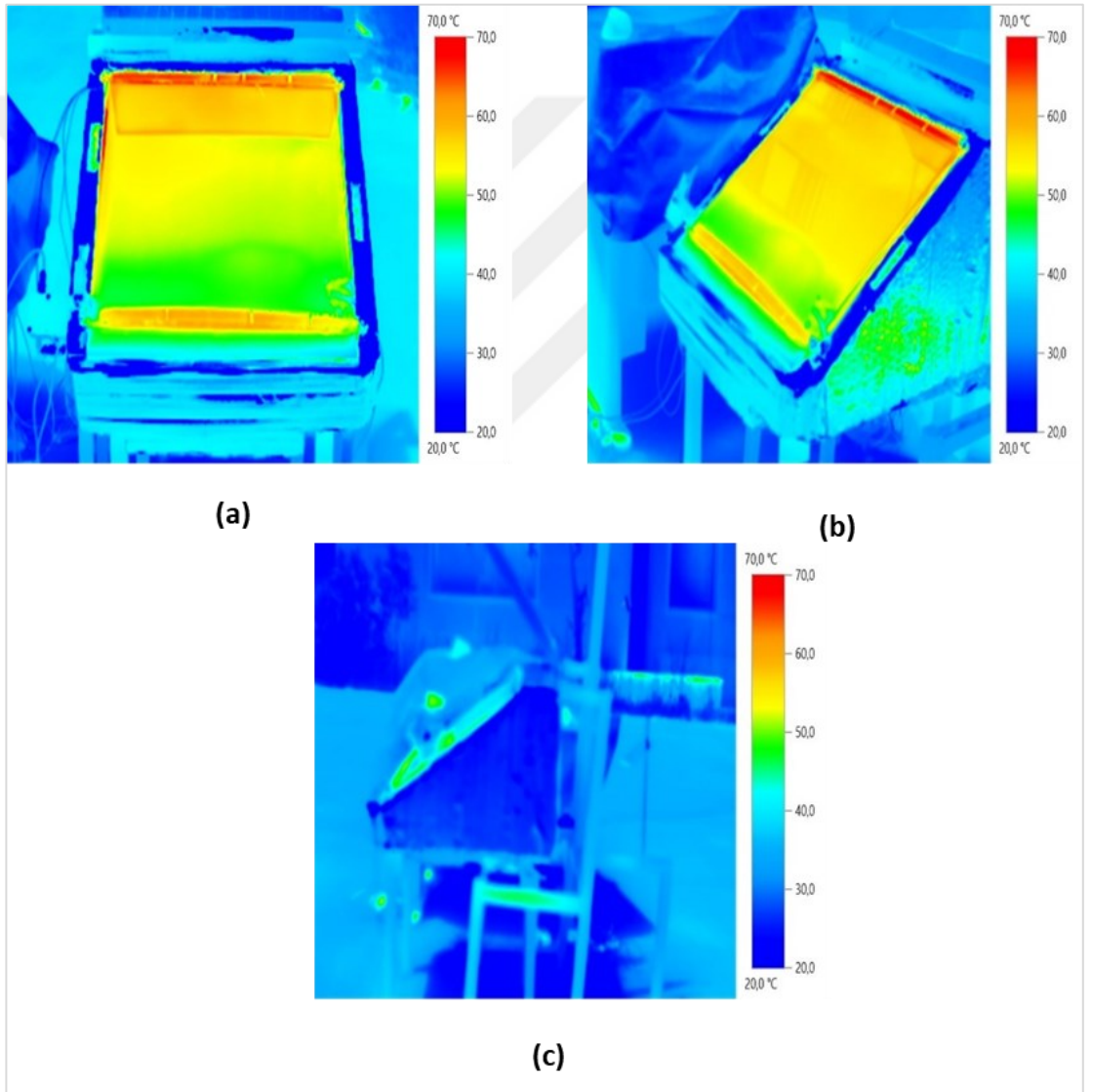
Şekil 4.13. Laboratuvar şartlarında farklı açılardan deney sisteminin termal kamera görünümü (a-c).

Şekil 4.14(a-c)'de gerçek şartlarda yapılan deneylerin termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Durum 4 için dış ortam şartları altında yapılan deneyde cam yüzey sıcaklıkları laboratuvar koşullarında yapılan deneye göre daha yüksektir. Dış ayna eğimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

30° olan deneylerde aynalardan yansıyan ışınların odak noktası görsellerde görüldüğü gibi üst raf kısmı olmuştur.

