

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Dünyadaki temiz su kaynakları, nüfus artışının meydana getirdiği tüketim artışı ve bunun sonucunda oluşan atıklar nedeniyle giderek azalmaktadır. Suyun yaşam döngüsünde vazgeçilmez bir yeri olması nedeniyle geleneksel bir biçimde su kaynakları yakınına kurulan yerleşim yerlerinde meydana gelen evsel ve ticari atıklar, bu kaynakları kirletmekte ve suyun doğadaki hidrolik döngüsünü güçleştirmektedir. Doğanın kendini yenileme sürecine alternatif yöntemler geliştirilerek, ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli kaynaklar elde edilebilmektedir. İçilebilir bir suyun sağlanması amacıyla arıtma teknolojileri üzerine çalışmalar yapılmakta ve uygulamaya konulmaktadır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, distilasyon üzerinde çalışılarak tatlı su eldesi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada, distilasyon sürecinde buharlaşmayı sağlayan ısı, temiz ve yenilenebilir bir kaynak olması nedeniyle güneş enerjisi ile sağlanarak fosil kökenli kaynaklara bağıllık ortadan kaldırılmıştır.

"Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Tarafından Desteklenmiştir. Proje numarası: FYL-2019-8128"

Lisansüstü eğitimim sürecinde bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ'a ve deney düzeneğinin imalatında desteğini esirgemeyen Sayın Çağlayan ÇAKIR'a teşekkür ederim.

Bu süreçte her zaman manevi desteğini esirgemeyen aileme, varlığıyla beni motive eden sevgili eşim Sema ve oğullarım Bayram ve Muhammed Taha'ya sevgi ve muhabbetlerimi sunarım.

Veysel DEMİRCİ

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi İle Atık Suların Damıtılarak Arıtılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/11/2020

Veysel DEMİRCİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Suyun Oluşum Mekanizması.....	2
1.3. Su Arıtma Yöntemleri	3
1.3.1. Membran Prosesler.....	4
1.3.1.1. Ters Ozmoz (TO)	4
1.3.1.2. Elektrodializ (ED)	5
1.3.1.3. Membran Distilasyonu	6
1.3.2. Damıtma Prosesleri	7
1.3.2.1. Çok Kademeli Damıtma.....	8
1.3.2.2. Çok İşlemlili Damıtma	9
1.3.2.3. Buhar Sıkıştırılmalı Damıtma.....	10
1.3.2.4. Güneş Enerjili Damıtma.....	11
1.3.3. Kimyasal Prosesler	12
1.4. Güneş Enerjisi	13
1.4.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	15
1.4.2. Trabzon'un Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	16
1.5. Buharlaşma ve Yoğuşma.....	17
1.6. Güneş Enerjili Damıtıcılar.....	18
1.6.1. Pasif Güneş Enerjili Damıtıcılar.....	20
1.6.1.1. Tek Eğimli Damıtıcılar.....	21
1.6.1.2. Çift Eğimli Damıtıcılar.....	23
1.6.1.3. Eğik Damıtıcılar	24

1.6.1.4.	Yeni Tasarımlar.....	26
1.6.2.	Aktif Güneş Enerjili Damıtıcılar	26
1.7.	Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü.....	31
1.7.1.	Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörünün Boyutlandırılması.....	32
1.7.2.	Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Optik Kayıp.....	36
1.7.3.	Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Isıl Kayıp.....	37
1.8.	Literatürde Damıtıcı Sistemler Üzerine Yapılan Çalışmalar	38
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	43
2.1.	Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü Tasarımı	44
2.1.1.	Yansıtıcı Yüzey Malzemesi Seçimi	45
2.1.2.	Yansıtıcı Yüzey Tasarımı.....	46
2.1.3.	Alıcı Boru Tasarımı.....	48
2.2.	Sistemi Oluşturan Diğer Bileşenler, Tasarımı ve İmalatı.....	52
2.3.	Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü ile Bütünleşik Damıtma Sistemi Montajı.	55
2.4.	Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	57
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	60
3.1.	19.08.2020 Tarihli Deney.....	61
3.2.	20.08.2020 Tarihli Deney.....	63
3.3.	24.08.2020 Tarihli Deney.....	66
3.4.	26.08.2020 Tarihli Deney.....	69
3.5.	03.09.2020 Tarihli Deney.....	72
3.6.	04.09.2020 Tarihli Deney.....	75
3.7.	Damıtılan Su Miktarları.....	78
3.8.	Yapılan Çalışmalarda Belirsizlik Analizi.....	79
4.	SONUÇLAR	83
5.	ÖNERİLER	84
6.	KAYNAKLAR.....	85
7.	EKLER	89

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ATIK SULARIN DAMITILARAK ARITILMASI

Veysel DEMİRCİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ
2020, 88 Sayfa, 2 Sayfa Ek

Damıtma, çözeltilerdeki farklı maddelerin farklı kaynama noktalarına sahip olması bakımından iyi bir ayrıştırma tekniğidir. Damıtmada buharlaşma için gereken enerjinin güneş enerjisinin yoğunlaştırılarak kullanılması ile elde edilmesi enerji gereksinim maliyetlerini azaltacaktır. Bu kapsamda parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtma sistemi doğal taşınımli olarak oluşturularak, az kirli bir atık su olan deniz suyunun Trabzon koşullarında damıtılarak arıtılması deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde parabolik oluk tipi güneş kolektörü odağında 321 °C' ye erişildiği, kolektör çıkışında ise akışkanın ortalama 200 °C gibi sıcaklıklara eriştiği gözlemlenmiştir. Sisteme entegre bir buhar seperatörü ile güneş ışınımının yeterli olmadığı zamanlarda kolektörden gelebilecek sıvı-buhar karışımından buhar ayrıştırılarak sistemin sürekliliği sağlanmıştır. Bu sayede eşanjöre buhar fazında akışkan girişi garanti altına alınmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda sistem verimliliğinin farklı gün ve zaman dilimleri için %16,34 ile %21,72 arasında değiştiği, saatlik damıtılan su miktarlarının birbirine yakın değerler izlediği gözlemlenmiştir. En yüksek damıtma miktarı 900 ml/s olarak kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Damıtma, Güneş enerjisi, Parabolik oluk tipi güneş kolektörü, Yoğunlaştırma

Master Thesis

SUMMARY

DİSTİLLATION OF WASTE WATER BY CONCENTRATED SOLAR ENERGY

Veysel DEMİRCİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ
2020, 88 Pages, 2 Pages Appendix

Distillation is a good separation technique in that different substances in the solution have different boiling points. Obtaining the energy required for evaporation in distillation by using concentrated solar energy will reduce energy requirement costs. In this context, the distillation system, which is integrated with the parabolic trough type solar collector, was created as natural convection, and the distillation of sea water, which is a slightly polluted waste water, under Trabzon conditions was experimentally investigated.

As a result, it was observed that 321 ° C was reached in the focus of the parabolic trough type solar collector, and the fluid reached an average of 200 ° C at the outlet of the collector. With an integrated steam separator into the system, the continuity of the system is ensured by separating the vapor from the liquid-vapor mixture that may come from the collector when solar radiation is not sufficient. In this way, fluid entry into the exchanger in the vapor phase is guaranteed. As a result of the findings, it was observed that the system efficiency varied between 16.34% and 21.72% for different days and time periods, and the hourly distilled water amounts were close to each other. The highest distillation amount was recorded as 900 ml/h.

Key Words: Distillation, Solar energy, Parabolic trough type solar collector, Concentration

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.Hidrolik döngü	3
Şekil 1.2.Ters ozmoz sürecinin şematik gösterimi (Baker, 2004).....	5
Şekil 1.3. Elektrodiyaliz tuzdan arındırma prosesinin şematik gösterimi (Miller, 2003).	6
Şekil 1.4. Membran distilasyonu temel çalışma ilkesi (Macedonia ve Drioli, 2017).....	7
Şekil 1.5. Çok kademeli damıtma tesisi şematik gösterimi (Buros, 1990).....	8
Şekil 1.6. Çok işlemlili damıtma tesisi şematik gösterimi (Buros, 1990).	9
Şekil 1.7. Termal buhar sıkıştırırmalı damıtma prosesi şematik gösterimi (Buros, 1990). ...	10
Şekil 1.8. Mekanik buhar sıkıştırırmalı damıtma prosesi şematik gösterimi (Buros, 1990). 11	
Şekil 1.9. Güneş enerjili damıtıcı çalışma prensibi (Buros, 1990).....	12
Şekil 1.10. Güneşin iç yapısı, (1) Çekirdek, (2) Işınımsal bölge, (3) Konvektif bölge, (4) Fotosfer, (5) Kromosfer, (6) Korono, (7) Güneş lekesi, (8) Granüller	13
Şekil 1.11. Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama güneş ışınım değerleri [kWh/m ² -gün], (URL-3, 2020).	15
Şekil 1.12. Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama güneşlenme süreleri [saat], (URL-3, 2020).	16
Şekil 1.13. Sıvı moleküller arası çekim kuvveti.....	17
Şekil 1.14. Güneş enerjili damıtma sistemlerinin sınıflandırılması (Tiwari ve Sahota, 2017).	19
Şekil 1.15. Pasif güneş enerjili damıtıcı (Al-Hamadani ve Shukla, 2013).....	20
Şekil 1.16. Tek eğimli damıtıcılar; (a) Ters emici/Alt reflektör (Dev vd., 2011), (b) Kademeli tip (El-Samadony vd., 2016), (c) Yoğuşturuculu (Fath ve Elsherbiny, 1993).....	22
Şekil 1.17. Çift havza-çift eğim damıtıcı (Rajaseenivasan vd., 2013).	23
Şekil 1.18. Çift eğimli damıtıcılar; (a) Simetrik ve (b) Asimetrik (Abderachid ve Abdenacer, 2013).....	24
Şekil 1.19. Eğik fitilli tip damıtıcı (Aybar vd., 2005).	25
Şekil 1.20. Eğik tepsi/kademeli tip damıtıcı (Abujazar vd., 2018).	26
Şekil 1.21. Düz levha tipi kolektörlü aktif güneş enerjili damıtıcı (Tiwari vd., 2009).	28
Şekil 1.22. Vakum tüp kolektörlü aktif güneş enerjili damıtıcı (Kumar vd., 2014).....	29
Şekil 1.23. Parabolik oluk tipi kolektör ile bütünleşik çift eğimli bir damıtıcı (Fathy vd., 2018).	30
Şekil 1.24. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü (Çağlar ve Talay, 2019).	31
Şekil 1.25. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü kesiti ve tasarım parametreleri.....	32

Şekil 1.26. Odak uzaklığı/kolektör açıklığı'nın bir fonksiyonu olarak kenar açısı (Duffie ve Beckman, 2013).	33
Şekil 1.27. Doğrusal bir parabolik yoğunlaştırıcı kesiti (Duffie ve Beckman, 2013).	34
Şekil 1.28. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ışın transfer şeması (Şanlı, 2010).	36
Şekil 1.29. Isıl kayıplar; (a) akışkandan çevreye olan ısı transferi ve (b) ısıl direnç ağı (Liang vd., 2015).	37
Şekil 2.1. Sistemin şematik görünümü	43
Şekil 2.2. Yansıtıcı yüzey ölçülerinin koordinat düzleminde gösterimi.....	46
Şekil 2.3. Parabolik oluk tipi kolektör	47
Şekil 2.4. Alıcı boru tasarımı (1.tasarım)	49
Şekil 2.5. Alıcı boru tasarımı (2.tasarım-3 geçişli).....	49
Şekil 2.6. Alıcı boru tasarımı (nihai)	50
Şekil 2.7. Borasilikat camın (d=2.2 mm) hava/cam/hava konfigürasyonunda geçirgenliği (URL 4, 2020).	51
Şekil 2.8. Plakalı kaynaklı eşanjör.....	52
Şekil 2.9. Buhar seperatörü teknik özellikleri (URL-5, 2020).	53
Şekil 2.10. Seviye sensörlü pompa devresi	54
Şekil 2.11. Seviye sensörlü pompa; (a) İç görünüş, (b) Dış görünüş	55
Şekil 2.12. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtma sistemi	56
Şekil 2.13. PCE-SP 1 Solarimetre	57
Şekil 2.14. TC-08 Veri kayıt cihazı.....	58
Şekil 2.15. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi prob	59
Şekil 3.1. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (19.08.2020).....	62
Şekil 3.2. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (19.08.2020).....	62
Şekil 3.3. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (19.08.2020)	63
Şekil 3.4. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (20.08.2020).....	65
Şekil 3.5. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (20.08.2020).....	65
Şekil 3.6. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (20.08.2020)	66
Şekil 3.7. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (24.08.2020).....	68
Şekil 3.8. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (24.08.2020).....	68
Şekil 3.9. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (24.08.2020)	69
Şekil 3.10. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (26.08.2020).....	71
Şekil 3.11. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (26.08.2020).....	71

Şekil 3.12. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (26.08.2020)	72
Şekil 3.13. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (03.09.2020).....	74
Şekil 3.14. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (03.09.2020).....	74
Şekil 3.15. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (03.09.2020)	75
Şekil 3.16. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (04.09.2020).....	77
Şekil 3.17. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (04.09.2020).....	77
Şekil 3.18. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (04.09.2020)	78
Şekil 3.19. Damıtılan su miktarının belirtilen tarih ve saatlere göre günlük değişimi	78
Şekil 3.20. Bir saatte damıtılan su miktarının tarihlere göre değişimi	79



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Dünyadaki su kaynaklarının kıtalara göre dağılımı (URL-1, 2020).	1
Tablo 1.2. Güneş enerjisi dönüşümleri (Öztürk, 2008).	14
Tablo 2.1. Güneş enerjisi kolektörleri (Kalogirou, 2014)	44
Tablo 2.2. Yansıtıcı yüzey malzemeleri ve yansıtma oranları (Çolak, 2003)	45
Tablo 2.3. Borasilikat cam fiziksel özellikleri (URL 4, 2020).	51
Tablo 2.4. Borasilikat cam kimyasal bileşimi (URL 4, 2020).	51
Tablo 2.5. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü özellikleri	55
Tablo 2.6. PCE-SP 1 Solarimetre teknik özellikleri	57
Tablo 2.7. TC-08 Veri kayıt cihazı teknik özellikleri	58
Tablo 2.8. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi prob teknik özellikleri	59
Tablo 3.1. 19.08.2020 Tarihli deney verileri	61
Tablo 3.2. 20.08.2020 Tarihli deney verileri	63
Tablo 3.3. 24.08.2020 Tarihli deney verileri	66
Tablo 3.4. 26.08.2020 Tarihli deney verileri	69
Tablo 3.5. 03.09.2020 Tarihli deney verileri	72
Tablo 3.6. 04.09.2020 Tarihli deney verileri	75
Tablo 3.7. Yapılan çalışmalarda meydana gelen toplam belirsizlikler	81

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Su, insanoğlunun en temel ihtiyacıdır. Bunun sonucu olarak insanlar ya yerleşim yerlerini su kaynakları yakınına kurmuş ya da su kaynaklarını bazı yöntemler geliştirerek yerleşim yerleri yakınına taşımışlardır. Teknolojinin gelişimine paralel olarak suyu, taşımamanın daha kolay ve pratik bir hal alması nedeniyle, ulaşılması güç birçok kaynak kullanım noktalarına ulaştırılabilmektedir.

Nüfus artışı ve teknolojik gelişime bağlı olarak artan su ihtiyacı, doğadaki hidrolik döngünün uzun süreçlerden geçmesi nedeniyle üretim-tüketim dengesini bozmaktadır. Bunun sonucunda kullanılabilir su miktarları azalmakta ve insan hayatı olumsuz etkilenmektedir. Bu durum su kaynaklarının bol olduğu bölgelerde tehlike potansiyeli taşımakta olup, özellikle kurak bölgeler için ciddi bir sorundur.

Dünyadaki mevcut su miktarı 1,4 milyon km³ kadar ve bu suyun %97,5'i okyanuslardaki tuzlu sudur. Kalan %2,5'in de yalnızca %0,5'i kullanılabilir durumdadır. Kaynaklar dünya üzerinde dengeli dağılmamaktadır. Dünyadaki su kaynaklarının kıtalara göre dağılımı Tablo 1.1'de verilmiştir (URL-1, 2020). Oldukça sınırlı olan bu kaynaklar, evsel atıklar, sanayi atıkları, tarımsal kirleticiler ve doğal atıkların temiz sulara karışması nedeniyle kirlenmektedir. Suyla ilişkili hastalıklar nedeniyle her yıl 3,5 milyon insan ölmektedir (Sampathkumar vd., 2010).

Tablo 1.1.Dünyadaki su kaynaklarının kıtalara göre dağılımı (URL-1, 2020).

KİTALAR	NÜFUS (%)	SU KAYNAKLARI (%)
K. Amerika	8	15
G. Amerika	6	26
Avrupa	13	8
Afrika	13	11
Asya	60	36
Avusturya	1	5

Yağmur suyu, dere suyu ve deniz suyu gibi kaynakların temiz su olarak kullanılabilir hale getirilmesiyle insanoğlunun artan su ihtiyacı giderilebilecektir. Bu amaçla distilasyon teknolojileri üzerine birçok çalışma yapılarak, tatlı su eldesi miktarının artırılması amaçlanmaktadır. Böylece, sanayi sektöründe birçok aşamada kullanılabilen tatlı su ayrıca kurak bölgelerde az mineralli kaynak sularına alternatif olarak veya mineralize edilerek birçok bölgede içme suyu ihtiyacı kapasitesinin karşılanmasında kullanılabilir. Distilasyon teknolojilerinde az kirli suların buharlaşmasını sağlayan ısı enerjisi farklı kaynaklardan sağlanabilir. Bunlar arasında güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve fosil kökenli kaynaklara bağımlılığı azaltması nedeniyle cazip gelmektedir. Buharlaşan su, soğuk bir yüzeye temas ettirilerek yoğuşturulur ve tekrar sıvı hale geçmesi sağlanır. Soğuk yüzey, damıtma havuzlarındaki daha soğuk saydam örtü olabileceği gibi soğuk bir kaynak ile beslenen bir ısı eşanjörü de olabilmektedir. Bu sayede yoğunlaşan su, hijyenik bir depolama tankında toplanarak çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılabilir.

1.2. Suyun Oluşum Mekanizması

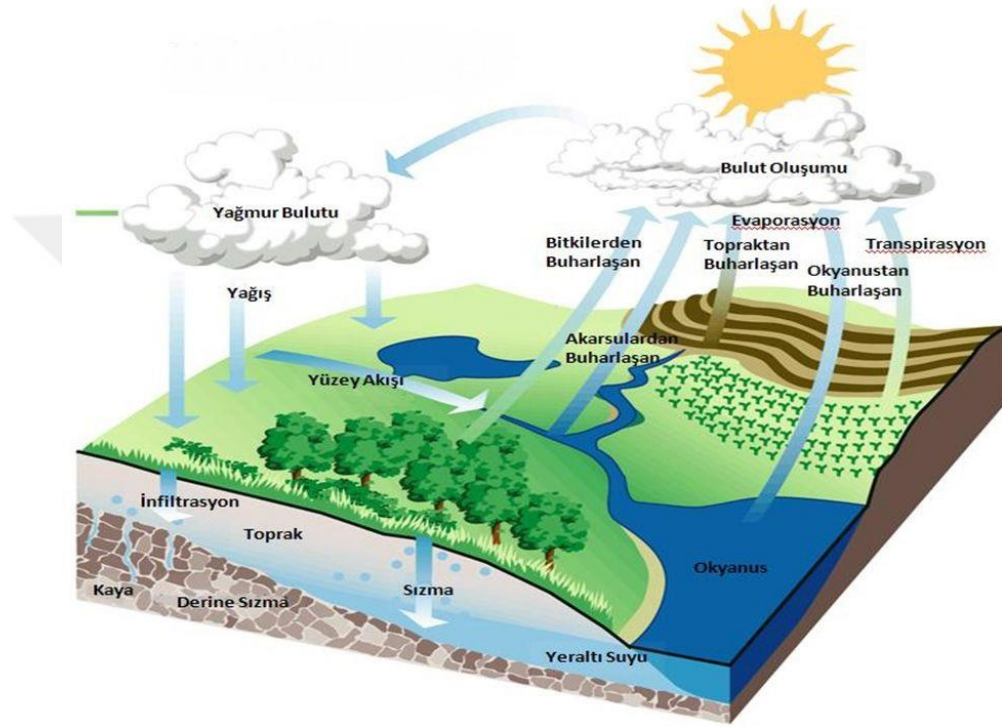
Birçok ülkenin yeraltı ve yüzey sularına sahip olamaması gerçeği, Türkiye’de de bu doğal kaynağın yakın gelecekte önem arz edeceğini ortaya çıkarmaktadır. Yarı kurak iklim kuşağında bulunan Türkiye, sanılanın aksine su zengini bir ülke değildir. Bu durum, kısıtlı su kaynaklarımızın verimli kullanımını ve entegre yönetimini gerekli kılmaktadır (URL-2, 2020).

Tatlı su ve deniz suyu olmak üzere iki tür su bulunduran dünyamızda, okyanuslarda ve açık denizlerde bulunan deniz suyu büyük yer kaplar. Çoğu yer altında ya da akiferlerde bulunan tatlı su kaynakları, doğal kaynaklarda, nehirlerde ve göllerde de bulunabilir.

Su, bitkilerden, topraktan ve çeşitli yüzey sularından buharlaşır. Buhar halinde atmosferin üst kısımlarında biriken su, meteorolojik şartlar sağlandığında konum ve yılın belirli zamanlarına bağlı olarak yağmur veya kar olarak geri dönebilir. “Hidrolik döngü” olarak adlandırılan bu çevrim Şekil 1.1’de görülmektedir.