Deney esnasında en yüksek sıcaklık değerleri kabin içinde üst raf kısmında ölçülmüş olup bu değer yaklaşık 60 ° C'dir. Deney düzeneğinde yalıtımın iyi yapılmasından dolayı kabin dış kısmında ısı kaybı oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu değerlerde yoğunlaşmanın fazla olup daha fazla damıtılmış temiz su elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 4.14. Dış ortam şartlarında durum 4 için farklı açılardan deney sisteminin termal kamera görünümü (a-c).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.1’te yer alan bileşenler ve işçilik maliyetleri göz önüne alınarak sistemin kurulum maliyeti Türk Lirası cinsinden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Güneş damıtıcısının yapımında kullanılan bileşenlerin listesi ve piyasa fiyatları.

Bileşenler	Kullanım Amacı	Miktar	Birim Fiyat	Maliyet (TL)
ST52 Sac	Güneş enerjili Damıtıcı inşaatı	1.2 m ²	468,5 TL/m ²	562,2
Metal İşleme	Güneş enerjili Damıtıcı inşaatı	1.2 m ²	235 TL/m ²	282,0
XPS (5 cm)	Isı yalıtımı	1.2 m ²	340 TL/m ²	408,0
Sprey boya	Yüzeylerin ve Malzemelerin Boyanması	1 adet (500 ml)	160 TL/adet	160,0
Aynalar	Güneş ışınımının Yoğunlaştırılması	0.566 m ²	550 TL/m ²	311,3
Cam (5 mm)	İletken Yüzey	0.4 m ²	585 TL/m ²	234,0
DC Fan	Cam yüzeyin Soğutulması	3 adet	118,5 TL/adet	355,5
Silikonlu mastik	XPX’leri Yapıştırmak	1 adet (500 gr)	60 TL/adet	60,0
Diğerleri	Bağlantı kabloları, Armatürler vb.	-	-	100,0
			Toplam Maliyet	₺2.473,00

Maliyet hesapları Çizelge 4.2’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Maliyet hesapları

Deneyler	Damıtıcının sermaye maliyeti (₺)	Toplam yıllık maliyet (₺)	Ortalama yıllık verimlilik	Litre başına maliyet (₺/L)
Durum 1	54,98	32,0744	56,5	0,5677
Durum 2	65,81	38,3924	95,94	0,4002
Durum 3	69,42	40,4984	130,35	0,3107
Durum 4	75,28	43,9170	296,33	0,1482
Durum 5	75,28	43,9170	234,81	0,1870
Durum 6	75,28	43,9170	212,43	0,2067

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Damıtıcının ömrü literatürde yaygın olarak kullanıldığı gibi 10 yıl olarak alınmıştır. Türkiye şartlarında faiz oranı %50'ye göre belirlendi. Damıtıcının sermaye maliyeti Durum 1,2,3'te düşük olmasına rağmen yoğunlaşmanın az olması ve damıtılmış suyun diğer durumlara göre az olmasından kaynaklı litre başına düşen maliyetin fazla olduğu görülmektedir. Durum 1,2,3'te yıllık ortalama verimde diğer durumlara göre oldukça düşüktür. Durum 4 ile Durum 1 karşılaştırıldığı zaman ortalama yıllık verim yaklaşık 5 kat daha fazladır. Buda güneşten gelen ışınların yoğunlaştırılmasını sağlamak için eklenmiş olan dış aynanın faydasını göstermektedir.

Sonuç olarak günümüz dünyasında enerji ve enerji verimliliği önemli bir yere sahiptir. Bu kapsamlı çalışmada yoğunlaşma yüzeyini soğutmak için fanların, basamaklara eklenen iç aynaların ve açılı dış ayna kullanımının güneş enerjili damıtma sisteminde ne gibi iyileştirmelere neden olduğu ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Sistemin amacı daha hızlı bir şekilde tuzlu suyu buhar fazına geçirip yoğunlaştırmayı amaçlamaktır. Bunun içinde açılı dış ayna eklenerek bu amaç gerçekleştirilmiştir. Yoğuşturulacak yüzey sürekli dış aynalarında etkisi ile ısınıp yoğunlaştırmayı geciktirmiştir. Bu sorunu da ortadan kaldırmak için deney düzeneğine harici 3 adet fan eklenip cam yüzey soğutulmuştur.