Atmosferden gelen çökeltme toprağa doğru süzülür ve toprak bir filtrasyon görevi görür. Su doymuş coğrafi bir oluşuma ulaştığında ve su-hava geçirmez doymuş bir katmana ulaştığı zaman kireç gibi, akiferleri oluşturur. Yeraltı su kaynakları doğadaki tatlı suyun %97’sini meydana getirirken, yüzey suları mevcut tatlı suyun sadece %3’ünü oluşturur. Toprağa süzülen suyun bir kısmı bitkilerde meydana gelen kapiler etki nedeniyle zemine

geri gönderilebilir. Bu etki yüzeydeki suyun buharlaşmasına yardımcı olur. Su, maddeleri çözme özelliği nedeniyle, üst katmandan yeraltına doğru süzülme esnasında birtakım maddeleri de beraberinde taşır. Bu maddeler kaliteyi belirler ve suyu, coğrafi konuma bağlı olarak insanların tüketimi için daha fazla ya da daha az kabul edilebilir kılar (Kantaroglu, 2005).



Şekil 1.1.Hidrolik döngü

1.3. Su Arıtma Yöntemleri

Suyun arıtılması, içilmesinde ve kullanılmasında sakınca bulunan suların kirletici bileşenlerinden uzaklaştırılmasını ifade etmektedir. İşlenecek olan suyun niteliğine göre arıtma prosesinin kapsamı ve maliyeti değişmektedir. Kullanılabilir durumda olan su kaynaklarının az olması ve dünya üzerinde dengeli dağılmaması, artan nüfus ve kentleşmeyle birlikte temiz suya ihtiyacın artması, arıtma üzerine yapılan çalışmalara ivme kazandırmıştır. Dünyadaki su kaynaklarının önemli bir kısmını oluşturan deniz suyunun tuzdan arındırılması bu kapsamda önemli bir yer tutmaktadır. Deniz suyunun tuzdan arındırılması için membran, damıtma ve kimyasal prosesler olmak üzere üç temel proses vardır (Miller, 2003).

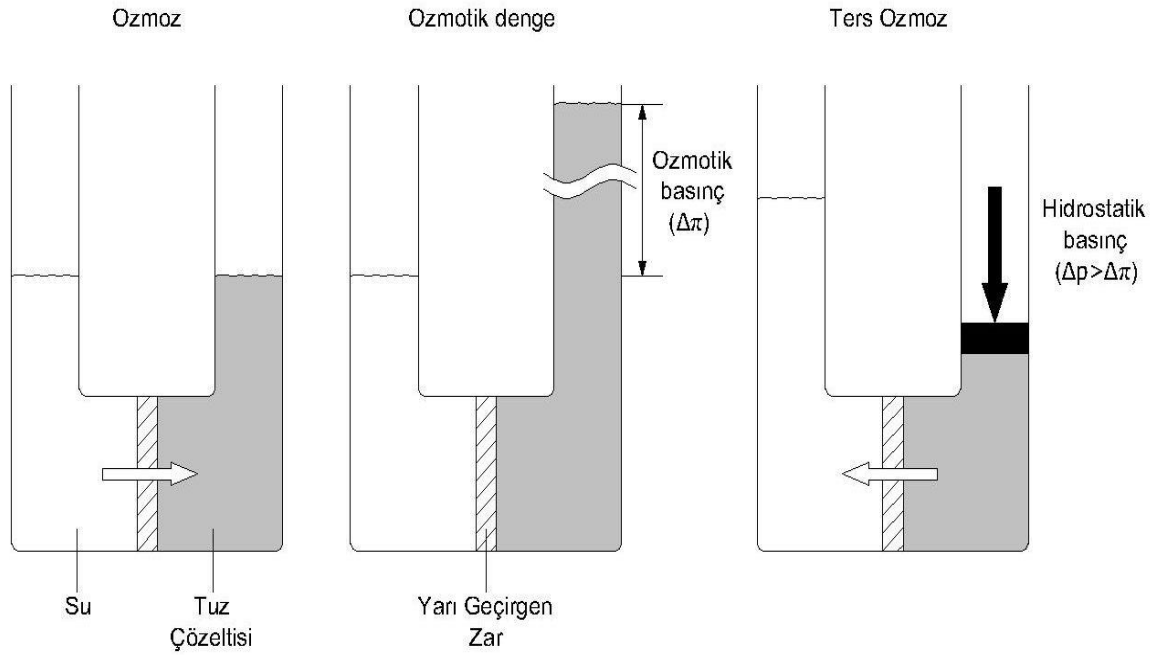
1.3.1. Membran Prosesler

Membran teknolojisi ile ilgili bilim insanlarının yaptığı çalışmaların tarihçesi 18. yy'e kadar dayanmaktadır. Abbe Nolet 1748'de bir diyaframın su geçirgenliğini tanımlamak için "ozmoz" kelimesini kullanmıştır. 19. yy. boyunca ve 20. yy'ın başlarına kadar membranlar endüstriyel ve ticari amaçlar için kullanılmıyordu. Fakat, fiziksel ve kimyasal teorileri geliştirmek için laboratuvarlarda kullanılıyordu. Membranlar, II. Dünya Savaşı sonunda içme sularının testinde ilk önemli uygulamasını buldu. Almanya'da ve diğer Avrupa ülkelerinde büyük topluluklara hizmet veren içme suyu kaynaklarının güvenilirliği çöküntüye uğramıştı ve su güvenliğini test etmek için acilen filtreleme ihtiyacı vardı. ABD ordusu sponsorluğunda bu filtreleri geliştirmek için yapılan çalışmalar, halen ABD'nin en büyük mikrofiltrasyon membran üreticisi olan Millipore tarafından sürdürüldü (Baker, 2004). Membran prosesler günümüzde atık su arıtımı, içme sularının kalitesinin artırılması ve deniz sularının tuzsuzlaştırılmasında kullanılmaktadır.

Membran teknolojisi, bileşenlerin ayrılmasında yarı geçirgen bir zar kullanılan fiziksel bir süreçtir. Seçicilik ve özelliğine göre çeşitli kirleticiler için bariyer olması nedeniyle önemli bir ayırma malzemesidir. Çıkış suyu kalitesinin çok iyi olması, az yer kaplaması ve otomasyona olanak tanınması önemli üstünlüklerindedir. Membranlar genel olarak içme suyu, evsel ve endüstriyel atık suların arıtılmasında, gazların ayrılmasında, elektrokimyasal proseslerde, biyomedikal alanda kan ve idrarın diyalizi, oksijen kazandırılması, membran bazlı sensörlerde, kontrollü ilaç salınımı vb. gibi alanlarda kullanılmaktadır (Koyuncu ve Şengür-Taşdemir, 2018).

1.3.1.1. Ters Ozmoz (TO)

Ters ozmoz teknolojisi uzun zamandan beri deniz suyunun tuzdan arındırılmasında kullanılmaktadır. Canlı hayatı için çok önemli bir role sahip olan ozmoz olayı, ters ozmoz'un gelişimine ışık tutmuştur. Suyun az yoğun ortamdan çok yoğun ortama taşınması ozmoz olarak adlandırılır ve süreç doğada kendiliğinden meydana gelir. Bu süreç, bitki köklerinin topraktan suyu almaları ve beden içindeki hücrelerin beslenmesi için kandan sıvı alıp vermeleri gibi birçok yerde kusursuz olarak çalışmaktadır. Bu doğa olayı, yarı geçirgen zarın daha yoğun ve kirli tarafına ozmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanarak tersine çevrilebilir. Ters ozmoz olarak adlandırılan bu süreç şematik olarak Şekil 1.2'de verilmiştir.



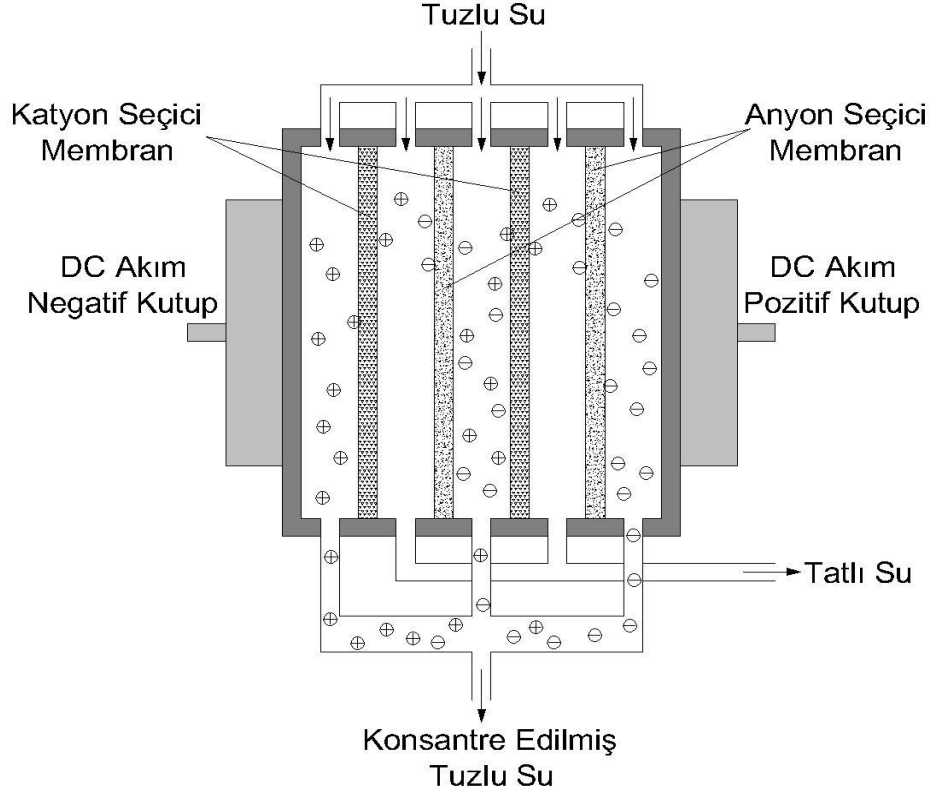
Şekil 1.2. Ters ozmoz sürecinin şematik gösterimi (Baker, 2004).

1.3.1.2. Elektrodiyaliz (ED)

Elektrodiyaliz inorganik kirleticilerin giderimi ve tuzdan arındırma için ters ozmoz ile deniz suyu arıtımında kullanılan membran proseslerden biridir. Sulu çözeltilerdeki iyonik bileşikler, bir elektriksel alan altında iyon değiştirebilen membranlar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Membran, sadece anyonların (negatif yüklü iyonlar) ve katyonların (pozitif yüklü iyonlar) geçişine izin veren seçici ve yarı geçirgen bir zardır. Tuzdan arındırma işleminde katyonlar ve anyonlar sırasıyla katot (negatif yüklü elektrot) ve anot (pozitif yüklü elektrot) tarafından çekilerek iyon değiştirici membranlar ile tutulur ve ortamdan konsantre edilmiş bir şekilde uzaklaştırılır. Arıtılacak olan suyun içerisindeki tortu, partikül ve kum gibi maddelerin membran kirliliğine yol açmasını önlemek için mutlaka ön arıtım gereklidir. Buros, elektrodiyaliz tuzdan arındırma prosesini şematik olarak Şekil 1.3'deki gibi vermiştir (Miller, 2003).

Elektrodiyaliz tesisleri, geniş bir sıcaklık aralığında (43 °C'ye kadar) ve geniş bir pH aralığında (pH 1,0-13,0) %90'ın üzerinde bir su geri kazanımına müsaade etmektedir. Membran yüzeyleri kolaylıkla tıkanabildiğinden aralıklı olarak elektriksel yükün tersine çevrilmesiyle yüzeyler temizlenebilmektedir. Bu işlem ters elektrodiyaliz olarak tanımlanmaktadır. ED prosesinde; sıcaklık, akım miktarı, iyonların tipi ve miktarı,

membranların kirlilik düzeyi, su akış hızı ve kademe sayısı su kalitesini etkileyen faktörlerdir (Chen vd., 2011).

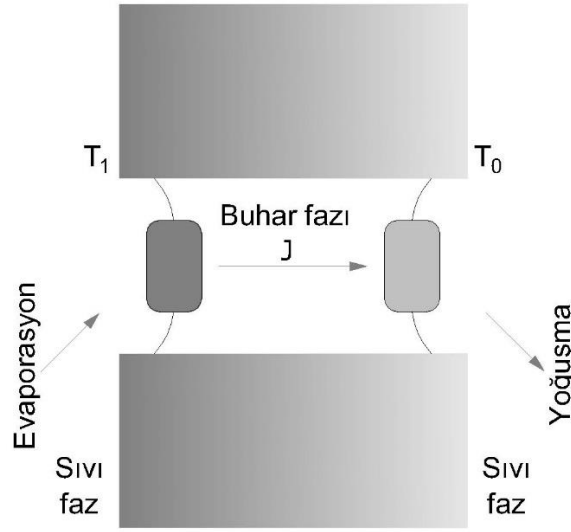


Şekil 1.3. Elektrodiyaliz tuzdan arındırma prosesinin şematik gösterimi (Miller, 2003).

1.3.1.3. Membran Distilasyonu

Membran distilasyonu, geleneksel membran teknolojilerinden farklı olarak mikro gözenekli hidrofobik bir zar ile farklı sıcaklıklara sahip iki sıvıyı ayıran ve buharın geçişine izin veren bir prosestir. Diğer membran proseslerine göre daha saf su elde edilebilmektedir.

Atmosferik basınç altında, çözeltilerin kaynama noktasından daha düşük bir sıcaklıkta gerçekleşen bu proseste zarın hidrofobitesi nedeniyle sıvı fazın gözeneklerden geçişi engellenmekte ve su buharı sıcaklık farkının bir sonucu olarak ortaya çıkan buhar basıncı farkı nedeniyle sıcak kısımdan soğuk kısma geçiş yaparak soğuk yüzeyde yoğunlaşmaktadır. Membran distilasyonunda su buharının geçişi şematik olarak Şekil 1.4’de verilmiştir.



Şekil 1.4. Membran distilasyonu temel çalışma ilkesi (Macedonia ve Drioli, 2017).

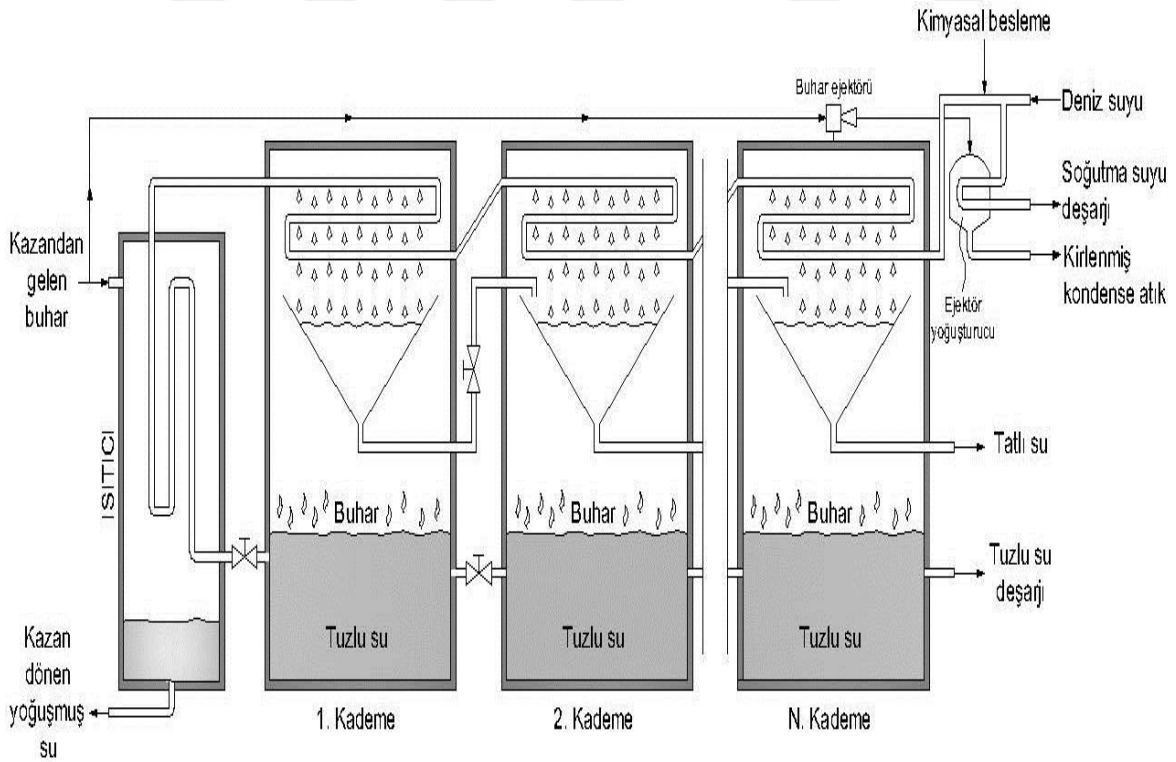
1.3.2. Damıtma Prosesleri

Suyun faz değişiminden yararlanılarak değişen fazın termal yöntemler vasıtasıyla ayrıldığı proseslerdir. Çözelti içerisindeki su buharlaştırılarak ayrılır ve ayrı bir kaynaktan yoğunlaştırılarak tekrar sıvı forma geçmesi sağlanır. Böylece doğada var olan döngünün bir kısmı yapay olarak gerçekleştirilmiş olur. Buharlaşmayı sağlayan mekanizma, fosil kökenli yakıtlara dayalı enerji çeşitleri olabileceği gibi yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisi de olabilir. Özellikle deniz suyunun tuzdan arındırılmasında sıklıkla bu yöntemler kullanılmaktadır. Sıvı akışkanların kaynama sıcaklığı basınç ile ilişkili olduğundan damıtma prosesleri düşük sıcaklık uygulamaları için vakum basıncı altında da yapılabilir. Bu işlemde yüzey buhar basıncı düşürülerek çözücü maddenin düşük sıcaklık altında buharlaştırılması sağlanır. Bu sayede gerekli sıcaklığa erişmek için harcanan enerji miktarı da azaltılmış olur.

Damıtma, çözeltideki farklı maddelerin farklı kaynama noktalarına sahip olması nedeniyle iyi bir arıtım tekniğidir. Çözeltinin sıcaklığı, çözeltideki en düşük kaynama noktasına sahip maddenin sıcaklığına ulaşıncaya kadar yükselir. Bu sayede sürekli beslemeli sistemlerde suyu ayırmak kolay bir hal alır. Ayrıca yüksek sıcaklık uygulamalı damıtma proseslerinde suda bulunabilecek bakteriler de arındırılabilir. Damıtma prosesleri ultraviyole filtreler ile de entegre edilerek bakteri ve virüsler tamamen sudan uzaklaştırılabilir.

1.3.2.1. Çok Kademeli Damıtma

Buharlaştırma ve yoğuşurma esasına dayanan bu proseste, deniz suyu birbiriyle bağlantılı birden çok bölme içerisinde geçirilerek su geri dönüşümü maksimize edilir. Çok kademeli damıtma prosesinde, deniz suyu basınçlı olarak ısıtma bölümünde ısıtılarak birinci kademeye ulaşır. Burada sıcaklığı yükselen sıvı basıncın azaltılmasıyla aniden kaynar, buharlaşır ve yoğuşarak yoğuşma kabında toplanır. Ardışık odalar arasında basıncın kademeli olarak düşürülmesiyle bu süreç her bir bölümde hızla kaynama, buharlaşma ve yoğuşma şeklinde son kademeye kadar devam eder. Yoğuşma kaplarında biriken tatlı sular basınç düşüşünün etkisiyle son kademeye kadar ilerler ve uygun bir depoda depolanır. Sürekli bir döngünün olduğu bu sistemde yoğuşma, sisteme son kademedeki ayrı bir hat içerisinde giren, her bir kademedeki ısıtma bölümüne ilerleyen ve her bir odaya göre daha düşük sıcaklıkta olan deniz suyunun kendisi tarafından sağlanır. Böylece soğutma sistemlerinin kurulum maliyeti azaltılmış olur. Çok kademeli damıtma tesisi şematik olarak Şekil 1.5’te verilmiştir.

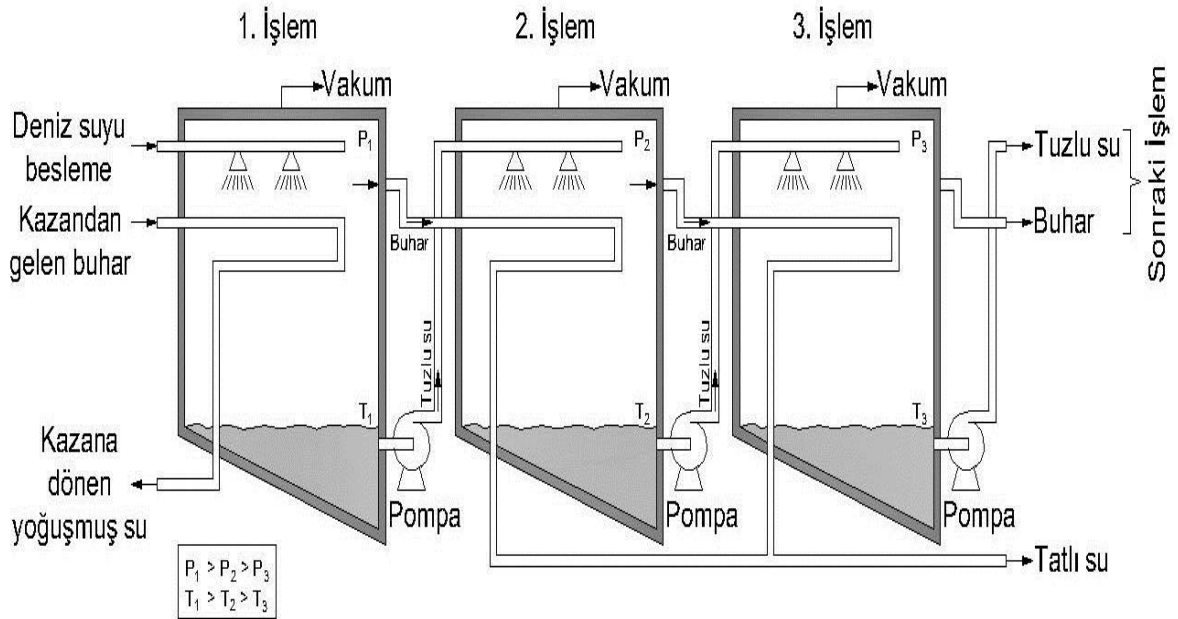


Şekil 1.5. Çok kademeli damıtma tesisi şematik gösterimi (Buros, 1990).

1.3.2.2. Çok İşlemlili Damıtma

Çok kademeli damıtma prosesine benzer şekilde bir dizi bölmeden meydana gelir ve ardışık bölmeler arasında giderek daha düşük bir basınçta işletilir. Deniz suyu, ısıtıcı serpantin üzerine pulvarize bir şekilde püskürtülerek buharlaştırılır. Oluşan su buharı ikinci işleme geçer ve burada üzerine birinci bölmeden çekilen deniz suyu pulvarize bir şekilde püskürtülerek ısısı alınır ve yoğuşması sağlanır. Ardışık her bir bölmenin daha düşük sıcaklık ve basınçta işletilmesiyle bu süreç devam eder. Çok işlemlili damıtma tesisi şematik olarak Şekil 1.6'da verilmiştir.

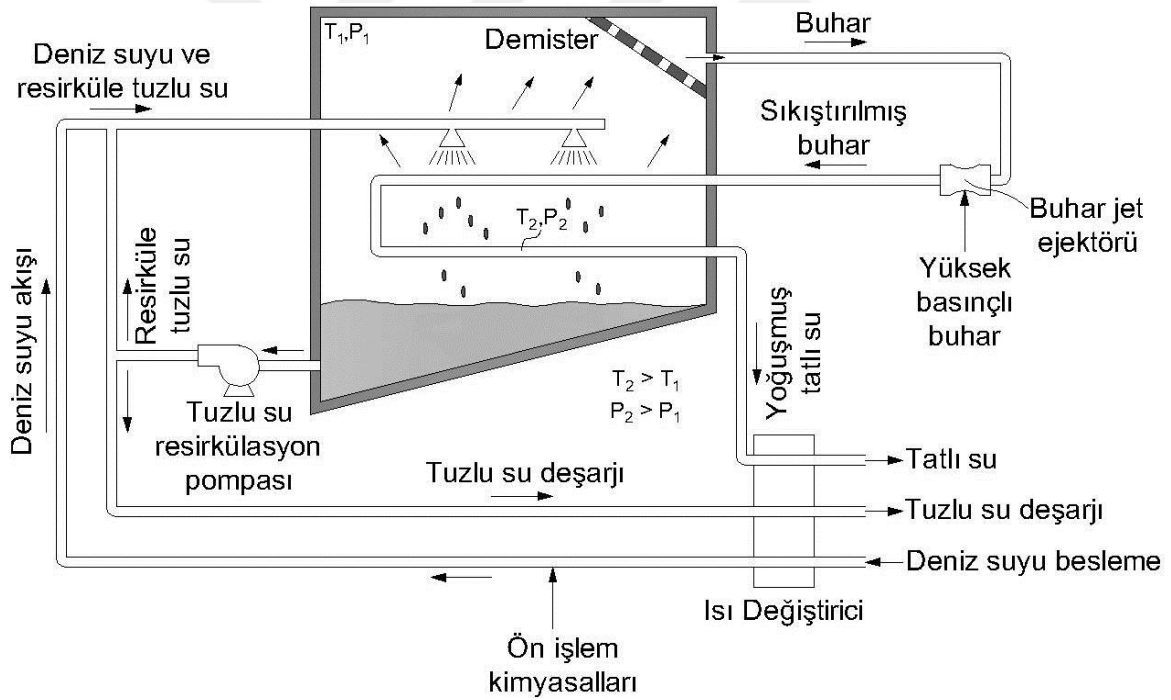
Bu bölmeler ilk işlem içerisinde oluşturulan buhar yoluyla ısıtılır. Sonraki işlemlerde de bu buharın bir kısmı tatlı su üretimi için yoğuşturulurken bir kısmı da deniz suyunu ısıtmada kullanılır.



Şekil 1.6. Çok işlemlili damıtma tesisi şematik gösterimi (Buros, 1990).

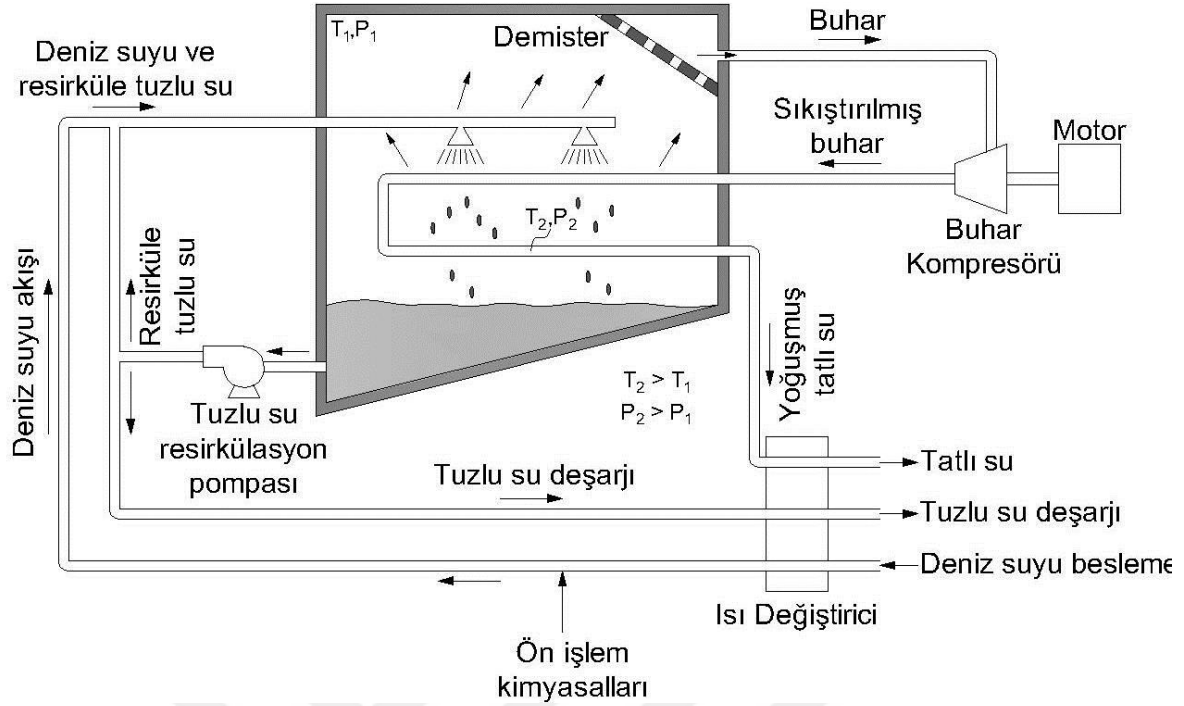
1.3.2.3. Buhar Sıkıştırırmalı Damıtma

Buhar sıkıştırırmalı damıtma prosesinde buharlaşmanın sürekliliği için bölme içerisi çeşitli yöntemler kullanılarak negatif basınç altında tutulur. Bunu sağlayan mekanizma mekanik ve termal olmak üzere iki şekilde işletilebilir. Bölme içerisindeki su buharı bir kompresör ile mekanik olarak veya bir ejektör ile termal olarak sıkıştırılır. Sıkıştırılması sonucu basıncı ve sıcaklığı artan su buharının üzerine deniz suyu pulvarize bir şekilde püskürtülerek ısısı alınır, yoğunlaşır ve tatlı su üretimi gerçekleştirilir. Proseste üretilen suyun kalitesini artırmak amacıyla bölme içerisinde, buhar akışına sürüklenen sıvı damlacıklarını tutmaya yarayan “demister” kullanılır. Termal buhar sıkıştırırmalı damıtma prosesi Şekil 1.7’de ve mekanik buhar sıkıştırırmalı damıtma prosesi Şekil 1.8’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.7. Termal buhar sıkıştırırmalı damıtma prosesi şematik gösterimi (Buros, 1990).

Buhar sıkıştırırmalı damıtma prosesleri bağımsız olarak ya da çok işlemlili damıtma gibi termal damıtma prosesleri ile kombine bir şekilde işletilebilmektedir. Buhar sıkıştırırmalı damıtma üniteleri tatil köyleri, oteller ve endüstriyel uygulamalar gibi küçük ve orta ölçekli tesislerde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Buros, 1990).



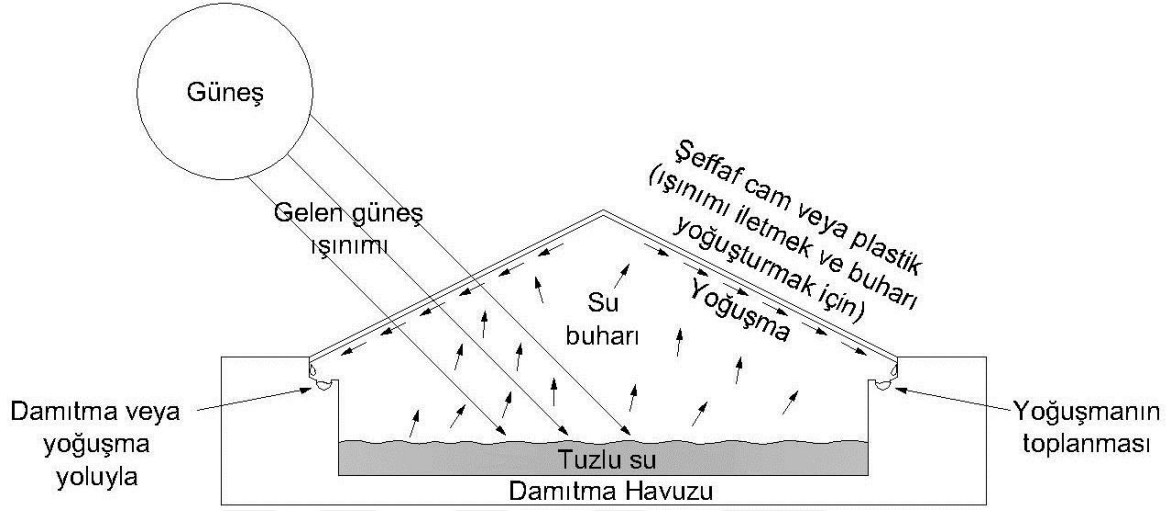
Şekil 1.8. Mekanik buhar sıkıştırımlı damıtma prosesi şematik gösterimi (Buros, 1990).

1.3.2.4. Güneş Enerjili Damıtma

Güneş enerjili damıtıcılar, ısı absorbe edici yüzeye sahip, üzeri saydam eğimli bir örtü ile kaplı, içerisinde arıtılmak üzere atık sular bulunduran sistemlerdir. Atık suyun güneş enerjisi kullanılarak buharlaştırılması sonucu oluşan su buharı şeffaf cam veya plastik kaplı bir örtü yüzeyinde yoğuşur, toplama kanalı vasıtasıyla alınarak depolanır ve tatlı su üretimi gerçekleştirilir. Bu sayede su içerisindeki tuz ve zararlı maddeler arındırılarak tatlı su üretimi gerçekleştirilir. Buros (1990) genel olarak yaklaşık 1m^2 zeminin günlük 4 l tatlı su üretebileceğini ifade etmiştir. Diğer damıtma proseslerinde tuzdan veya diğer zararlı maddelerden arındırma işlemi için gereken termal enerji yüksek bir maliyet doğururken güneş enerjili damıtmada bu enerji güneş ışınımı ile sağlandığından herhangi bir termal enerji maliyeti meydana getirmez. Fakat kurulan sistemlerde tatlı su üretimini sürekli kılmak iklim koşulları ile ilişkili birçok parametreye bağlı olduğundan diğer damıtma prosesleri kadar etkin değildir.

Güneş enerjili damıtma, pasif ve aktif sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif sistemler güneş enerjisinin doğrudan kullanıldığı, sadece damıtma havuzuna sahip olan sistemlerdir. Aktif sistemler ise farklı enerji kaynaklarının veya güneş kolektörlerinin doğrudan pasif sistemlere ilave edildiği sistemlerdir. Aktif sistemler, tasarımı itibarıyla

güneş enerjisinin yeterli olmadığı veya süreklilik arz etmediği durumlarda dahi üretim yapabilmektedir. Bu açıdan pasif sistemlere göre üretim kapasiteleri ve verimlilikleri yüksektir. Güneş enerjili damıtıcı çalışma prensibi Şekil 1.9’da şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.9. Güneş enerjili damıtıcı çalışma prensibi (Buros, 1990).

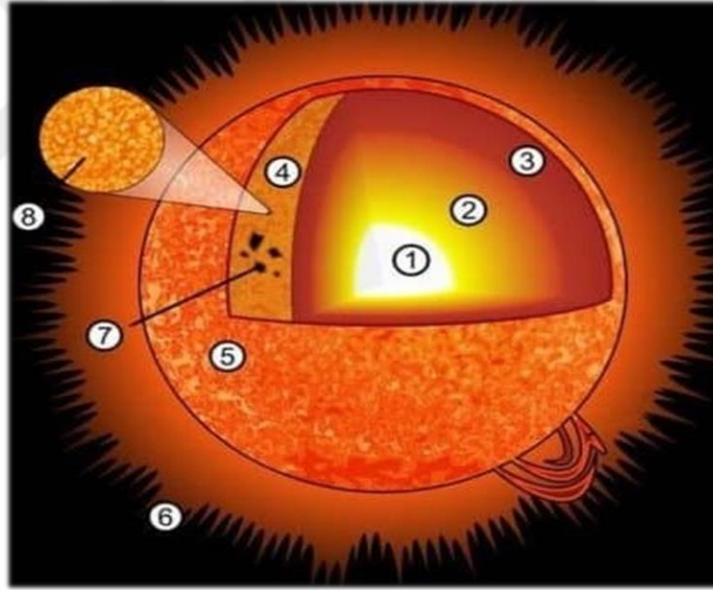
Güvenli ve kullanılabilir su kaynaklarının bulunmadığı kurak bölgelerde sıklıkla kullanılan bir uygulamadır. Güneş enerjili damıtıcılar, tasarım ve coğrafi konumlarına bağlı olarak farklı miktarlarda tatlı su üretimi gerçekleştirirler. College Station’da Texas Tarımsal Hayatı Sürdürme Servisi dört farklı güneş enerjili damıtıcı üzerinde yaptığı testlerde, $0,7 \text{ m}^2$ yüzey alanına sahip bir güneş enerjili damıtıcının bir insanın hayatta kalması için yeterli suyu üretebileceğini göstermiştir (Mechell ve Lesikar, 2010).

1.3.3. Kimyasal Prosesler

Membran ve damıtma proseslerine tam olarak uymayan, ancak termal, fiziksel ve kimyasal açıdan benzerlikler barındıran iyon değişimi, sıvı-sıvı ekstraksiyonu ve santrifüj kuvvetlerin etkisi ile ters ozmoz gibi prosesler de bulunmaktadır.

1.4. Güneş Enerjisi

Güneşten gelen ışınım evrendeki canlı yaşamının sürekliliği için önemli ve vazgeçilmez bir olgudur. Güneşin yapısında; %92,8 H ve %7,1 He atomu bulunmaktadır. Güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon tepkimeleri neticesinde 4 H atomu 1 He atomuna dönüşür ve açığa çıkan kütle farkından dolayı büyük bir enerji oluşur. Çekirdekte üretilen enerji yüzeye doğru ışınımsal olarak yayılır. Yüzeyde konvektif bölgeye gelen ışınımın çevrelerini saran gazları ısıtır. Bu gazlar ısındıkça yükselir, ısınıp kaybeder ve tekrar alt kısma doğru yaklaşarak yeniden ısınır ve yükselir. Bu gaz hareketleri ısı enerjisinin taşınmasını sağlar. Güneşte meydana gelen bu enerji artışı, uzayda elektromanyetik dalgalar şeklinde ilerleyerek dünyamıza ulaşır. Bu enerji dünyamızda soğurularak sıcaklığın yükselmesine neden olur.



Şekil 1.10. Güneşin iç yapısı, (1) Çekirdek, (2) Işınımsal bölge, (3) Konvektif bölge, (4) Fotosfer, (5) Kromosfer, (6) Korono, (7) Güneş lekesi, (8) Granüller

Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %30'u yansıma ve saçılmalara geri döner. Yaklaşık %20'si hava kürede ve geri kalan %50'si yeryüzünde soğurulur. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinden doğal ve yapay dönüşümler olmak üzere birçok farklı şekilde yararlanılabilir. Güneş enerjisi dönüşümleri Tablo 1.2'de verilmiştir (Öztürk, 2008).

Tablo 1.2. Güneş enerjisi dönüşümleri (Öztürk, 2008).

Güneş Enerjisi Dönüşümleri	
Doğal Dönüşümler	Yapay Dönüşümler
Toprak ve suyun ısınması	Güneş ışımasını → ısı (toplaçlar)
Fotosentez	Güneş ışımasını → elektrik (güneş pilleri)
Su döngüsü	Su gücü → mekanik → elektrik (barajlar)
Rüzgâr ve dalga oluşumu	Rüzgâr → elektrik-mekanik (türbinler)
Doğal yangınlar	Biokütle → ısı-gaz ve sıvı yakıt (Biyolojik, kimyasal ve ısıl-kimyasal dönüşüm) Fosil yakıt → ısı-elektrik (elektrik ve ısı üretim merkezleri) Güneş mimarlığı uygulamaları

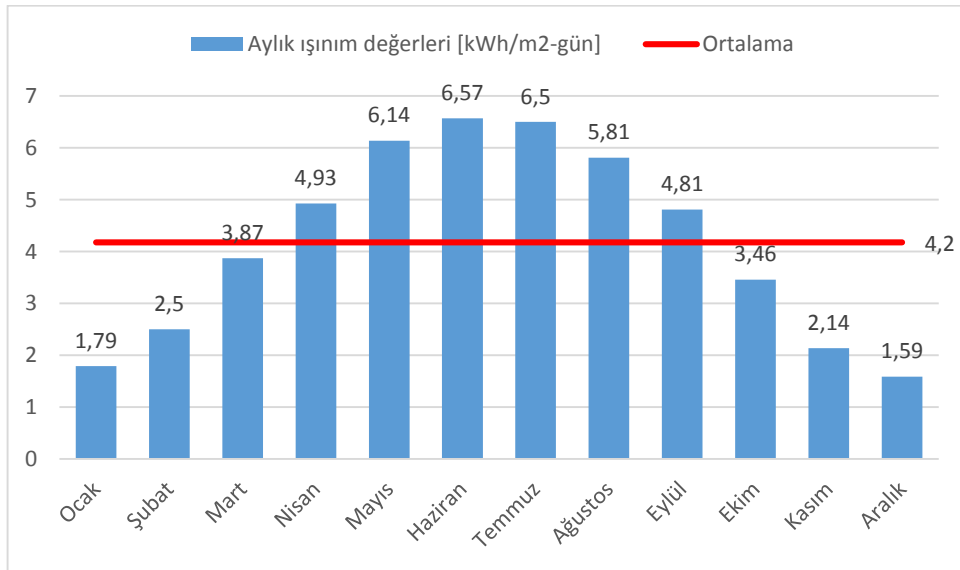
Enerji ihtiyacına bağlı olarak fosil yakıtların uzun süredir kullanımı neticesinde dünyanın atmosferinde sera gazları salınımı ortaya çıkmaktadır. Bu etki neticesinde dünyamızın sıcaklığı yükselmekte, bu sıcaklık artışının bir sonucu olarak hava hareketlerindeki değişimler doğal felaketler meydana getirmekte ve buzullar erimektedir. Ayrıca, fosil yakıtların kullanımı sonrası ortaya çıkan atıklar toprak, su ve hava kirliliğine yol açarak canlı yaşamını tehdit etmektedir. Bu amaçla, canlıların yaşam faaliyetlerine zarar vermeyen, temiz, güvenilir ve sürdürülebilir olan yenilenebilir teknolojiler arasında güneş enerjisi önemli bir yer tutmaktadır.

Güneş, coğrafi konumlarına bağlı olarak tüm dünya ülkelerinin belirli oranlarda yararlanabileceği bir enerji kaynağıdır. Bu açıdan, ülkelerin enerji açısından bağımlılıklarını indirgeyecek veya tamamen ortadan kaldıracaktır. Güneş enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle sade ve basit imalat teknolojileri ile gerçekleştirilebilir. Ancak güneş enerjisinden yararlanılan sistemlerin kurulum maliyetleri ve işletme giderlerinin güneş enerji santralleri gibi bazı özel uygulamalar için günümüz şartlarında yüksek olması, verimlerinin düşük olması ve kapasite faktörünün yapay dönüşümlere nazaran düşük olması teknolojik ve ekonomik zorluklarıdır. Ayrıca, güneşten gelen enerji miktarının arz ve talep dengeleri zaman dilimleri açısından uyumsuz olabildiğinden, güneş enerjisinin depolanması gerekebilir. Bu da depolanan enerjinin yalıtım gereksinimi nedeniyle birtakım maliyetler doğurabilir.