Dış ayna açısının verimliliğini hesaplamak için dış ayna açıları yatayla 30^0 , 45^0 , 60^0 konumlandırılarak deneyler tekrarlandı. En iyi sonuç dış aynanın yatayla 30^0 'lik konumda iken elde edilmiştir. En yüksek verimlilik %23,73 ölçülürken en yüksek damıtılmış su miktarı da 194,6 gr olarak ölçülmüştür. Deneyin uygulanabilirliğini ölçmek için gerçek şartlarda da dış ayna eğim açısı yatayla 30^0 , 45^0 , 60^0 olarak ayarlanıp deneyler tekrarlanmıştır. Bu yapılan deneylerde en yüksek verimlilik %25,60, damıtılmış su miktarı da 211,6 gr olduğu görülmüştür. Resmi kurum aboneleri için ESKİ'nin belirlemiş olduğu litre başına fiyat 4,2 ₺'dir. Durum 4 için litre başına belirlenen fiyat 0,323 ₺ olarak hesaplanmıştır (Anonim 2024). Son olarak deney düzeneğine dış ayna eklemek ilk başta yatırım maliyeti fazla olsa da litre başına maliyette önemli bir düşüş ve elde edilen damıtılmış su miktarında önemli ölçüde fazlalığın olduğu belirtilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma yıllık güneşlenme süresinin fazla olduğu yerlerde kullanılabilirliği belirlenmiştir. Gelişen teknoloji şartlarında farklı malzeme kullanılarak yeniden revize edilip iyileştirmeler yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Abdelgaied, M., Abdulla, A. S., Abdelaziz, G. B. and Kabel, Abd. E. 2022. Performance improvement of modified stepped solar distillers using three effective hybrid optimization modifications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101936.
- Afşari, F. 2024. Experimental comparative analysis of solar system productivity and performance in water distillation: Solar stills vs. Parabolic Dish Systems. *Desalination*, 577, 117402.
- Akova, İ. 2008. Yenilenebilir enerji kaynakları, (1. Basım), Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Ali, M. T., Fath, H. E. S. and Armstrong, P. R. 2011. A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4187-4199.
- Alsehli, M. 2024. Maximizing solar distillation efficiency and cost-effectiveness with the rotating ball spherical solar still: An energetic, exergetic, and economic analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 182, 234-244.
- Anonim, 2007. Web Sitesi: <http://ga.water.usgs.gov.tr>, Erişim Tarihi: 23.06.2024.
- Anonim, 2010. Web Sitesi: <http://www.upload.wikimedia.org>, Erişim Tarihi: 23.06.2024.
- Anonim, 2015. Web Sitesi: <http://www.msxlabs.org>, Erişim Tarihi: 26.06.2024.
- Anonim, 2015. Web Sitesi: <http://www.eie.gov.tr>, Erişim Tarihi: 25.06.2024.
- Anonim, 2021. Web Sitesi: <https://www.tua.gov.tr>, Erişim Tarihi: 25.06.2024
- Anonim, 2022. Web Sitesi: <https://enerji.gov.tr>, Erişim Tarihi: 23.06.2024.
- Anonim, 2024. Web Sitesi: <https://www.eski.gov.tr>, Erişim Tarihi: 01.08.2024
- Anonim, 2024. Web Sitesi: <https://www.tcmb.gov.tr>, Erişim Tarihi: 27.06.2024
- Anonim, 2024. Web Sitesi: <https://www.tcmb.gov.tr>, Erişim Tarihi: 27.06.2024
- Anonim, 2024. Web Sitesi: <https://www.isu.gov.tr>, Erişim Tarihi: 27.08.2024
- Anonymous, 2006. Web Sitesi: <http://www.fwr.org>, Erişim Tarihi: 27.06.2024.
- Artüz, İ. 1990. Oseanografi ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi.
- Arunkumar, T., Suh, Y., Lim, H. W., Christopher, S. and Lee, S. J. 2024. Sustainable solar desalination through interfacial evaporation: Integration of chitosan aerogel-impregnated graphene nanoplatelets solar evaporator and phase change material. *Desalination*, 572, 117102.