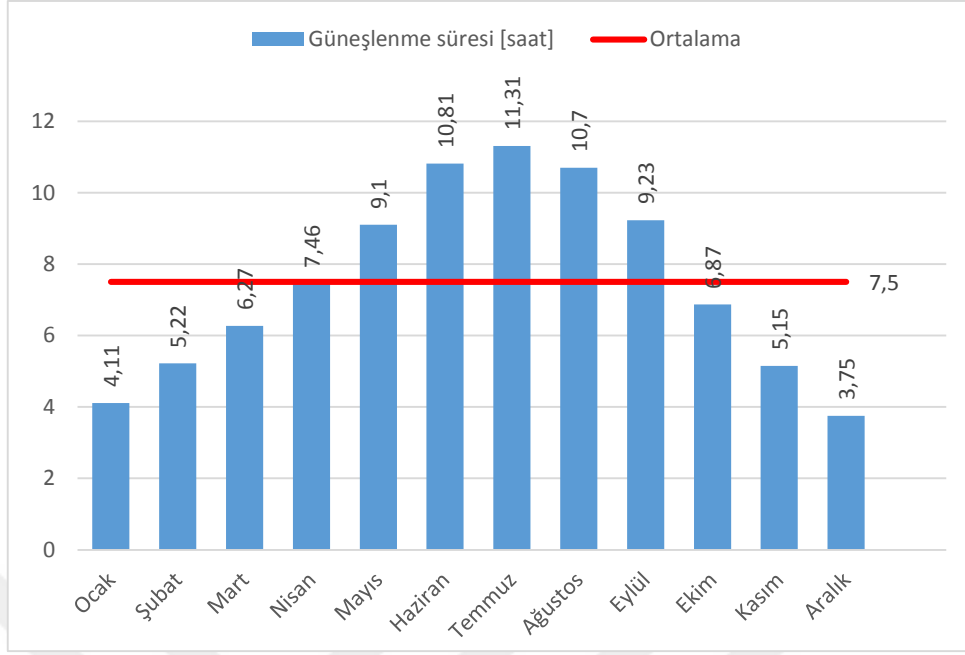
1.4.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkelerden biri olmasına karşın, güneş enerjisinden yeteri kadar faydalanamamaktadır. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2740 saat (günlük toplam 7,5 saat), ortalama güneş ışınım değeri 1534 kWh/m²-yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir (URL-3, 2020). Ülkemize göre daha kuzeyde yer alan Almanya, ortalama yıllık güneşlenme süresi ve ortalama güneş ışınım değeri daha az olmasına karşın bu kaynağın kullanımında üst sıralarda yer almaktadır.

Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına göre Türkiye'de güneşlenme süreleri en fazla Temmuz ve en az Aralık ayındadır. Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu ile İç Anadolu Bölgesinin bir kısmı güneş ışınım değerleri açısından önemli potansiyele sahiptir. Hem enlem değeri hem de rutubetli olması bakımından ışınım değeri en düşük bölge Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesidir. Bu bölgelerde bağıl nemin yüksek olması nedeniyle ışınım perdelemesi meydana gelmektedir. Marmara ve Kuzey Ege Bölgesi, Karadeniz'e göre daha iyi durumdadır (Aksungur vd., 2013). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası EK-1'de, Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama güneş ışınım değerleri Şekil 1.11'de ve Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama güneşlenme süreleri Şekil 1.12'de verilmiştir (URL-3, 2020).



Şekil 1.11. Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama güneş ışınım değerleri [kWh/m²-gün], (URL-3, 2020).



Şekil 1.12. Türkiye'nin aylara göre günlük ortalama güneşlenme süreleri [saat], (URL-3, 2020).

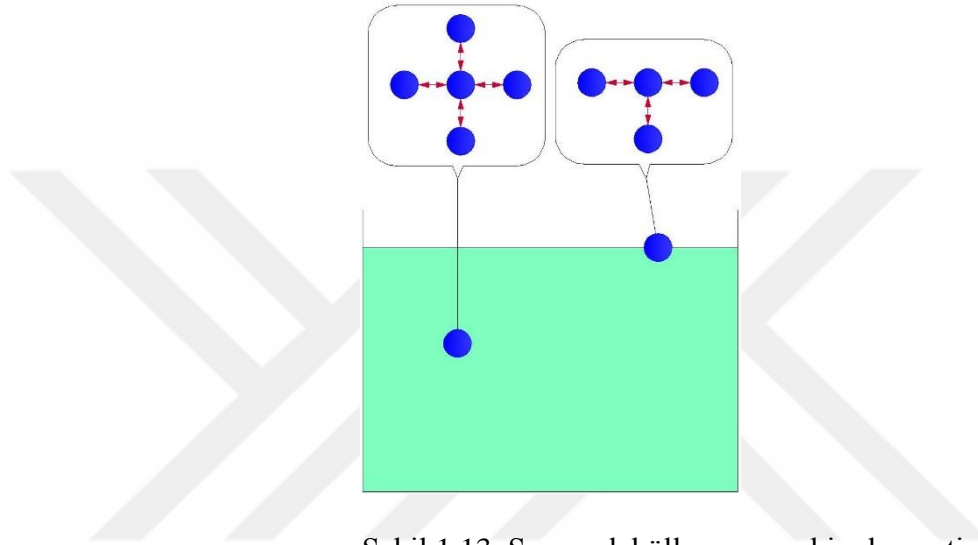
1.4.2. Trabzon'un Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası verilerine bakıldığında, Trabzonun günlük ortalama güneşlenme süresi 5,8 saat ve günlük ortalama güneş ışınım değeri 3,8 kWh/m² olarak görülmektedir (URL-3, 2020). Bu değerler ortalamanın biraz altında olmasına rağmen Trabzon'un güneş enerjisi açısından fakir bir konumda olduğunu göstermemektedir. Bağıl nemin yüksek olması da ışınım perdelemesi yapması bakımından bir dezavantaj olmasına karşın güneş enerjisi önemli bir potansiyele sahiptir.

Çakmak ve Altaş (2013), Trabzon ili örneği üzerinden Doğu Karadeniz Bölgesinin güneş enerji potansiyeli verilerini, güneş enerjisinden elektrik üretiminde öncü ülkelerden biri olan Almanya ile karşılaştırmıştır. Elde ettikleri bulgular sonucunda, Trabzonun güneş enerjisi potansiyelinin ve Trabzonda güneş pilleri ile üretilebilecek enerji miktarlarının Almanya'dan daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Bu durum, Doğu Karadeniz Bölgesinin güneş enerjisi potansiyeli bakımından fakir bir ülke olmadığını göstermektedir. Doğu Karadeniz Bölgesi, diğer bölgelerimiz ile karşılaştırıldığında daha az güneş enerjisi potansiyeline sahip olmasına karşın yapılan analizler Doğu Karadeniz Bölgesinde de güneş enerjisinin son derece önemli bir kaynak olduğunu ve birçok kullanım sahasına sahip olabileceğini ortaya koymaktadır.

1.5. Buharlaşma ve Yoğuşma

Buharlaşma, ısının etkisiyle sıvı fazdaki moleküllerin gaz fazına geçmesi olarak tanımlanır. Sıvıların önemli bir özelliği moleküller arası çekim kuvvetinden kaynaklanan yüzey gerilimidir. Sıvı molekülleri arasındaki çekim kuvveti şematik olarak Şekil 1.13’de verilmiştir.



Şekil 1.13. Sıvı moleküller arası çekim kuvveti

Sıvıların sıcaklığı arttıkça moleküller arası çekim kuvvetleri (kohezif kuvvetler) azalır. Sıvı yüzeyinde, kinetik enerjileri artan bu moleküller yüzey gerilimini yenerek doymuş bir tabaka meydana getirir. Sıcaklığın etkisiyle yüzeyde meydana gelen buhar basıncı, atmosferde bulunan havanın içerisindeki su buharının kısmi basıncından büyük olduğu sürece buharlaşma devam eder. İçerisinde çözülmüş maddeler bulunan sıvılarda moleküller arası çekim kuvveti daha fazla olacağından buharlaşma hızı azalır. Dolayısıyla deniz suyunun damıtılarak tuzdan arındırılması proseslerinde buharlaşma hızını artırmak için suya olan ısı transferini artırmak ve suyun sıcaklığını hızlı bir şekilde yükseltmek gerekir.

Yoğuşma, havanın içerisindeki su buharının ısını vererek sıvı faza geçmesi olarak tanımlanır. Havanın sıcaklığı azaldıkça tutabileceği su buharı miktarı da azalır ve kapasitesinin üzerindeki su buharını yoğuşarak bırakır. Teknik olarak su buharının kısmi basıncı, doymuş su buharı basıncına ulaştığında yoğuşma ortaya çıkar. Yani gerekli sıcaklık ve bağıl nem koşulu sağlandığında buhar doymun hale gelecek ve çığ noktası diye tabir edilen bir noktada yoğuşma başlayacaktır.

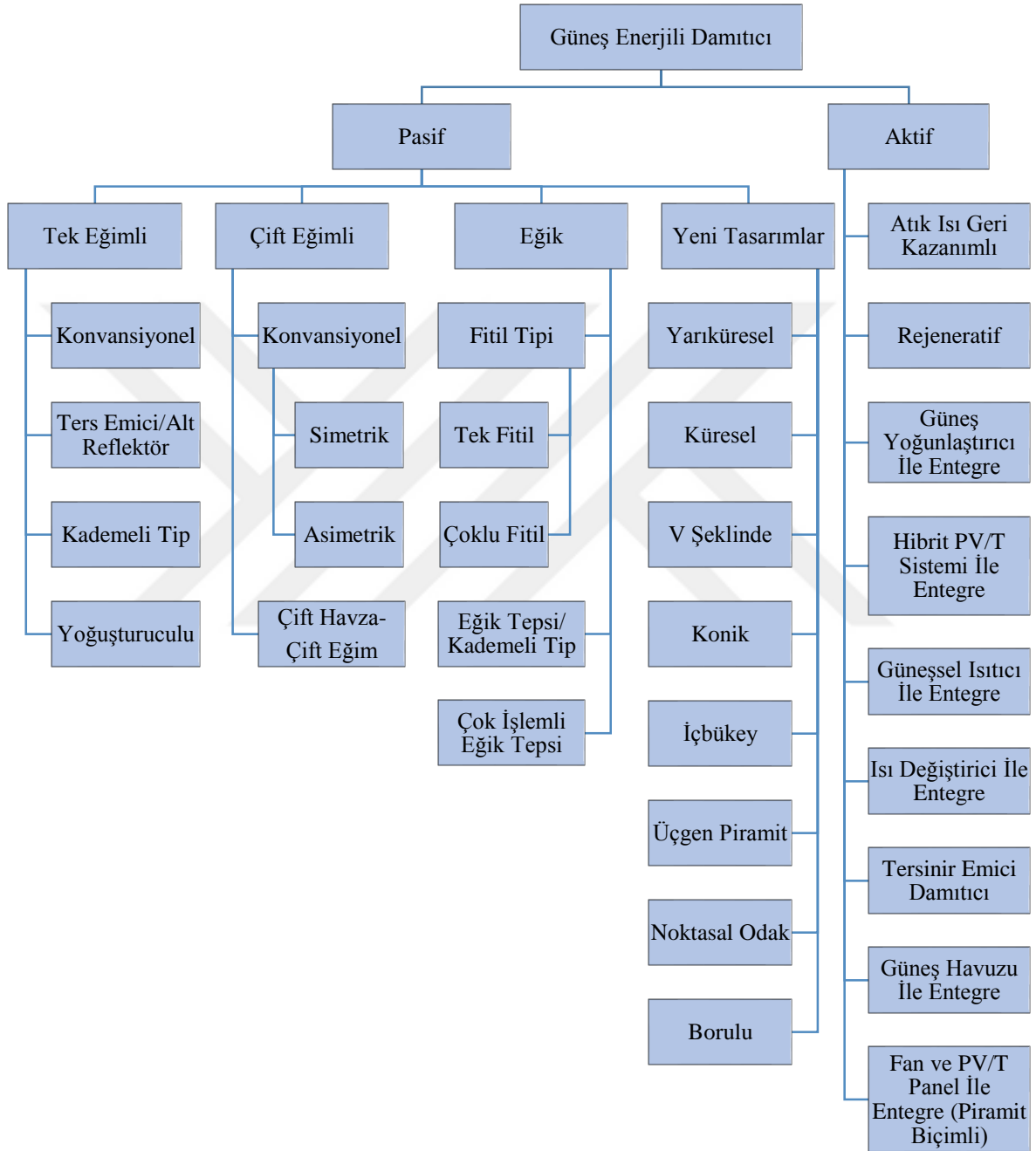
1.6. Güneş Enerjili Damıtıcılar

Dünyanın yaklaşık dörtte üçü sularla kaplı olmasına rağmen içilebilir su sorunu günden güne artmaktadır. Ekonomik olarak kısıtlı imkânlarla sahip birçok ülkede içilebilir su kaynaklarına erişim önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyadaki su kaynaklarının büyük çoğunluğunu yüksek tuz oranına sahip olan okyanus suları oluşturmaktadır. Nehirler, göller ve yeraltı suları gibi kaynaklar ise insan kaynaklı kirleticiler nedeniyle içilebilir olmaktan çıkmakta ve içilebilir su kaynaklarına erişimin kısıtlı olduğu az gelişmiş ülkelerde önemli sağlık sorunları meydana gelmektedir. Ayrıca birçok bölgede nitelikli suyun bulunamamasından dolayı tarımsal ürünlerin kalitesi ve miktarı azalmaktadır.

Tuzdan arındırma, su arıtımında insanlardan tarafından dünyada kullanılan en eski yöntemdir. Geçmişte günümüze gelecekteki çevresel sonuçları bilmeksizin çeşitli tuzdan arındırma teknolojileri geliştirildi. Tuzdan arındırmada kullanılan buhar sıkıştırımlı damıtma, ters ozmoz ve elektrodializ gibi teknolojilerde gerekli ısı enerjisi elektrik aracılığıyla üretildi. Fakat son yıllarda, çevreyi ve ekonomik kalkınmayı doğrudan etkileyen geleneksel enerji kaynaklarına (kömür santralleri, fosil yakıtlar gibi) bağlılığın meydana getirdiği enerji krizinden dünyadaki birçok ülke önemli derecede etkilenmiştir. Bu kaynakların dengesiz kullanımının bir sonucu olan iklim değişikliği dünyanın karşı karşıya kaldığı önemli bir diğer sorun olmuştur. Tüm olumsuz durumların önüne geçmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim kaçınılmaz olmuştur. Güneş enerjisi, bol ve ekonomik bir kaynak olması nedeniyle damıtıcılarda sıklıkla kullanılan bir kaynak haline gelmiştir (Sampathkumar vd., 2010).

Güneş enerjili damıtıcılar buharlaşma ve yoğuşma ile süregelen doğadaki hidrolik döngünün bir uygulamasıdır. İçerisinde çeşitli kirleticiler bulunduran az kirli atık sular güneş enerjisi yardımıyla bir havza veya kanal içerisinde buharlaştırılarak kirleticilerden uzaklaştırılır. Arıtılmış su buharı soğuk bir saydam yüzeyde veya bir ısı değiştiricisinde yoğuşturularak kapalı bir kaptaki depolanır. Teknolojik gelişmelere ve ihtiyaçlara paralel olarak verimliliğin ve üretim kapasitesinin artırılması amacıyla yıllardır birçok güneş enerjili damıtma sistemleri geliştirilmiştir. Güneş enerjili damıtıcılar bu bağlamda, güneş enerjisinin doğrudan kullanıldığı selektif bir yüzeye sahip havzaların olduğu pasif sistemler ve güneş kolektörleri veya yoğunlaştırıcılar ile ilave termal enerjinin kullanıldığı havza veya kanala sahip aktif sistemler olarak sınıflandırılabilir. Aktif sistemler, pasif sistemlerin verimliliğini

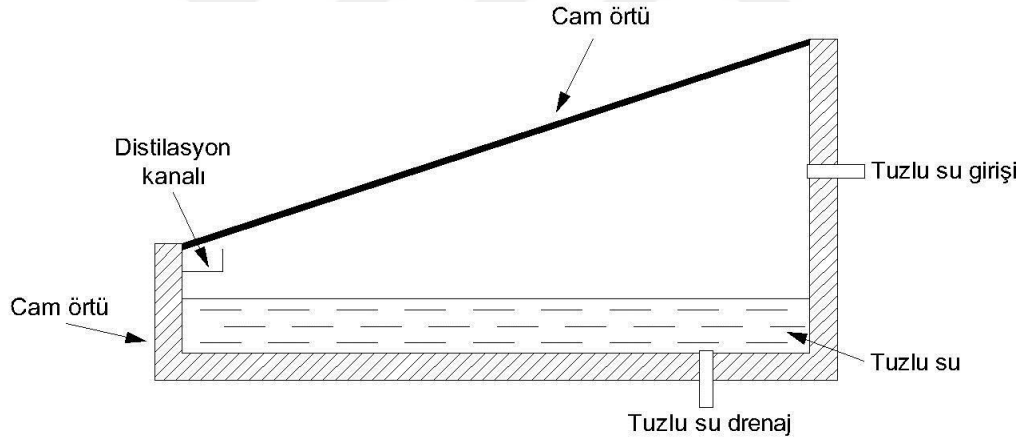
ve üretkenliğini artırmak üzere ortaya çıkan tasarımlardır. Güneş enerjili damıtma sistemlerine ilişkin sınıflandırma Şekil 1.14’te verilmiştir.



Şekil 1.14. Güneş enerjili damıtma sistemlerinin sınıflandırılması (Tiwari ve Sahota, 2017).

1.6.1. Pasif Güneş Enerjili Damıtıcılar

Pasif güneş enerjili damıtıcılar temelde atık suyun bulunduğu ve güneş ışınımına doğrudan maruz kalan buharlaşma işleminin gerçekleştiği soğurma oranı (α) yüksek ve yayıcılığı (ϵ) iyi düzeyde olan selektif yüzeyli bir damıtma havzasından ve yoğuşmanın meydana geldiği saydam bir cam örtüden meydana gelir. Aktif sistemlere kıyasla daha basit ve ekonomik yapıdadır. Sürekli olarak güneşe ihtiyaç duyduklarından güneşin olmadığı zamanlarda işletilemezler ve bunun bir sonucu olarak üretim miktarları düşüktür. Bu nedenle pasif güneş enerji damıtıcılarının üretim miktarlarının artırılması amacıyla birçok farklı tasarıma sahip bilimsel çalışma yapılmıştır. Özellikle tuzdan arındırma çalışmalarında önemli sayıda bilim adamı pasif sistemlerin saflaştırma/tuzdan arındırma işlemleri için yavaş bir proses olduğunu dile getirmiştir (Tiwari vd., 2009). Pasif güneş enerjili bir damıtıcı şematik olarak Şekil 1.15'te verilmiştir.



Şekil 1.15. Pasif güneş enerjili damıtıcı (Al-Hamadani ve Shukla, 2013).

Pasif güneş enerjili damıtıcı performansını etkileyen unsurlar (Öztürk, 2004):

- Meteorolojik koşullar: Pasif güneş enerjili damıtıcılar güneş ışınımına sürekli olarak ihtiyaç duyduklarından güneş ışınımı iyi olmalı ve süreklilik arz etmelidir. Damıtıcının kurulduğu bölgenin güneşlenme süresi iyi düzeyde olmalıdır. Ortam sıcaklığının düşük olması saydam örtünün (yoğuşma örtüsünün) sıcaklığını düşürerek yoğuşma açısından fayda sağlarken, damıtma havzasından çevreye olan ısı kayıplarını artırmaktadır. Ortam sıcaklığının yüksek olması da damıtma havzasından çevreye olan ısı kayıplarını sıcaklık

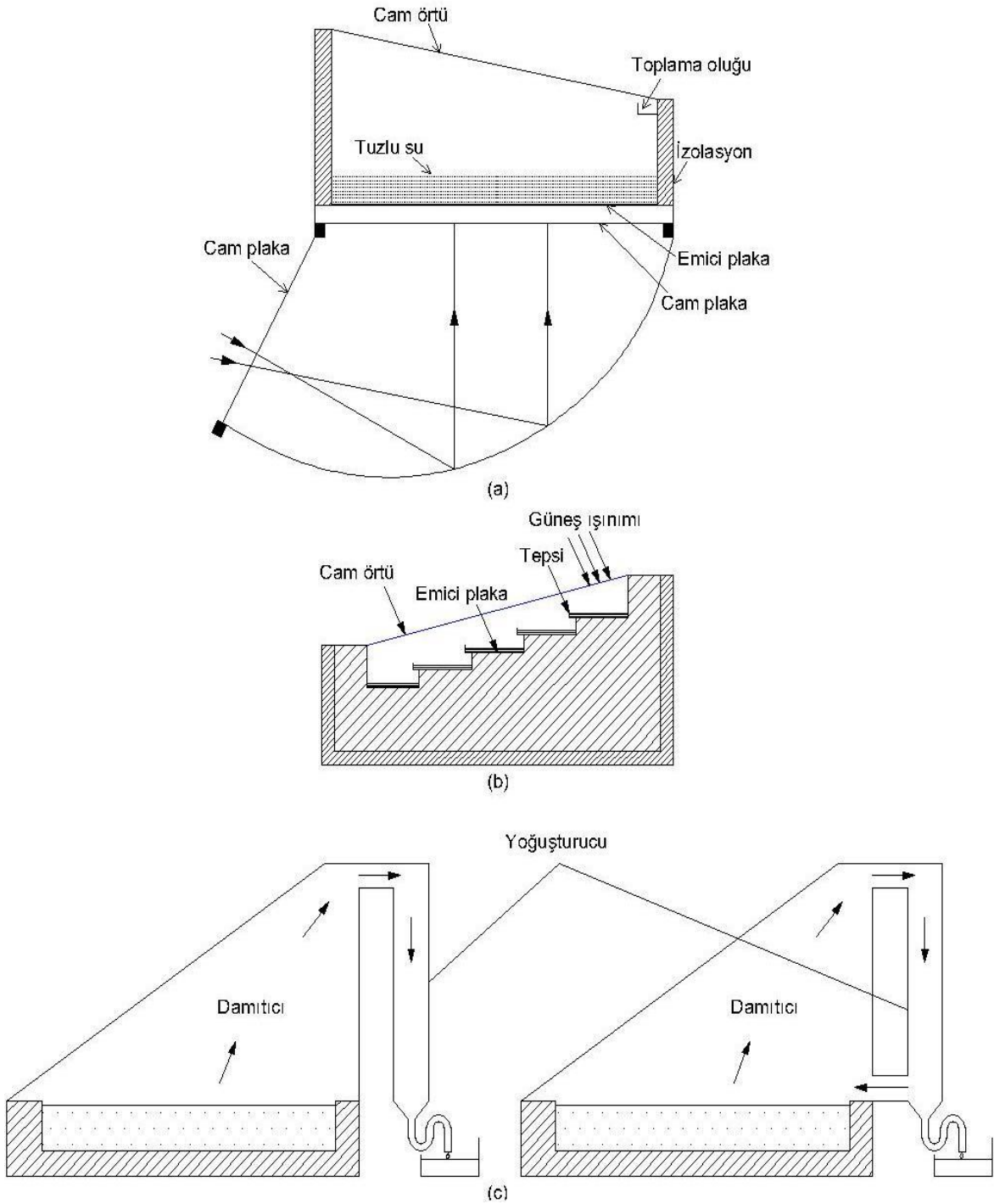
farkının azalması nedeniyle azaltmaktadır. Rüzgâr, taşınım ile ısı transferini artırdığından saydam örtüden çevreye olan ısı geçişi artarak yoğuşma miktarını artırmaktadır.

- Damıtma havzasındaki su derinliği: Fital tipi eğik damıtıcılar hariç olmak üzere, pasif sistemler genellikle damıtma havzası veya bölmelerinde belli derinlikte su ihtiva eder ve bu açıdan su derinliği oldukça önemlidir. Su derinliğinin artmasıyla gelen enerjinin büyük bir kısmı, ısı kapasitenin artırılmasına yani buharlaşma için gerekli olan sıcaklığa ulaşılması amacıyla harcanır. Bu nedenle su derinliği arttıkça damıtıcılar daha geç tepki vermeye başlar.
- Konstrüktif Özellikler: Sıydam örtünün eğim açısı, yoğuşma suyunun toplama kanallarına akışı açısından son derece önemlidir. Eğimin az olması, yoğuşan suyun damıtma havzasına damlamasını neden olabilir. Havza tabanının ısıyı soğurma yeteneğinin fazla olması gerekir. Yine havza tabanının ve çevresinin ısı kayıpları açısından iyi izole edilmesi, oluşabilecek buhar kaçaklarına karşı da önlem alınması gerekir.

1.6.1.1. Tek Eğimli Damıtıcılar

Tek eğimli damıtıcılar; konvansiyonel, ters emici/alt reflektör, kademeli ve yoğuşturucu ilaveli sistemler olarak sınıflandırılmıştır (Tiwari ve Sahota, 2017). Konvansiyonel sistemler klasik yapıda, damıtma havzası ve tek eğimli bir saydam örtüden meydana gelmektedir (Şekil 1.15). Ters emici/alt reflektör sistemi, havzadaki suyun yansıtıcı yüzey kullanılarak alt yüzeyden ısıtılması esasına dayanır. Bu açıdan damıtma havuzu tabanı yansıtıcı olarak gelen güneş ışınlarını soğurma kapasitesi yüksek bir plaka olarak dizayn edilir. Yoğuşma konvansiyonel sistemlerdeki gibi saydam bir cam örtüde meydana gelir ve distilasyon kanalı vasıtasıyla depolanır. Geleneksel tek eğimli damıtıcılarda gerekli alan yeterince büyüdükçe minimum su derinliğini korumak zor olduğundan, havzalar küçük bölmelere ayrılarak su kütlesinin termal ataletinin azaltılması ve birim alan başına üretimin artırılması amacıyla kademeli tipte damıtıcılar tasarlanmıştır (Muftah vd., 2018). Yoğuşturuculu tipte damıtıcılarda ise damıtma havzasına ilave yoğuşma kanalı eklenmiştir. Bu sayede birim alan başına üretim miktarı artırılması amaçlanmıştır.

Tek eğimli damıtıcılar basit ve kolay uygulanabilir olmaları nedeniyle kurak ve yarı kurak iklimlerde fazla bilgi birikimi gerektirmeden kolaylıkla işletilebilmektedir. Ters emici/Alt reflektör, kademeli tip ve yoğuşturuculu tek eğimli damıtıcılar Şekil 1.16'da verilmiştir.

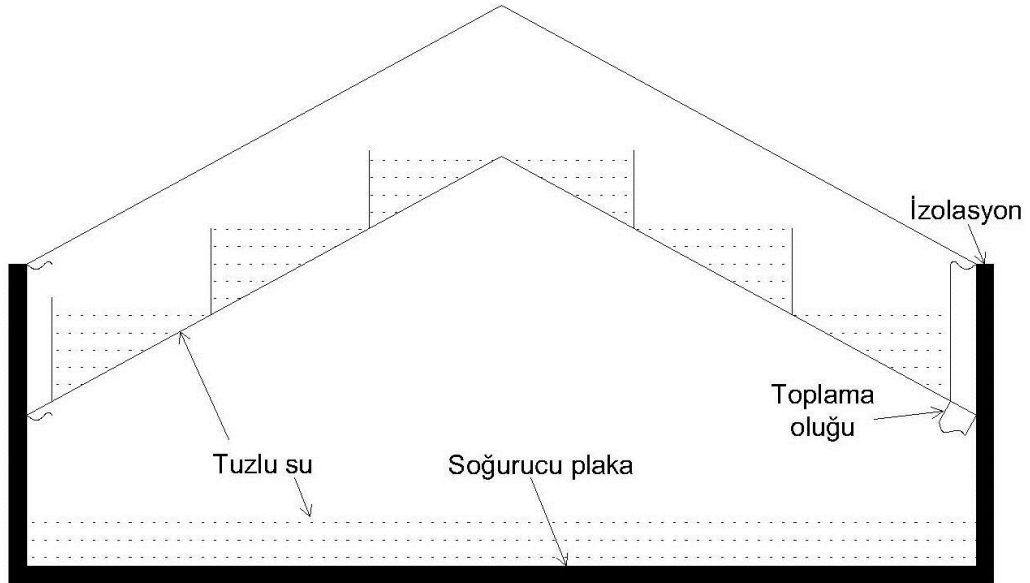


Şekil 1.16. Tek eğimli damıtıcılar; (a) Ters emici/Alt reflektör (Dev vd., 2011), (b) Kademeli tip (El-Samadony vd., 2016), (c) Yoğuşturuculu (Fath ve Elsherbiny, 1993).

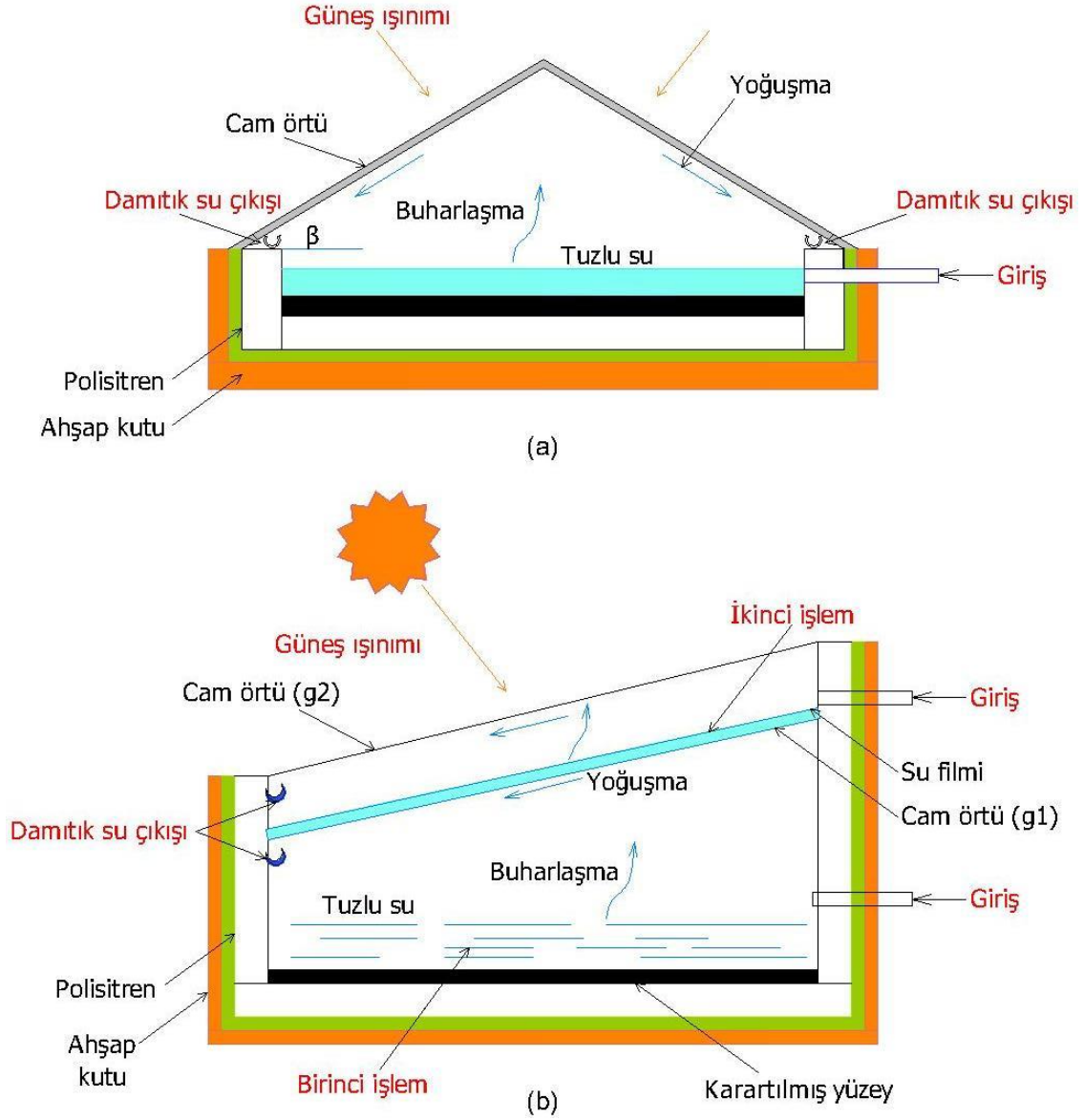
1.6.1.2. Çift Eğimli Damıtıcılar

Güneş enerjili damıtıcılarda birim havza alanı başına günlük damıtma miktarını artırmak üzere deneysel ve sayısal çalışmalarla birçok farklı tasarım geliştirilmiştir. Bu doğrultuda sistemin farklı parametreleri (cam örtünün eğimi, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, besleme suyu sıcaklığı, tuzluluk-kirlilik oranı, su derinliği, karışımın termofiziksel özellikleri) ve tasarımı arasındaki ilişkiler daha iyi güneş enerjili damıtıcılar belirlemek üzere bazı araştırma çalışmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjili damıtıcıların performansını etkileyen önemli parametreler arasında, ayrıca, güneş ışınımının yoğunluğu, güneşlenme süresi, damıtıcı tipi, coğrafi farklılıklar ve iklim koşulları bulunmaktadır (Abderachid ve Abdenacer, 2013).

Verimlilik, güneş enerjili damıtıcıların performansını anlamak ve farklı tasarımlar geliştirmek için önemli bir parametredir. Bu amaçla araştırmacılar verimliliği artırmak için belli parametrelerin değişimi yanında farklı tasarımlar geliştirmeye de ihtiyaç duymuştur. Çift eğimli damıtıcılar; konvansiyonel (simetrik ve asimetric) ve çift havza-çift eğim olarak sınıflandırılmıştır (Tiwari ve Sahota, 2017). Çift havza-çift eğim tasarımı Şekil 1.17’de ve konvansiyonel (simetrik ve asimetric) tasarımlar Şekil 1.18’de verilmiştir.



Şekil 1.17. Çift havza-çift eğim damıtıcı (Rajaseenivasan vd., 2013).

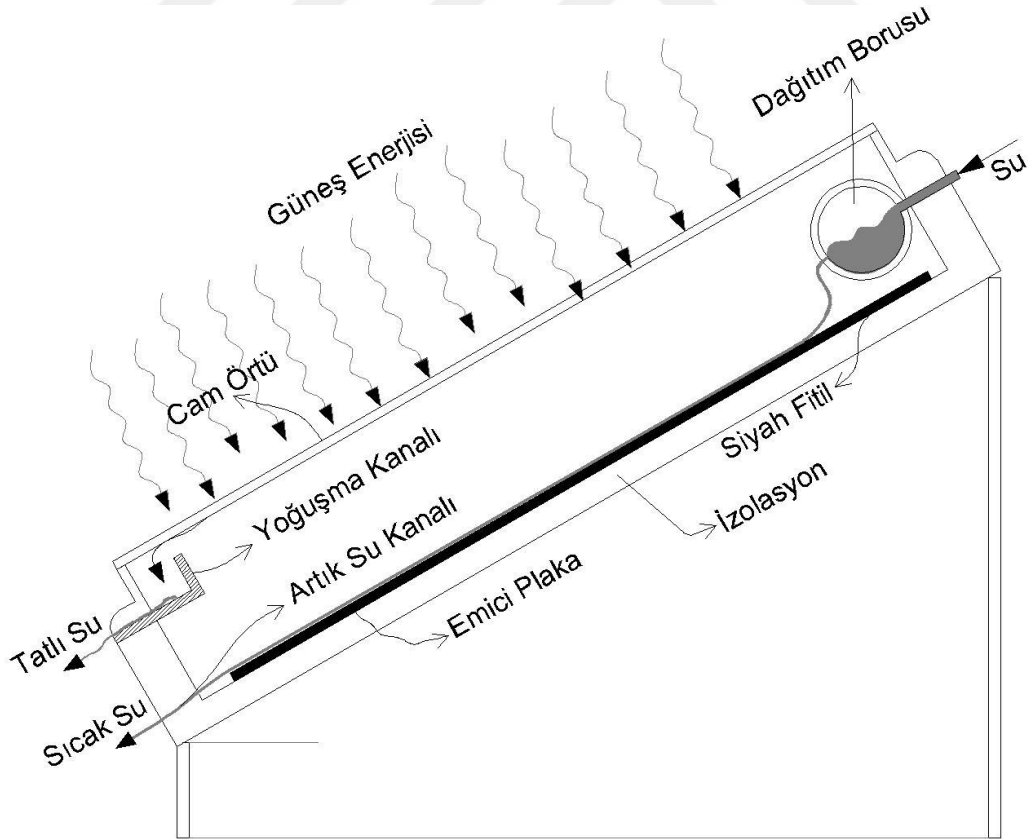


Şekil 1.18. Çift eğimli damıtıcılar; (a) Simetrik ve (b) Asimetrik (Abderachid ve Abdenacer, 2013).

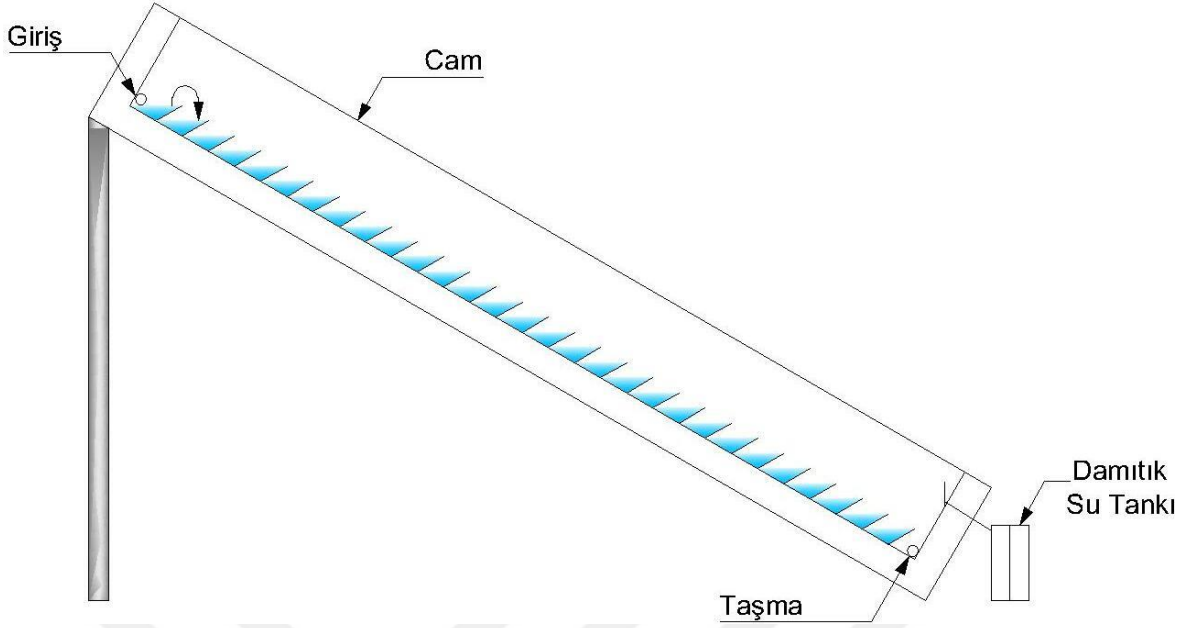
1.6.1.3. Eğik Damıtıcılar

Eğik damıtıcılar; fitil tipi (tek fitil ve çoklu fitil), eğik tepsi/kademeli tip ve çok işlemlili eğik tepsi olarak sınıflandırılmıştır (Tiwari ve Sahota, 2017). Araştırmacılar, damıtıcı performansını artırmak üzere bu tür tasarımları ortaya koymuştur. Eğik damıtıcılar, güneşi daha uygun bir açıda ve etkili bir alanda alırlar. Birim zamanda sisteme verilen besleme suyu da daha az olduğundan su daha hızlı ısıtılır ve yüksek sıcaklıklara çıkabilir. Fitil tipi damıtıcılar geleneksel tasarımlara kıyasla daha yüksek bir üretkenliğe sahip olduğu için

önemli bir potansiyele sahiptir. Fıtil tipi damıtıcılarda arıtılacak olan su havzaya kılcal etki nedeniyle çekilir ve fıtilin üst yüzeyi güneşin yoğun olduğu saatlerde daima ıslaktır. Su buharlaşarak ayrılır ve su buharı yoğunlaştırıcı yüzeyde yoğunlaşarak saf su elde edilmiş olur. Fıtil tipi damıtıcılarda su kılcal etki nedeniyle havzaya emildiğinden ince bir su filmi oluşur. Bu durum daha hızlı ısınmaya ve daha kısa sürede buharlaşma için gerekli olan sıcaklığa çıkılmasını sağlayarak buharlaşma hızının artırılmasına olanak sağlar (Manikandan vd., 2013). Eğik tepsi/kademeli tip damıtıcılarda kademeli olarak tepsiler vasıtasıyla suyun kütlelere ayrılarak termal ataletin azaltılması ve bu sayede buharlaştırma hızının artırılması amaçlanmıştır. Çok işlemlili eğik tepsi tipi damıtıcılarda eğik tepsi/kademeli tip damıtıcılara benzer olarak birçok bölme ayrılmış su kütlesi mevcuttur. Bunun yanında eğik damıtıcı birden fazla ara yüze ayrılarak buharlaşma ve yoğunlaşma prosesleri çok yönlü olarak gerçekleştirilmekte ve bu sayede damıtıcının birim alan başına üretkenliğini artırılmaktadır. Eğik fıtilli tip damıtıcı Şekil 1.19’da ve eğik tepsi/kademeli tip damıtıcı Şekil 1.20’de verilmiştir.



Şekil 1.19. Eğik fıtilli tip damıtıcı (Aybar vd., 2005).



Şekil 1.20. Eğik tepsi/kademeli tip damıtıcı (Abujazar vd., 2018).

1.6.1.4. Yeni Tasarımlar

Son yıllarda araştırmacılar pasif sistemleri geliştirmek üzere birçok yeni tasarım üzerinde çalıştılar. Tiwari ve Sahota (2017), bu tasarımları; yarı küresel, küresel, V şeklinde, konik, içbükey, üçgen piramit, noktasal odak ve borulu tipte olarak sınıflandırmıştır. Her bir tasarım damıtıcı performansını artırmak üzere farklı geometrik şekillerde tasarlanmıştır.

1.6.2. Aktif Güneş Enerjili Damıtıcılar

Aktif sistemler, pasif sistemlerde ortaya çıkan sorunların çözümü ve damıtıcıların üretkenliğinin artırılması amacıyla geliştirilmiştir. Pasif sistemlerde güneş ışınımının havzadaki suyun sıcaklığının yükseltilmesindeki tek etken olması ve süreklilik sağlamaması nedeniyle buharlaşma ve yoğuşma süreçleri daha düşük bir üretkenlik ile sonuçlanır. Bu amaçla aktif sistemler, güneş enerjisinin efektif kullanıldığı ve ilave termal enerjinin güneş veya farklı kaynaklardan sağlandığı sistemler olarak tasarlanır. Aktif güneş enerjili damıtıcılar ile daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabildiğinden performans açısından daha da üstünlerdir. Son yıllarda sistem performansını geliştirmek üzere çeşitli aktif güneş enerjili damıtıcılar geliştirilmiştir.