- Aydın, M. 2020. Türkiye koşullarında güneş panelleri için optimum sabit ve ayarlanabilir eğim açılarının belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa.
- Bacha, H. B., Abdullah, A. S., Omara, Z. M., Essa, F. A. 2024. Enhancing freshwater production in solar distillation: Hemispherical absorber modification and reflectors integration. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 61, 103576.
- Bait, O., Si-Ameur, M. 2018. Enhanced heat and mass transfer in solar stills using nanofluids: A review. *Solar Energy*, 170, 694–722.
- Bataineh, K. M., Abbas, M. A. 2020. Performance analysis of solar still integrated with internal reflectors and fins, *Solar Energy*, 205, 22–36.
- Camelia, S., Dorin, S. 2014. Optimum tilt angle for flat plate collectors all over the world—a declination dependence formula and comparisons of three solar radiation models. *Energy Conversion and Management*, 81, 133- 143.
- Can, M., Etemoğlu, A., Avcı, A. 2002. Deniz suyundan tatlı su elde edilmesinin teknik ve ekonomik analizi, *Uludag Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7, 1, 147-160.
- Cingiz, Z. 2007. Güneş enerjisiyle deniz suyu damıtma uygulaması, *Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Zonguldak*.
- Cooper, P. I. 1969. The absorption of solar radiation in solar still, *Solar Energy*, 12(3), 333–46.
- Çağlar, A. 2018. Farklı derece-gün bölgelerindeki şehirler için optimum eğim açısının belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 849-854.
- Çeliker, S. A., Anaç H. 2004. Türkiye'nin su potansiyeli, *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Bakış*, 5, 6, 1-4.
- Davra, D., Mehta, P., Patel, N., Markam, B. 2024. Solar-enhanced freshwater generation in arid coastal environments: A double basin stepped solar still with vertical wick assistance study in northern Gujarat. *Solar Energy*, 268, 112297.
- Easa, A. S., Khalaf-Allah, R. A., Mohamed, S. M., Habba, M. I. and Tolan, M. T. 2024. Optimization of humidification-dehumidification solar desalination unit: comparative analysis. *Applied Thermal Engineering*, 236, 121610.
- Elgendi, M., Kabeel, A. E., Essa, F. A. 2023. Güneş enerjili damıtıcı verimliliğinin artırılması Termoelektrik malzemeler: Bir inceleme. *İskenderiye Mühendislik Dergisi*, 65, 963-982.
- El-Said, E. M., Hegazi, A. A., El-Agouz, S. A. and Awad, A. M. 2024. Experimental investigation of a desalination system using porous carbon tube as a humidification media with swirl flow. *Desalination*, 574, 117231.

- Essa, F. A., Abdullah, A. S., Omara, Z. M., Kabel, A. E. and Gamiel, Y. 2021. Experimental study on the performance of trays solar still with cracks and reflectors. *Applied Thermal Engineering* 188, 116652.
- Essa, F. A., Alawee, W. H., Muhammed, S. A., Abdullah, A. S. and Omara, Z. M. 2021. Enhancement of pyramid solar distiller performance using reflectors, cooling cycle, and dangled cords of wicks. *Desalination*, 506, 115019.
- Gaur, M. K., Tiwari, G. N., Singh, P. and Kushwah, A. 2021. Heat transfer analysis of hybrid active solar still with water flowing over glass cover. *Journal of Thermal Engineering*, 6, 7, 1329-1343.
- Gönül, Ö. 2018. Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için optimal fotovoltaik panel eğim açılarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Hammad, F. A., Zayed, M. E., El-Bialy, E., Irshad, K., Lu, Z., Shalaby, S. M. 2024. Performance assessment of a novel solar distiller with a fountain-shaped basin design embedded with phase change materials enriched with copper oxide nano-additives: A detailed experimental investigation. *Journal of Energy Storage*, 82, 110555.
- İnan, D. 2001. Güneşimizi tanıyalım. Temiz Enerji Vakfı, 1, 9, 10, 12, Ankara.
- Janisch, E. 1994. Solare meerwasserentsalzung, postgraduiertenarbeit, montanuniversität leoben, institut für verfahrenstechnik des, Deutschland.
- Jiao, L., Luo, X., Zha, L., Bao, H., Zhang, J., Gu, X. 2024. Machine learning assisted water management strategy on a self-sustaining seawater desalination and vegetable cultivation platform. *Computers and Electronics in Agriculture*, 217, 108569.
- Kabeel, A. E., Hamed, A.M. and El-Agouz, S.A. 2010. Cost analysis of different solar still configurations, *Enerji*, 35, 7, 2901-2908.
- Kumar, B. P., Winston, D. P., Pounraj, P., Manokar, A. M., Sathyamurthy, R. and Kabeel A. E. 2018. Experimental investigation on hybrid PV/T active solar still with effective heating and cover cooling method *Desalination*, 435, 140–151.
- Mandev, E., Muratçobanoğlu, B., Çelik, A., Ceviz, M. A., Dinicola, G. and Afshari, F. 2024. Improving solar still efficiency through integration of cellulose-based water absorbers and Peltier condensation unit. *Thermal Science and Engineering Progress*, 49, 102475.
- Matrawy, K. K., Alosaimy, A. S. and Mahrous, A. F. 2015. Modeling and experimental study of a corrugated wick type solar still comparative study with a simple basin type, *Energy Convers*, 1261-1268.
- Maurya, A., Shanmugan, S., Kabeel, A. E., Akanovna, Z. A., Sarsenbayev, Y. and Panchal, H. 2024. Use of absorber plate built of ZnO/PVC/Bioactivation modified epoxy nanocomposites to improvement of double-effect Solar Distiller