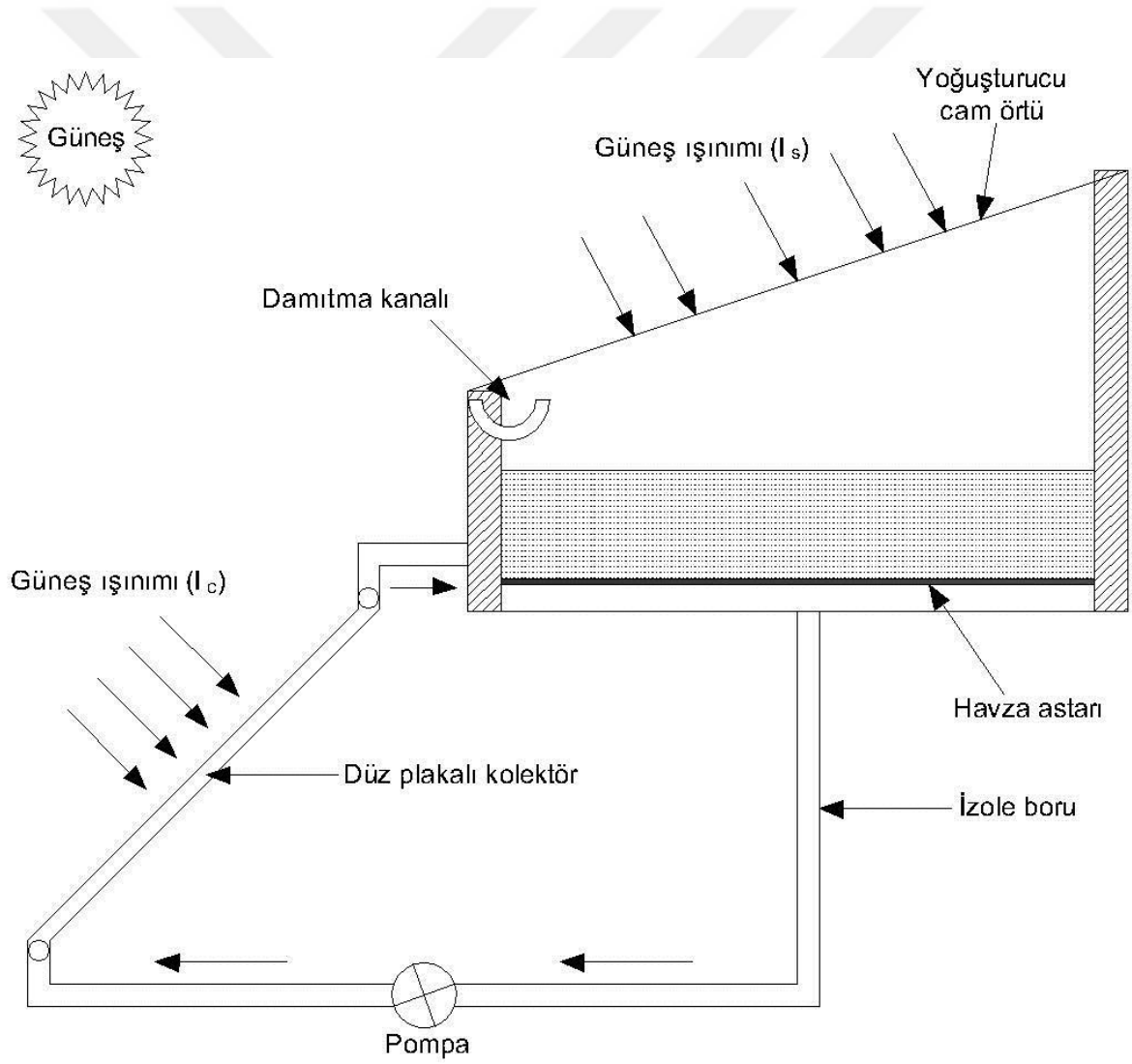
Bir güneş enerjili damıtıcının performansı güneş ışınımı yoğunluğu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi kontrol edilemeyen parametrelerle geliştirilemez. Fakat, güneş enerjili damıtıcıların performansını etkileyen; su derinliği, cam örtü açısı, üretim materyalleri, havza içerisindeki su sıcaklığı ve izolasyon kalınlığı gibi belli parametreler vardır. Damıtıcılarda su derinliği azaltılarak buharlaşma hızı artırılabilir. Ayrıca, havzadaki su ile yoğuşmayı sağlayan cam örtü arasındaki sıcaklık farkı da damıtıcı performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Havzadaki suyun sıcaklığındaki artış, buharlaşma ve yoğuşma yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını artırabilir. Daha iyi bir buharlaştırma ve yoğuşturma oranı elde etmek için, havzadaki suyun sıcaklığı bazı harici kaynaklardan ilave termal enerji sağlanarak yükseltilebilir. Güneş kolektörleri ile havzaya ilave termal enerjinin sağlandığı aktif sistemlerde havza sıcaklığı 20-50 °C'den 70-80 °C'lere kadar çıkarılabilir (Sampathkumar vd., 2010).

Enerjinin efektif kullanımı dünyadaki kaynakların boşa harcanmasının önüne geçecektir. Çeşitli endüstriyel tesislerde ortaya çıkan atık ısılar bu amaçla değerlendirilebilir ve ülke ekonomileri açısından pozitif bir ivme kazandırması muhtemeldir. Atık ısı, damıtıcılarda ön ısıtmada kullanılarak aktif sistemlerin bir uygulama alanı olmuştur. Kâğıt endüstrisi, kimya endüstrisi, termal güç santralleri, yiyecek endüstrisi ve benzeri çeşitli kaynaklarda ortaya çıkan atık ısı, güneş enerjili damıtma tesislerinin üretkenliğini artırmada değerlendirilebilir. Atık ısı ile elde edilen sıcak su doğrudan veya ısı değiştiricisi yardımıyla havzadaki suyun ısıtılmasında kullanılabilir (Sampathkumar vd., 2010).

Aktif güneş enerjili damıtıcılarda havza içerisindeki su derinliği artırıldıkça veya çeşitli kaynaklardan ilave termal enerji sağlandıkça gece üretimi de mümkündür. Havza içerisinde suyun kütlesi artırıldığında ısıl kapasitesi ve depoladığı enerji miktarı da artacağından gece saatlerinde bir miktar üretim yapmak mümkündür. Ancak havzanın izolasyonu iyi yapılmalıdır.

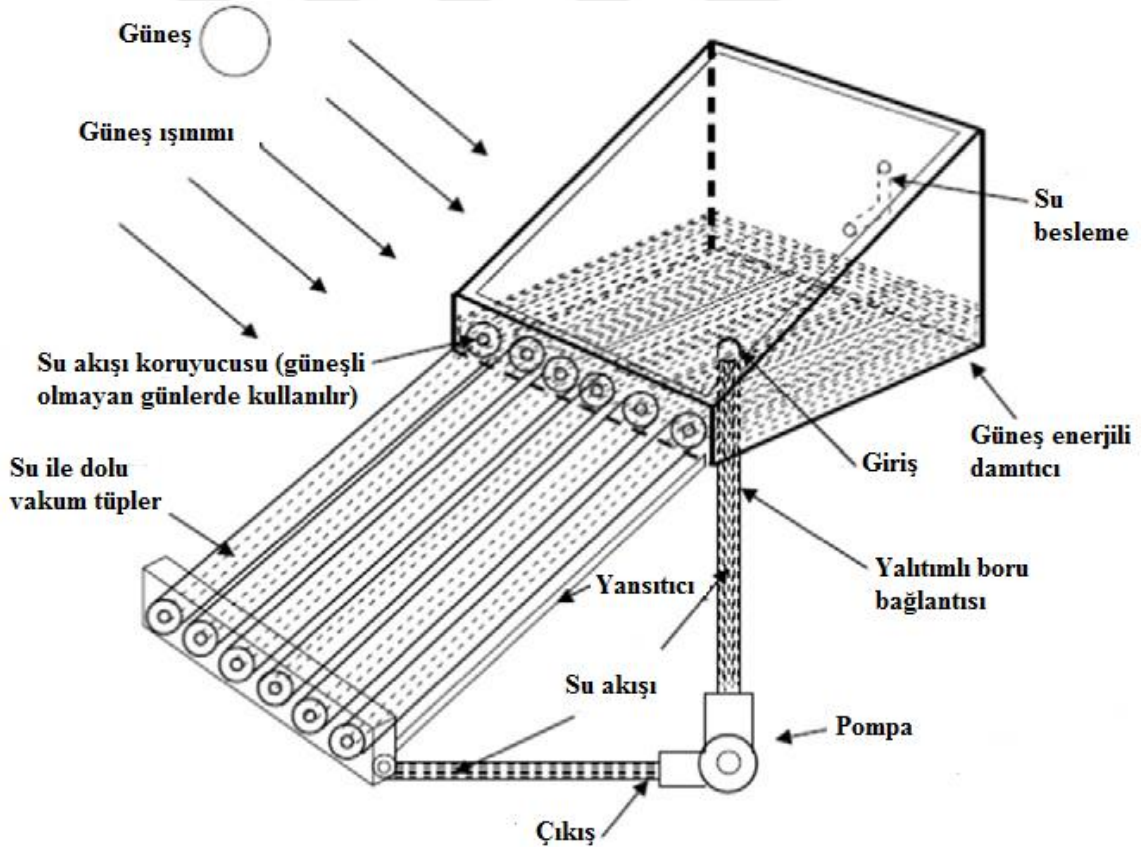
Aktif güneş enerjili damıtıcılar üretebildikleri tatlı su üretimi bakımından pasif güneş enerjili damıtıcılara göre daha iyi durumdadır. Damıtıcı verimini artırmak ve genellikle gün boyu üretim yapmak üzere tasarlanan bu sistemler alan bakımından fazla yer kaplamamasına karşın maliyetleri pasif sistemlere nazaran daha fazladır.

Güneş kolektörleri ile bütünleşik olarak tasarlanan aktif güneş enerjili damıtıcılarda, kolektör olarak düz levhalar, vakum tüpleri veya parabolik yansıtıcılar kullanılmaktadır. Bu sayede havza içerisine ilave termal enerji sağlanarak buharlaşma miktarı ve damıtıcının üretkenliği artırılmaktadır. Havza içerisine sağlanan ilave termal enerji doğrudan sağlanabildiği gibi bir ısı değiştirici yardımıyla akışkan teması olmadan da sağlanabilir. Isı değiştirici kullanımının önemli bir özelliği, akışkanların karışmasını engellediğinden kolektörler içerisinde farklı türde ısıtıcı akışkan kullanımına olanak sağlamasıdır. Böylece ısı iletim katsayısı yüksek çeşitli akışkanlar kullanılarak havza içerisine iyi düzeyde bir ısı transferi mümkün olmaktadır. Düz levha tipi kolektörlü aktif güneş enerjili damıtıcı Şekil 1.21’de verilmiştir.



Şekil 1.21. Düz levha tipi kolektörlü aktif güneş enerjili damıtıcı (Tiwari vd., 2009).

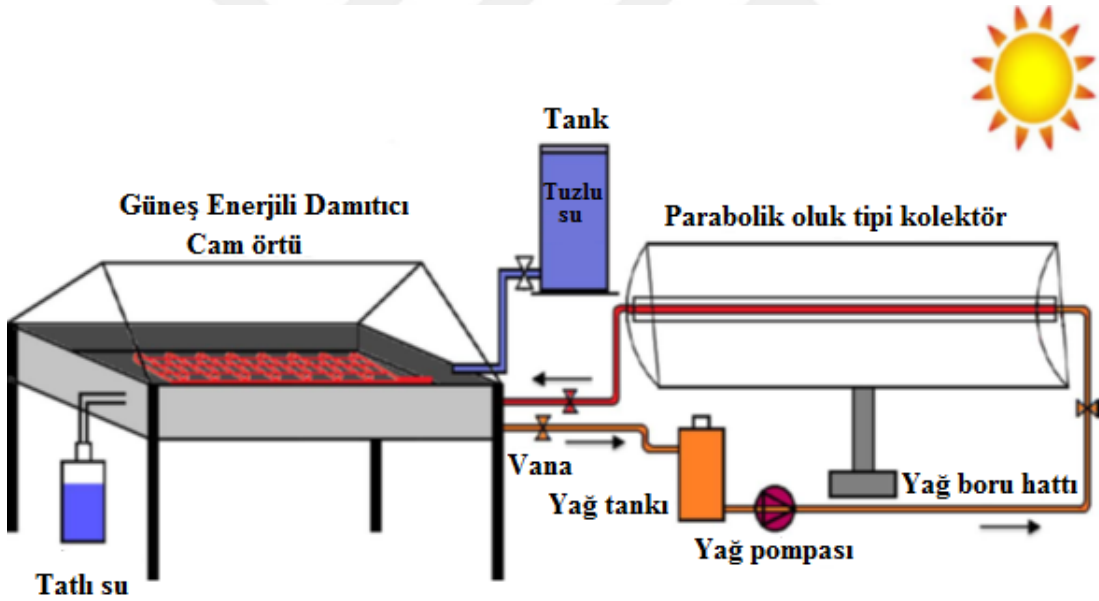
Vakum tüpler geometrik tasarımı nedeniyle güneşten her yönde gelen ışınımı soğurma özelliğine sahip olduğundan dolayı kullanım sıcak suyunun ısıtılmasında geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu avantaj güneş enerjili damıtıcıların performansını artırmak üzere de uygulama alanı bulmuştur. Vakum tüpü iç içe iki cam tüpten meydana gelir. Dış tüp darbelere ve ısıya dayanıklı borasilikat malzemeden imal edilir. İç tüp ise selektif yüzey kaplı (Al – N/Al) aynı malzemeden üretilir. İki cam tüp arasındaki hava vakumlanarak ısı kayıpları düşük seviyelere indirgenmektedir. Vakum tüpleri direkt-endirekt ve ısı borulu olmak üzere iki tiptir. Direkt akışlı vakum tüplerinde akışkan doğrudan vakum tüpü içerisinde dolaşırken, endirekt akışlı vakum tüplerinde akışkan vakum tüpü içerisinden geçirilen bakır boru içerisinde dolaşır. Isı borulu vakum tüplerinde ise sıvı-buhar faz değişimi ile ısı yüksek verimlilikle transfer edilir. Vakum tüp kolektörlü aktif güneş enerjili damıtıcı Şekil 1.22’de verilmiştir.



Şekil 1.22. Vakum tüp kolektörlü aktif güneş enerjili damıtıcı (Kumar vd., 2014).

Parabolik yansıtıcılar, yoğunlaştırıcı-yansıtıcı yüzey ve alıcı borudan oluşan kolektör sistemidir. Güneşten gelen ışınları doğrusal veya noktasal olarak odaklaması neticesinde yüksek sıcaklıklara çıkılmasına olanak sağlar. Bu sayede akışkana aktarılan enerji miktarı da artar. Yansıtıcı yüzey, güneş ışınlarını yansıtma oranı yüksek bir malzemedendir. Odağa yerleştirilen alıcı boru, emici boru ve cam örtüden meydana gelir. Emici boru soğurma oranı (α) yüksek bir malzeme ile kaplı selektif bir yüzeyden oluşur. Cam örtü ise emici borudan çevreye olan ısı kayıplarını azaltmak üzere kullanılır. Cam örtü ve emici boru ara yüzeyinin vakumlanması ile de ısı kayıpları belirli bir oranda düşer.

Parabolik yansıtıcılar, daha az toplaç alanına ihtiyaç duyması ve odaklama tekniği ile yüksek sıcaklık imkânı tanınması nedeniyle güneş enerjili damıtıcılarda uygulama alanı bulmuştur. Parabolik yansıtıcı ile bütünleşik çift eğimli bir damıtıcı Şekil 1.23’de verilmiştir.



Şekil 1.23. Parabolik oluk tipi kolektör ile bütünleşik çift eğimli bir damıtıcı (Fathy vd., 2018).

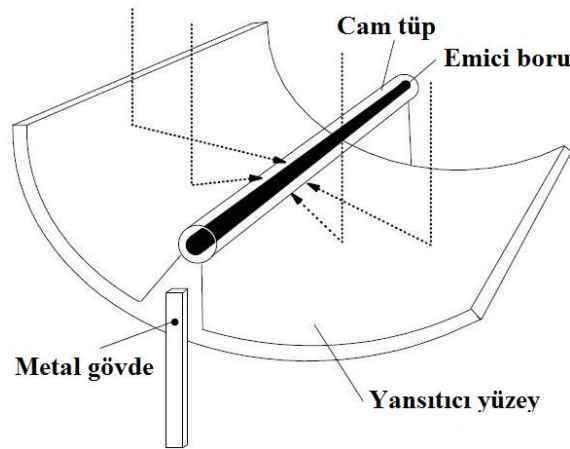
İlave termal enerjinin sağlandığı kolektörlerde dolaşan akışkanın sirkülasyonu doğal ve zorlanmış olarak gerçekleşebilmektedir. Sirkülasyonun sıcaklık farkı nedeniyle ortaya çıkan hareket neticesinde olması doğal, elektrik enerjisinin kullanıldığı bir pompa yardımıyla ortaya çıkan hareket neticesinde olması ise zorlanmış olarak tanımlanır. El (2013) tarafından yapılan çalışmada doğal ve zorlanmış taşınımlı sistemler

karşılaştırılmıştır. Zorlanmış taşınımında debi artışına bağlı olarak verimin arttığı gözlemlenmiştir.

1.7. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü

Yüksek sıcaklık enerji aktarımında talep edilen bir kavramdır. Isı kayıplarının meydana geldiği yüzeyler küçültülerek yüksek sıcaklıkta bir enerji aktarımı sağlanabilir. Yoğunlaştırıcı sistemler güneşten gelen ışınımı optik olarak doğrusal veya noktasal bir odak noktasında toplayarak yüksek sıcaklıkta enerji sağlarlar. Bu durum daha geniş emici yüzey alanıyla birlikte ısı kayıplarının nispeten daha fazla olduğu düz plakalı kolektörlere göre büyük bir avantaj sağlar. Bu nedenle yoğunlaştırıcı sistemler daha küçük emici yüzey alanının sağlamış olduğu daha düşük ısı kayıpları neticesinde akışkanlarda ısı aktarımı hususunda önemli bir uygulama alanı olmuştur.

Parabolik oluk tipi güneş kolektörü doğrusal yoğunlaştırma yapan ve parabolik bir kesite sahip sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemler arasında en fazla uygulama alanı bulan ve en kolay uygulanan tasarımdır. Soğurucu yüzey alanının küçük olması nedeniyle ısı kayıpları az, sadece direkt güneş ışınımından faydalanmaları nedeniyle optik kayıpları oldukça yüksektir (Çolak, 2003). Orta derece sıcaklık (100-300 °C) uygulamaları için kullanılan bu sistemlerde güneş bir doğru boyunca yoğunlaşacağından güneşi tek eksende izlemek yeterli olacaktır. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü şematik olarak Şekil 1.24'te verilmiştir.

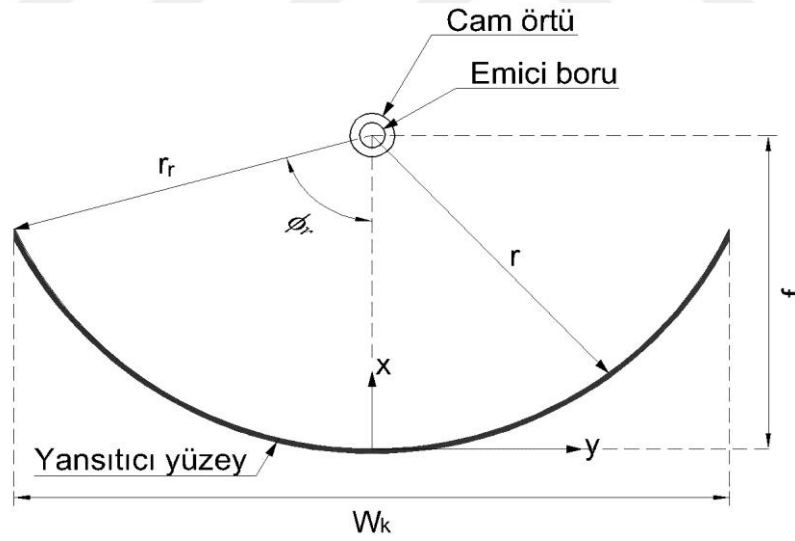


Şekil 1.24. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü (Çağlar ve Talay, 2019).

Parabolik oluk tipi güneş kolektörü yansıtıcı yüzey ve alıcı borudan meydana gelir. Alıcı boru yoğunlaştırılan güneş ışınımını soğuran selektif yüzeyli bir emici borudan ve onun dışını saran cam örtüden meydana gelir. Cam örtü ile emici boru ara yüzeyi vakumlanarak çevreye olan ısı kayıpları azaltılır.

1.7.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörünün Boyutlandırılması

Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün boyutlandırılmasında optik verimin yüksek olması amacıyla yansıtıcı yüzeyin tasarımı büyük önem taşır. Bunun yanında alıcı borunun yansıtıcı yüzeyden yansıyan ışınları toplayabilmesi ve yoğunlaştırmadan efektif yararlanılabilmesi açısından alıcı borunun tasarımına dikkat edilmelidir. Alıcı borunun bir parçası olan emici borunun, güneş ışınlarının tamamının üzerine düşmesinin sağlanması amacıyla optimum çapının belirlenmesi gerekir. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü kesiti ve tasarım parametreleri Şekil 1.25’de verilmiştir.



Şekil 1.25. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü kesiti ve tasarım parametreleri

Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün yüzey geometrisi aşağıda verilen denklemden elde edilir.