- productivity analyzing the Energy, Exergo-environment and Enviro-economical. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139601.
- Özcan, Y. and Deniz, E. 2023. Solar thermal waste heat energy recovery in solar distillation systems by using thermoelectric generators. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 40, 101362.
- Parsa, S. M., Rahbar, A., Koleini, M. H., Javadi, Y. D., Afrand, M., Rostami, S. and Amidpour, M. 2020. First approach on nanofluid-based solar still in high altitude for water desalination and solar water disinfection (SODIS). *Desalination*, 491, 114592.
- Phadatare, M. K. and Verma, S. K. 2006. Development in solar still: A review, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 1-24.
- Sadeghi, G., Nazari, S. 2021. Retrofitting a thermoelectric-based solar still integrated with an evacuated tube collector utilizing an antibacterial-magnetic hybrid nanofluid. *Desalination*, 500, 114871.
- Sambare, R. K., Dewangan, S. K., Gupta, P. K., Joshi, S., 2022. Energy, exergy and economic analyses of Tubular solar still with various transparent cover materials. *Process Safety and Environmental Protection*, 168, 1101-1108.
- Sarayanan, A. and Murugan, M. 2020. Performance evaluation of square pyramid solar still with various vertical wick materials – An experimental approach. *Thermal Science and Engineering Progress* 19, 100581.
- Sengottain, S., Hamoodi, K. A., Tamma, E., Selvaraju, P., Bendoukha, S., Barhoumi, N., Mansour, M., Refaey, H. A., Rao, M. C., Mourad, A. H., Fuji M. and Elsheikh, A. 2024. A technical appraisal of solar photovoltaic-integrated single slope single basin solar still for simultaneous energy and water generation, *Case Studies in Thermal Engineering*, 54, 104032.
- Sharon, H. 2021. Energy, exergy, environmental benefits and economic aspects of novelhybrid solar still for sustainable water distillation. *Process Safety and Environmental Protection*, 150, 1–21
- Shmroukh, A. N., Ookawara, S. 2020. Evaluation of transparent acrylic stepped solar still equipped with internal and external reflectors and copper fins. *Thermal Science and Engineering Progress*, 18, 100518.
- Shoeibi, S., Rahbar, N., Esfahlani, A. A. and Kargarsharifabad, H. 2020. Application of simultaneous thermoelectric cooling and heating to improve the performance of a solar still: An experimental study and exergy analysis, *Applied Energy*, 263, 114581.
- Soulayman, S. and Hammoud, M. 2016. Optimum tilt angle of solar collectors for building applications in mid-latitude zone. *Energy Conversion and Management*, 124, 20-28.
- Tanaka, H., Nosoko, T. and Nagata, T. 2000. A highly productive basin-type-multiple-effect coupled solar still. *Desalination*, 130, 3, 279-293.

- Tei, E. A., Hameed, R. M. S., Illyas, M. and Athikesavan, M. M. 2024. Experimental investigation of inclined solar still with and without sand as energy storage materials. *Journal of Energy Storage*, 77, 109809.
- Thakur, V. K., Gaur, M. K., Sagar, M. K. and Tiwari, G. N. 2021. A study on heat and mass transfer analysis of solar distillation system, *Journal of Thermal Engineering*, 5, 7, 1184-1205.
- Tiwari, A. Kr., Somwanshi, A. 2018. Techno-economic analysis of mini solar distillation plants integrated with reservoir of garden fountain for hot and dry climate of Jodhpur (India). *Solar Energy*, 160, 15, 216-224.
- Tiwari, G. N., Shukla, S. K. and Singh, L. P. 2003. Computer modeling of passive /active solar stills by using inner glass temperature, *Desalination*, 154, 171-185.
- Vishwanathappa, M. D. 2005. Desalination of seawater using a high-efficiency jet ejector, Master of Science, Chemical Engineering, Texas A&M University, 2005.
- Yılmaz, Ö. F. 2013. Osmanlının hicazda deniz suyu arıtma tesisleri projesi, Çamlıca Basım Yayın, 1.
- Yılmaz, S. 2003. GATS: Su ticareti yapılabilen değerli bir metadır, *İstanbul İKK Ölçü Dergisi*, 1.
- Yiğit, A. ve Atmaca, İ. 2010. Güneş Enerjisi. *Alfa-Aktüel yayınları*, 32-71.