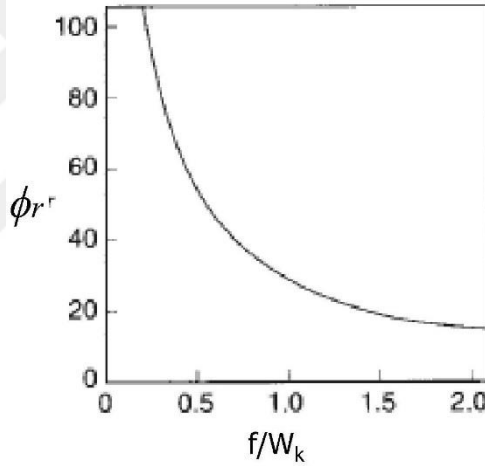
$$f = \frac{y^2}{4x} \quad (1.1)$$

Burada x ve y eksenlere olan uzaklıkları, f ise odak uzaklığını ifade etmektedir. Kenar açısı ϕ_r (Duffie ve Beckman, 2013),

$$\phi_r = \tan^{-1} \left[\frac{8 * \left(\frac{f}{W_k} \right)}{16 * \left(\frac{f}{W_k} \right)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \frac{W_k}{2r_r} \quad (1.2)$$

olarak tanımlanır. Burada W_k kolektör açıklığı, f odak uzaklığı, r_r ise maksimum yansıtıcı yüzey yarıçapıdır.

Kolaylık olması açısından, ϕ_r , f/W_k 'nin bir fonksiyonu olarak Şekil 1.26'da verilmiştir.



Şekil 1.26. Odak uzaklığı/kolektör açıklığı'nın bir fonksiyonu olarak kenar açısı (Duffie ve Beckman, 2013).

Parabolik yüzeyin herhangi bir noktasındaki yerel yansıtıcı yarıçapı r (Duffie ve Beckman, 2013),

$$r = \frac{2f}{1 + \cos \phi} \quad (1.3)$$

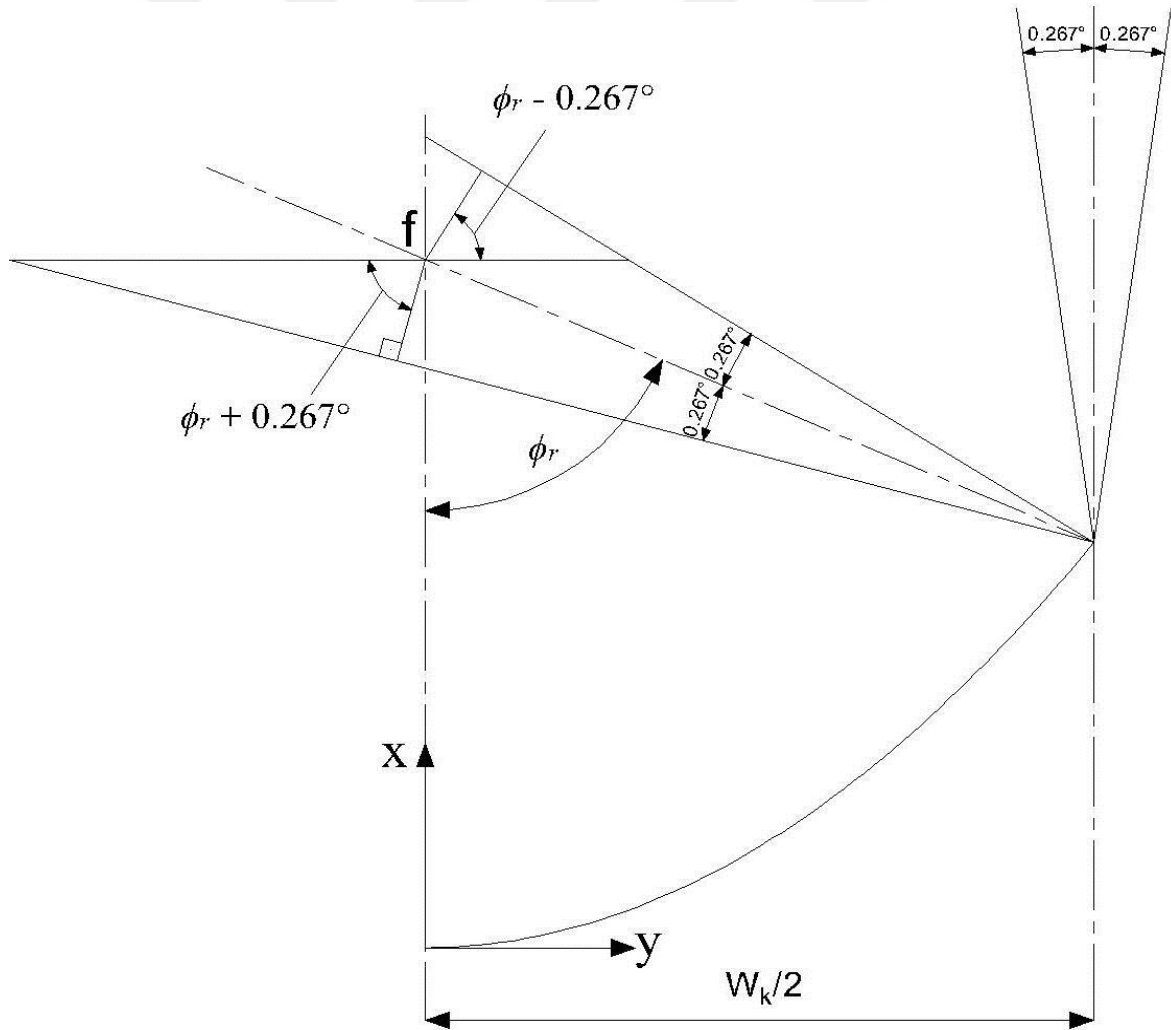
olarak tanımlanır.

Şekil 1.25'te geometriden maksimum yansıtıcı yüzey yarıçapı r_r ,

$$r_r = \frac{W_k/2}{\sin \phi_r} \quad (1.4)$$

olarak bulunur.

Güneş ışınları yansıtıcı yüzeye Şekil 1.27'de görüldüğü gibi $\theta_s = 0,53^\circ$ açısal genişlikte bir koni biçiminde gelir ve parabolik yüzeyin normali doğrultusunda emici boruya yansır (Duffie ve Beckman, 2013). Optik verimin artırılması amacıyla güneş ışınlarının tamamının aksenel odak doğrultusunda bulunan emici boru üzerine yoğunlaştırılması gerekir.



Şekil 1.27. Doğrusal bir parabolik yoğunlaştırıcı kesiti (Duffie ve Beckman, 2013).

Emici boru için gerekli minimum boru çapı (Çolak, 2003),

$$D_{min} = \frac{W_k}{\sin \phi_r} \sin \theta_s \quad (1.5)$$

olarak tanımlanır. Burada W_k kolektör açıklığı, θ_s güneş ışınlarının yansıtıcı yüzeye gelen koniklik açısı ($\theta_s = 0,53^\circ$) ve ϕ_r kenar açısıdır.

Yoğunlaştırıcı sistemlerin kullanım alanların belirlenmesinde ‘yoğunlaştırma oranı’ olarak tabir edilen bir kavram kullanılır. Yoğunlaştırma oranı (C), yansıtıcı yüzey açıklık alanının (A_y) alıcı yüzey alanına (A_a) oranı olarak tanımlanır. Yoğunlaştırma oranı C,

$$C = \frac{A_y}{A_a} \quad (1.6)$$

Düz plakalı kolektörler için yoğunlaştırma oranı $C=1$ ve yoğunlaştırıcı sistemler için $C > 1$ ’dir.

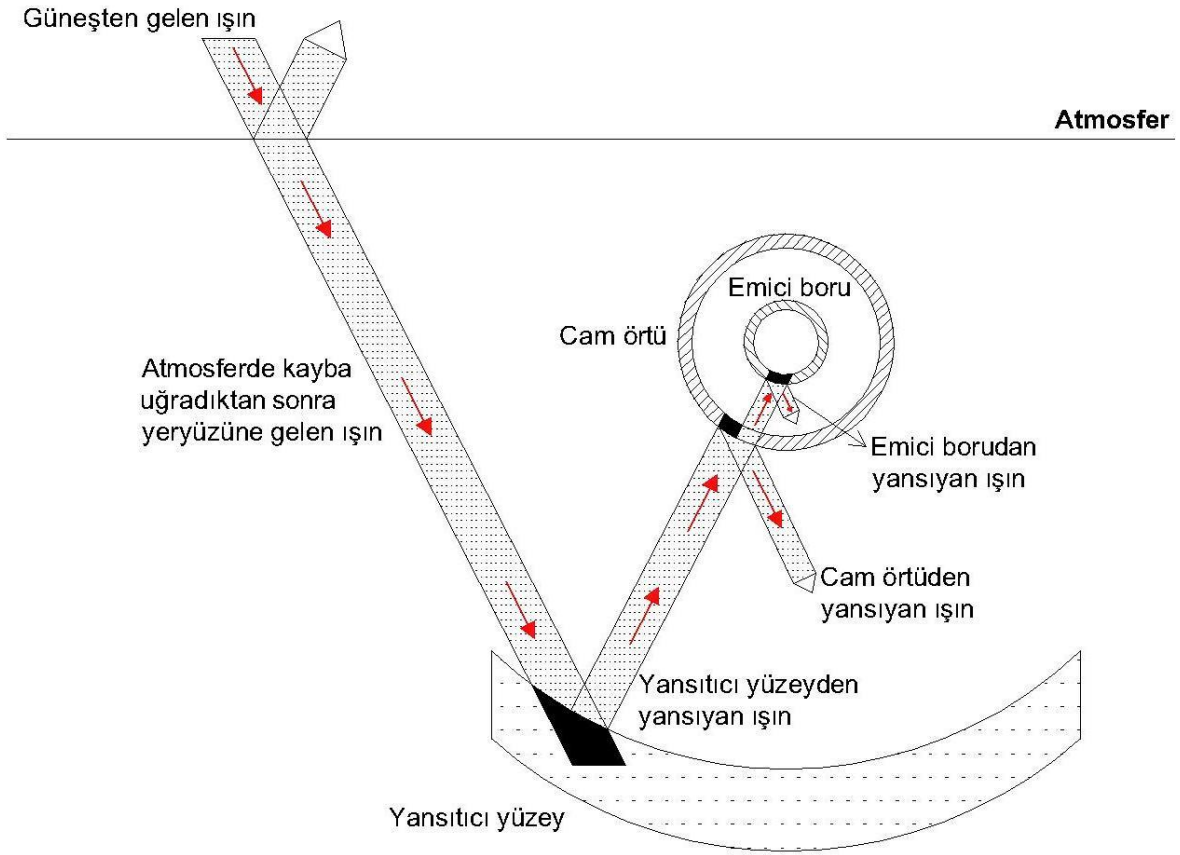
Kolektörün termal verimi de kolektörde dolaşan akışkanın giriş (T_g) ve çıkış (T_ζ) sıcaklıkları ölçülerek belirlenebilir. Termal verim,

$$\eta = [\dot{m} \times c_p \times (T_\zeta - T_g)] / [A_y \times I] \quad (1.7)$$

olarak tanımlanır. Burada \dot{m} kolektörde dolaşan akışkanın kütleli debisi, c_p akışkanın özgül ısısı, T_g ve T_ζ sırasıyla giriş ve çıkış sıcaklıkları, A_y yansıtıcı yüzey açıklık alanı ve I yansıtıcı yüzey açıklık alanına gelen güneş ışınımı değeridir.

1.7.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Optik Kayıp

Güneş ışınımı atmosferde ve kolektör sistemi bileşenlerinde kayıplara uğrayarak akışkana iletilir. Atmosferik koşullar kontrol edilemeyen parametreler olduğundan optik kayıplarla ilgili bir iyileştirme yapmak oldukça güçtür. Özellikle kolektör sisteminin boyutlandırılmasında ve malzeme seçiminde optik kayıpların en aza indirgenmesi esas alınarak tasarım ve hesaplamalar yapılır.



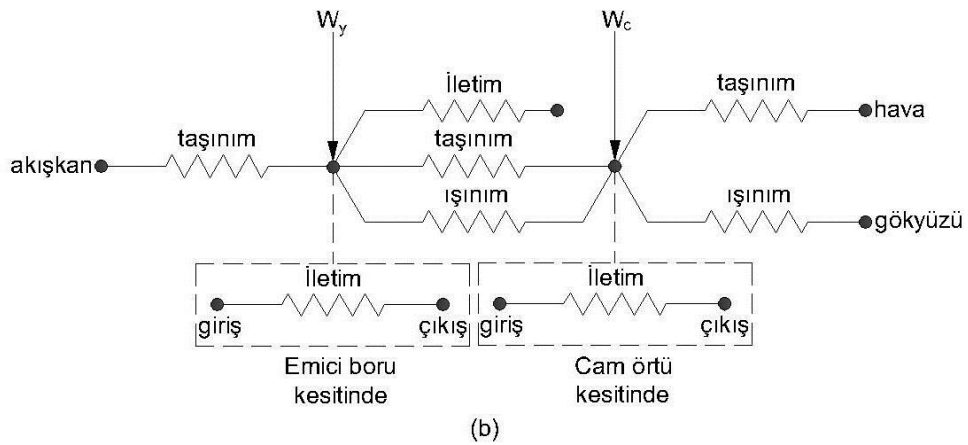
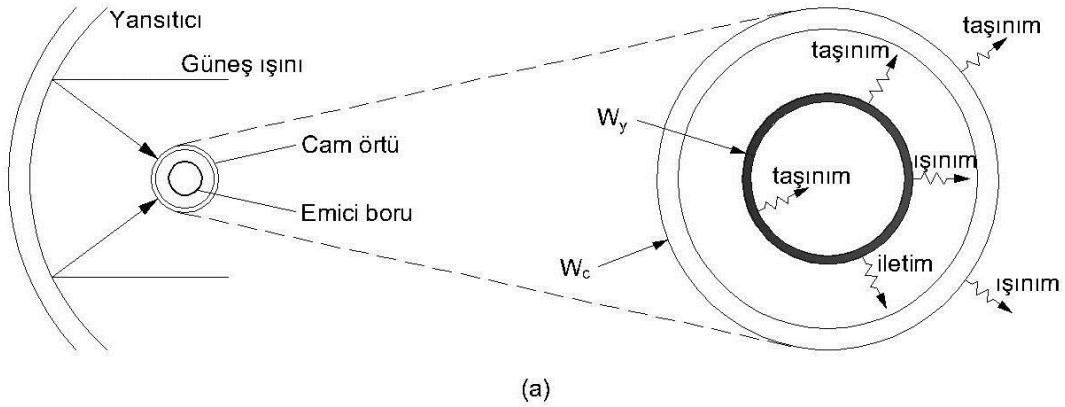
Şekil 1.28. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ışın transfer şeması (Şanlı, 2010).

Şekil 1.28’de görüldüğü üzere güneşten gelen ışınların bir kısmı atmosferden geri yansır. Parabolik yüzeye gelen ışınların, yansıtıcı yüzey malzemesinin yansıtma (ρ) ve soğurma (α) oranlarına bağlı olarak bir kısmı yansıtılırken bir kısmı soğurulur. Yansıtıcı yüzey malzemesinin yansıtma oranının yüksek olması istenir. Yansıtıcı yüzey üzerinden alıcı boruya yoğunlaştırılan ışınlar öncelikle cam örtüye gelir. Cam örtü için seçilen malzemenin kısa dalga boylu ışınları geçirme oranı (τ) yüksek, emici borudan yayılan uzun

dalga boylu ışınları geçirme oranı (τ) düşük olmalıdır. Cam örtüyü geçen ışınlar emici boruya ulaşır. Emici borunun yansıtma (ρ) ve soğurma (α) oranlarına bağlı olarak bir kısmı yansıtılırken bir kısmı soğurulur. Emici boru malzemesi soğurma oranı yüksek ve yansıtma oranı düşük selektif yüzeyle bir malzeme ile kaplı olmalıdır. Ayrıca yüzeyin yayıcılığı (ϵ) da iyi düzeyde olmalıdır. Emici boru tarafından soğurulan ışınların enerjisini akışkana aktarılır.

1.7.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektöründe Isıl Kayıp

Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün tasarımı ısı kayıplar açısından son derece önemlidir. Özellikle emici borunun optimum çapının belirlenmesi ile güneş ışınlarını yakalamak daha kolay olacaktır. Güneş ışınları emici boru tarafından soğurulur ve sıcaklığı yükselir. Emici boru tarafından soğurulan enerji akışkana iletilirken bir yandan da çevre ile olan sıcaklık farkından dolayı çevreye doğru bir ısı transferi söz konusudur.



Şekil 1.29. Isıl kayıplar; (a) akışkandan çevreye olan ısı transferi ve (b) ısı direnç ağı (Liang vd., 2015).

Şekil 1.29'da W_y yansıtıcı yüzey tarafından yoğunlaştırılan ve emici boru tarafından soğurulan güneş ışınımını, W_c ise cam örtü tarafından soğurulan (cam örtünün soğurma oranı oldukça küçüktür) güneş ışınımını ifade etmektedir. Akışkandan çevreye olan ısı transferi; akışkanla emici boru arasında taşınım, emici boru cidarında iletim, emici boru ile cam örtü arasında iletim, taşınım ve ışınım (cam örtü ile emici boru ara yüzeyindeki hava vakumlanarak alınmışsa iletim ve ışınım, alınmamışsa taşınım ve ışınım), cam örtü cidarında iletim ve cam örtü ile çevre arasında taşınım ve ışınım şeklinde olmaktadır.

Emici boru ile cam örtü arasında ısı transferi taşınım ve ışınım mekanizmalarıyla gerçekleşir. Taşınım ile olan ısı transferi boşluktaki basınca bağlıdır. Basıncın 0,133 kPa değerinden küçük olması durumunda moleküler iletim, 0,133 kPa değerinden büyük olması durumunda ise doğal taşınım söz konusu olacaktır (Forristall, 2003). Mhmoud (2012) yaptığı deneysel çalışmalarda, emici boru ile cam örtü arasında vakum uygulanmasının ısı geçiş katsayısını düşürdüğünü gözlemlemiştir.

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe meydana gelen ısı kayıpları etkileyen faktörler (Şanlı, 2010):

- Çevre sıcaklığı
- Rüzgâr hızı
- Akışkan özellikleri (sıcaklık, basınç, viskozite vb.)
- Kolektöre gelen direkt güneş ışınım şiddeti
- Kolektör boyutları
- Cam örtünün özellikleri
- Emici boru özellikleri (selektif yüzey ile kaplı olması, ısı iletim katsayısı, cidar kalınlığı vb.)

Isıl kayıpların daha çok alıcı boru (cam örtü-emici boru) kısmında olduğu görülmektedir. Emici boru ile çevre arasında sıcaklık farkı arttıkça ısı kayıplar artmaktadır.

1.8. Literatürde Damıtıcı Sistemler Üzerine Yapılan Çalışmalar

Abujazar vd. (2018) eğik bakırdan imal kademeli bir damıtıcının verimliliği üzerine teorik ve deneysel çalışma yapmıştır. Eğik tepsiler sistemin verimliliğini artırmak üzere kullanılmıştır. Deneysel veriler teorik modeli test etmek için kullanılmıştır ve sonuçların deneysel ve teorik veriler arasında iyi düzeyde kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Taşınım,

buharlaşma ve ışıma ile olan ısı transfer katsayıları ile su üretkenliği ve verimlilik her bir saat için hesaplanmıştır. Eğik bakırdan imal kademeli bir damıtıcının saatlik maksimum üretkenliği teorik olarak 474 ml/m^2 ve deneysel olarak 605 ml/m^2 olarak elde edilmiştir. Eylül-Aralık 2016 döneminde günlük verimliliğin %28,33 ile %29,5 arasında değiştiği ortaya koyulmuştur. Ayrıca ışımayla olan ısı transfer katsayısının taşınım ile olan ısı transfer katsayısından büyük olduğu ve buharlaşma ile olan ısı transfer katsayısının en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Arun ve Sreekumar (2018) parabolik oluk tipi güneş kolektörlü bir tuzdan arındırma sisteminin modellenmesi ve performansının değerlendirilmesi üzerine deneysel çalışma yapmıştır. Sistemi, güneş ışınımından efektif olarak yararlanmak için güneş takipli olarak ve yatay olarak kuzey-güney yönünde konumlanacak şekilde tasarlamışlardır. Parabolik kolektörün performansının değerlendirilmesinde paslanmaz çelikten ve cam örtü ile kaplı bakır malzemeden imal borudan oluşan farklı alıcı borular kullanılmıştır. Deneyslerde parabolik oluk tipi güneş kolektörünün performansının önemli derecede güneş takip sistemine ve odaktaki alıcı boruya bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Cam örtü ile kaplı alıcı boruda maksimum sıcaklığın 103°C 'ye, paslanmaz çelikten alıcı boruda ise maksimum sıcaklığın 75°C 'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Cam örtü ile kaplı alıcı boru, bakır malzeme kullanılması nedeniyle yüksek termal iletkenliğe ve örtü sayesinde ise düşük taşınım sal kayıplara imkân tanımıştır. Sistemin üretim miktarının 2 l/m^2 ve veriminin %12,74 olduğu hesaplanmıştır. Laboratuvar raporlarına göre tuzdan arındırılmış damıtık suyun bakterisiz ve insan tüketimine uygun olduğu ortaya koyulmuştur.

Aybar vd. (2005) 30° eğik güneş enerjili damıtıcıda yaptıkları çalışmada, emici yüzey alanının $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ olduğu, emici yüzey malzemesi olarak galvaniz çelik üzeri mat siyah boya (soğurma oranı 0,96 ve yayıcılık 0,08) uygulandığı, cam örtü malzemesi olarak geçirgenlik oranı 0,88 olan bir camın kullanıldığı ve 11 mm çapında uzunlamasına 2 mm yarığa sahip bir dağıtım borusu ile yüzeye suyun aktarıldığı bir eğik damıtıcı tasarlamışlardır. Damıtıcı yüzeyinin çıplak, siyah kumaş ve siyah yün fitil ile kaplı olması durumlarını incelemişlerdir. Üç farklı durum için deneyler 09:00-16:00 saat aralığında 17-30 Mayıs 2004 tarihleri arasında dörder kez tekrarlanmıştır. Deneyslerde çevre havası sıcaklığı $25-26^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüş ve ortalama güneş ışınımını $400-500 \text{ W/m}^2$ olarak meteorolojik verilerden alınmıştır. Yüzeyin çıplak olması durumunda ortalama 1079 ml , siyah kumaş ile kaplı olması durumunda ortalama 1339 ml ve siyah yün ile kaplı olması durumunda ortalama 2799 ml

tatlı su üretimi gözlemlenmiştir. Tatlı su üretiminde fitil kullanımının çıplak plakaya göre 2-3 katı bir üretim sağladığı sonucu ortaya çıkarılmıştır.

Chaouchi vd. (2007) laboratuvarlarında tuzlu suyun tuzdan arındırılması amacıyla küçük ölçekte parabolik güneş yoğunlaştırıcısı ile bütünleşik bir damıtıcı tasarlamışlardır. Yoğunlaştırıcı çıkışında ilave bir dış yoğunlaştırucu ile yoğunlaşma sağlanmış ve damıtılmış su elde edilmiştir. Bu sistemin performansını değerlendirmek üzere emici yüzey ortalama sıcaklığına ilaveten güneş akısının bir fonksiyonu olarak damıtılmış su miktarını hesaplamak için teorik bir model geliştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar teorik hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır. Emici yüzey ortalama sıcaklığında küçük bir fark bulunmuştur. Diğer yandan damıtılmış su miktarında %42 oranında bir bağıl hata bulunmuştur. Bunun paraboloid geometrideki kusurlardan, güneşi manuel takip etmekten ve emici yüzeyi her zaman tuzlu su ile kaplı tutmayı mümkün kılmayan sistemin eğimindeki değişimlerden kaynaklandığına değinmişlerdir. Sonuçlar araştırmacılara endüstriyel ölçekte bir tuzdan arındırma birimini geliştirmek için başlangıç noktası olmuştur.

Cingiz (2007) havuz (havza) tipi damıtıcı üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarda çift eğimli, tek eğimli ve silindirik formda yoğunlaşma örtüleri kullanmıştır. Ayrıca tek eğimli ve çift eğimli yoğunlaşma örtülerine sahip damıtma havuzlarını güneş kolektörü ile bütünleştirerek deneyler yapmıştır. Tüm deneylerde sistemi etkileyen parametreleri incelemiştir. Su kirlendikçe sistemin veriminin olumsuz etkilendiği, tuzlu suyun tatlı suya göre daha az buharlaştığı, rüzgâr hızının örtü içerisindeki su sıcaklığını düşürdüğü, derinliği az olan havuzda ısı sığasının daha düşük olması ve suya aktarılan enerjinin aynı olması nedeniyle su sıcaklığının daha yüksek olduğu, ılıman iklimlerde tek eğimli yoğunlaşma örtüsünün çift eğimli yoğunlaşma örtüsüne göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen damıtılmış su ters ozmozdan geçirilerek fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmış ve genel içme suyu standartlarına yakın değerler elde edilmiştir.

El (2013) sıcak su kolektörü ile birleştirilmiş damıtma sistemi üzerine yaptığı çalışmada, doğal ve cebri sistemleri karşılaştırmıştır. Kolektör veriminin doğal taşınımında %57,47 ve zorlanmış taşınımında ise debi artışına bağlı olarak %68,02 ile %75,57 değiştiğini gözlemlemiştir. Havuz tipi damıtıcıdaki su seviyesine bağlı olarak yaptığı verim tespitine ilişkin deneylerde ise, su derinliği azaldıkça damıtılan su miktarının arttığını gözlemlemiştir.

Essa vd. (2015) yaptıkları çalışmada aynı metalürjik koşullar altında geleneksel havza tipi damıtıcı ile oluklu fitilli tip bir damıtıcının performansını karşılaştırmıştır. Oluklu fitilli tip damıtıcı havza içerisine yerleştirilen yansıtıcılar ve havza dışına yoğunlaştırucu ilave

edilerek modifiye edilmiştir. Ayrıca farklı tipte nanoakışkanlar tuzlu su çözeltisi içerisine eklenmiştir. Tuzlu su derinliğinin (1, 2 ve 3 cm) oluklu fitilli tip damıtıcı üzerine etkisi incelenmiştir. Yaptıkları deneyler sonucunda havza içerisinde vakumlanarak buharın dış yoğunlaştırıcıya alınması ile geleneksel damıtıcıya göre üretkenlikte %180 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca bakır ve alüminyum oksit nanoparçacıklarının oluklu fitilli tip damıtıcıda vakum sağlanması halinde üretkenlikte sırasıyla yaklaşık %285,10 ve %254,88 oranında bir artış meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Su derinliğinin artmasıyla birlikte artış yüzdelere de azaldığı görülmüştür.

Fathy vd. (2018) yaptıkları çalışmada parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile birleşik çift eğimli havuz tipi bir damıtıcının performansını deneysel olarak incelemiştir. Parabolik kolektörde elde edilen enerji havuz tipi damıtıcı zeminine yerleştirilen kanatçıklı borulu tip bir eşanjör ile havzadaki suya transfer edilmiştir. Isı transfer akışkanı olarak yoğunluğu 850 kg/m^3 , ısı iletkenliği $0,14 \text{ W/mK}$, özgül ısısı (c_p) $1966 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ve kaynama sıcaklığı 266°C olan termal yağ kullanılmıştır. Deneyler geleneksel damıtıcı, parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtıcı ve güneş takipli parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtıcı üzerine yapılmıştır. Su derinliğinin 20 mm ve 30 mm olmasına göre ölçümler yapılmıştır. 20 mm tuzlu su derinliğinde günlük tatlı su üretiminin yazın ve kışın sırasıyla geleneksel bir damıtıcıda $4,51\text{-}2,31 \text{ kg/m}^2$, parabolik kolektör ile bütünleşik havuz tipi damıtıcıda $8,03\text{-}4,03 \text{ kg/m}^2$ ve güneş takip sistemli parabolik kolektör ile bütünleşik havuz tipi damıtıcıda $10,93\text{-}5,11 \text{ kg/m}^2$ olduğu görülmüştür. Yazın verimliliğin kıştan daha iyi olduğu ve ayrıca yaz döneminde günlük verimliliğin 20 mm ve 30 mm tuzlu su derinliği için sırasıyla geleneksel bir damıtıcıda %36,87-%31,19 ve parabolik kolektör ile bütünleşik damıtıcıda %23,26-%19,40 olduğu gözlemlenmiştir.

Hassan vd. (2019) tuzlu su ortamının güneş takip sistemine sahip parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik bir damıtıcı performansı üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çift eğimli bir damıtma havzası içerisinde saf tuzlu su, çelik tel örgü ve tuzlu suyu ile doyurulmuş kum olacak şekilde üç farklı tuzlu su ortamı oluşturulmuştur. Bu üç ortamın tatlı su üretimine etkisi geleneksel damıtıcı ve güneş takip sistemine sahip parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtıcı (modifiye sistem) üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca çalışmayı soğuk iklimde (kışın) ve sıcak iklimde (yazın) yapmışlardır. Araştırmaları, modifiye edilmiş sistem için çelik tel örgü ve kumun kullanıldığı tuzlu su ortamında günlük tatlı su üretiminin kışın sırasıyla yaklaşık %3,1 ve %13,7, yazın ise sırasıyla yaklaşık %3,4 ve %14,1 oranında ortaya koymuştur. Ayrıca, modifiye sistem için çelik tel örgü ve kumun

kullanıldığı tuzlu su ortamında sistem verimliliğinin yazın sırasıyla %3,3 ve %15,3, kışın ise sırasıyla %3,9 ve %13,8 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Tatlı su üretim maliyeti kum ve çelik tel örgü kullanılarak azaltılmıştır.

Kumar vd. (2014) Yeni Delhi'nin (Hindistan) iklim koşullarında vakum tüplü kolektör ile bütünleşik tek eğimli bir havuz tipi damıtıcının performansını tahmin etmek için çalışma yapmıştır. Havzadaki su derinliğinin 0,01 m ve kütleli debinin 0,006 kg/s olması halinde günlük tatlı su üretiminin 3,47 kg olduğu görülmüştür. Fakat, optimum performans kütleli debinin 0,06 kg/s ve havzadaki su derinliğinin 0,03 m olduğu durumda ortaya çıkmıştır. Tipik bir yaz gününde optimum günlük üretim 3,9 kg, enerji ve ekserji verimlilikleri ise sırasıyla %33,8 ve %2,6 olarak elde edilmiştir.

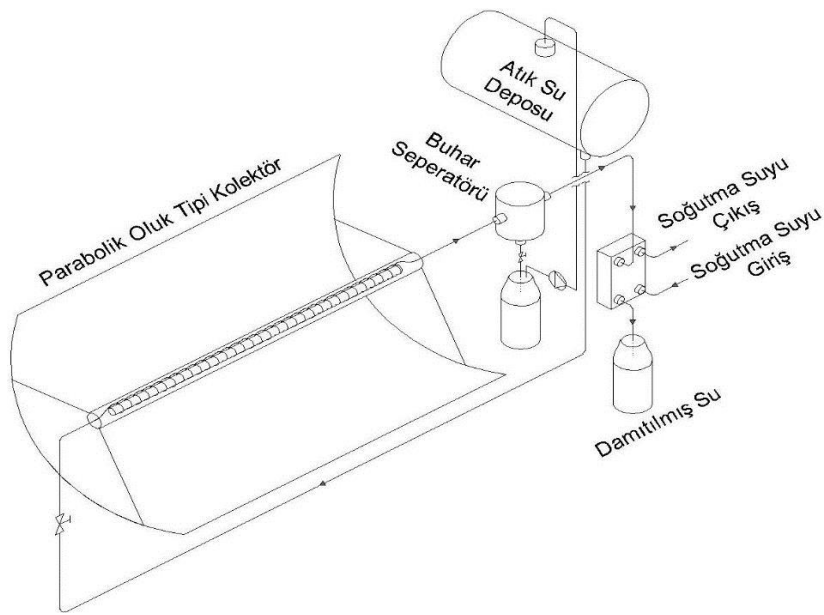
Kumar vd. (2020) yaptıkları çalışmada parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik tek eğimli havuz tipi bir damıtıcının farklı tuzlu su derinlikleri (5 cm, 10 cm, 15 cm) açısından performansını incelemiş ve mali analizini yaparak sistemin geri ödeme süresini hesaplamıştır. 5 cm, 10 cm ve 15 cm tuzlu su derinliklerinde günlük üretim sırasıyla 4,1 l/m², 3,645 l/m², 3,2 l/m² olarak elde edilmiştir. Enerji verimliliği açısından ise 5 cm, 10 cm ve 15 cm tuzlu su derinliklerinde sırasıyla %16,6, %13,7 ve %12,2 verim elde edilmiştir. Sistemin geri ödeme süresi 5 cm, 10 ve 15 cm derinliklerinde 246 gün, 253 gün ve 341 gün olarak hesaplanmıştır.

Muftah vd. (2018) kademeli bir havzaya sahip güneş enerjili damıtıcı üzerinde soğurma, buharlaşma ve yoğuşma süreçlerini geliştirmek üzere literatürden farklı olarak iç ve dış reflektörler, soğurucu malzemeler (kanatçıklar) ve dış yoğuşturucu ilavesi ile performansı geliştirmeyi düşünmüştür. Eski ve yeni tasarımı karşılaştırmak için enerji dengesi modeli geliştirilmiştir. Enerji dengesi sonuçları; emici plaka, tuzlu su ve cam örtünün enerji dengesi eşitlikleri çözülerek elde edilmiştir. Bu amaçla, tuzlu su ve cam örtü arasındaki sıcaklık farkı, buharlaşma/taşınım/ışınım ile ısı transfer katsayıları, damıtıcı üretkenliği ve verimliliği gibi parametreler karşılaştırılmıştır. Değerlendirilen parametrelerin saatlik değerlerinin eski tasarımların oldukça üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu artış istatistiksel olarak t-test yöntemi ile eski ve yeni modifikasyon üzerinde bu parametrelerin her biri değerlendirilerek incelenmiştir. Test sonuçları önemli derecede bir artışın olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, modifikasyondan sonra kademeli güneş enerjili damıtıcının günlük üretkenliğinin 6,9 kg/m² den 8,9 kg/m² ye çıktığı ve bunun %29 oranında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında içerisinde çeşitli çözünebilir ve sağlığa zararlı veya belirli limitler dışında sağlığa zararlı olabilecek maddeleri ihtiva eden atık suların (deniz suyu) yoğunlaştırılmış güneş enerjisi yardımıyla damıtılarak, bu maddelerden arındırılması deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma, deniz seviyesinde 41° enlem ve 39° boylam koordinatlarında, 1394 kWh/m^2 -yıl toplam güneş ışınım değeri ve 2132 saat-yıl güneşlenme süresi bulunan Trabzon ilinde yapılmıştır.

Deneysel çalışmada güneşin yoğunlaştırılması amacıyla eksenal bir odak doğrultusuna sahip olan parabolik oluk tipi güneş kolektörü kullanılmıştır. Eksenal odağa yerleştirilen alıcı boru ile buharlaşma prosesi, ısı değiştiricisi yardımıyla yoğunlaşma prosesi sağlanmıştır. Yoğunlaşma işlemi sırasında akışkanın ısı değiştirici yüzeyleri nedeniyle kirlenmesini önlemek amacıyla paslanmaz çelikten imal plakalı tipte eşanjör kullanılmıştır. Sistemin anlık hava değişimlerinden etkilenmesini önlemek, eşanjör girişinde akışkanın buhar fazında sürekliliğini sağlamak amacıyla, alıcı boru çıkışıyla eşanjör girişi arasına buhar seperatörü monte edilmiştir. Buhar seperatöründe biriken yüksek sıcaklıklı sıvı bir kaba alınmış, tekrar sisteme kazandırılmak amacıyla seviye sensörlü bir pompa kullanılarak kaptan depolama tankına iletilmiştir. Sistem şematik olarak Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Sistemin şematik görünümü

Deneyleer sırasında, solarimetre kullanılarak güneş ışınımı değerleri, termoeleman kullanılarak yansıtıcı yüzey sıcaklığı ve alıcı boru giriş-çıkış sıcaklıkları, dijital termometre kullanılarak odak noktası sıcaklığı ölçülmüştür.

2.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü Tasarımı

Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri orta sıcaklıklı sistemler olup, güneş ışınlarını eksenel bir odak doğrultusunda bulunan alıcı boru üzerinde yoğunlaştırarak odakta 60-400 °C sıcaklığa kadar ulaşabilir. Yansıtıcı yüzey üzerine düşen güneş ışınları, yüzey malzemesinin ışınları yansıtma ve soğurma oranlarına bağlı olarak eksenel odak doğrultusu boyunca uzanan alıcı boru üzerine optik olarak yansıtılır. Optik verimin yüksek olması amacıyla yansıtıcı yüzeyin geometrik tasarımına dikkat edilmelidir. Alıcı boru, soğurma oranı yüksek bir malzeme ile kaplı bir emici boru ve onun üzerini kaplayan ısıya dayanıklı bir cam örtüden oluşmaktadır. Cam örtü, eksenel odak doğrultusunda yoğunlaştırma sonucu sıcaklığı yükselen borudan, çevreye olan ısı kayıplarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

Yoğunlaştırıcı sistemler, yansıtıcı ve alıcı parçalardan oluşur. Kullanım alanları, yoğunlaştırma oranı olarak tabir edilen bir parametreye göre belirlenir (Tablo 2.1).

$$C = \text{Yansıtıcı yüzey açıklık alanı} / \text{Alıcı yüzey alanı} \quad (2.1)$$

Tablo 2.1. Güneş enerjisi kolektörleri (Kalogirou, 2014)

Hareket	Kolektör tipi	Alıcı tipi	Yoğunlaştırma oranı	Sıcaklık aralığı (°C)
Durağan	Düz plakalı kolektör	Düz	1	30-80
	Bileşik parabolik kolektör	Tüp	1-5	60-240
Tek eksenli izleme	Doğrusal Fresnel yansıtıcı	Tüp	10-40	60-250
	Silindirik oluk kolektör	Tüp	15-50	60-300
	Parabolik oluk kolektör	Tüp	10-85	60-400
İki eksenli izleme	Parabolik çanak yansıtıcı	Nokta	600-2000	100-1500
	Helyostat alan kolektörü	Nokta	300-1500	150-2000

2.1.1. Yansıtıcı Yüzey Malzemesi Seçimi

Yüzey üzerine gelen ışınımın; bir kısmı soğurur, bir kısmı yansır ve bir kısmı da yüzeyden geçer. Burada soğurma oranı, α , yansıtma oranı, ρ ve geçirme oranı, τ olarak tanımlanır ($\alpha + \rho + \tau = 1$).

Katı ve sıvılar için: $\alpha + \rho = 1$

Gazlar için: $\alpha + \tau = 1$

Yansıtıcı yüzey için yansıtma oranı (ρ) yüksek ve soğurma oranı (α) düşük katı bir yüzey seçilmelidir. Yansıtıcı yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve yansıtma oranları Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Yansıtıcı yüzey malzemeleri ve yansıtma oranları (Çolak, 2003)

Yansıtıcı Yüzey Malzemesi	Yansıtma Oranı (ρ)
Gümüş	0,94 ± 0,02
Altın	0,76 ± 0,03
Alüminyum kaplı akrilik	0,86
Alüminyum	0,82 ± 0,05
Bakır	0,75
Parlatılmış krom sac	0,88
Arkası gümüş kaplı su beyazı cam (ayna)	0,88
Özel cilalanmış ince alüminyum tabaka (Alanod)	0,9

Bu çalışma kapsamında yansıtma oranının yüksek ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle gümüş varak alüminyum folyo (net ayna görünümlü) kullanılmıştır. Seçilen malzeme 1 mm galvaniz sac üzerine yapıştırılarak yansıtıcı yüzey oluşturulmuştur.

2.1.2. Yansıtıcı Yüzey Tasarımı

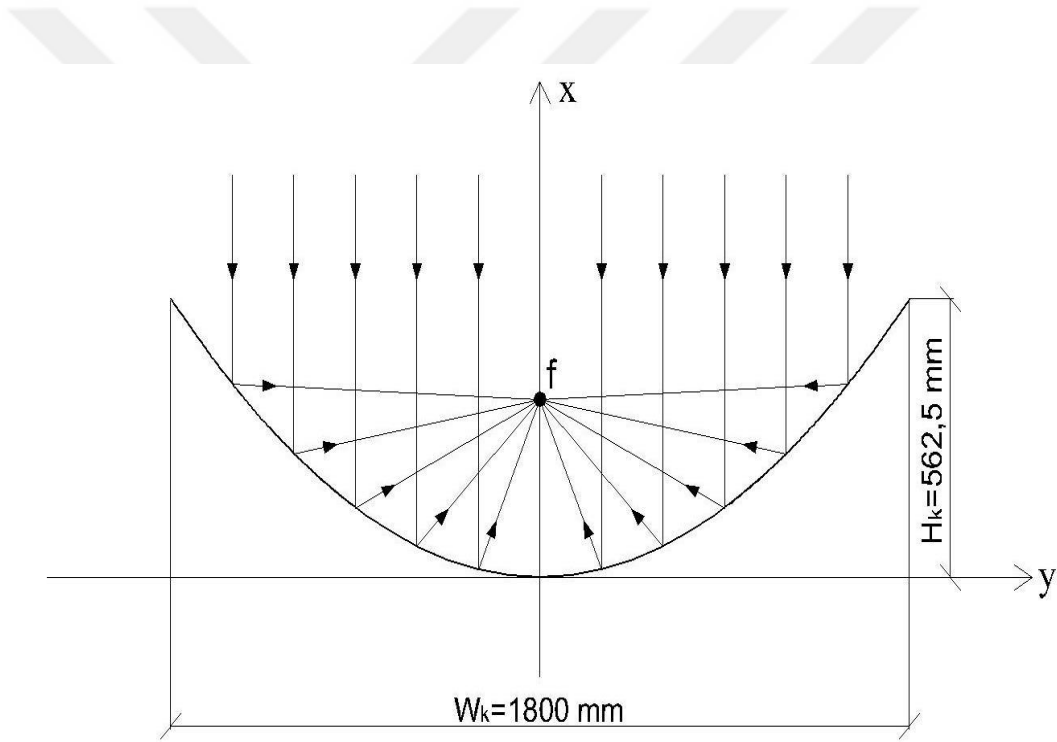
Yansıtıcı yüzey olarak parabolik oluk tipi kolektör seçilerek tasarım yapılmıştır. Tasarımı yapılan kolektör için odak noktasını (f) belirlemek üzere yansıtıcı yüzey ölçüleri;

Kolektör açıklığı (W_k) = 1800 mm

Kolektör uzunluğu (L_k) = 1500 mm

Kolektör derinliği (H_k) = 562,5 mm

olarak seçilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Yansıtıcı yüzey ölçülerinin koordinat düzleminde gösterimi

Odak mesafesi (f) Eşitlik 1.1'den,

$$f = \frac{900^2}{4 \times 562,5} = 360 \text{ mm}$$

olarak bulunur.

Excel programı yardımıyla $x = (y^2)/4f$ eşitliğinden x ve y koordinatları çıkarılır. Bu koordinatlar kullanılarak AutoCAD programı yardımıyla parabolün çizimi elde edilmiş olur.

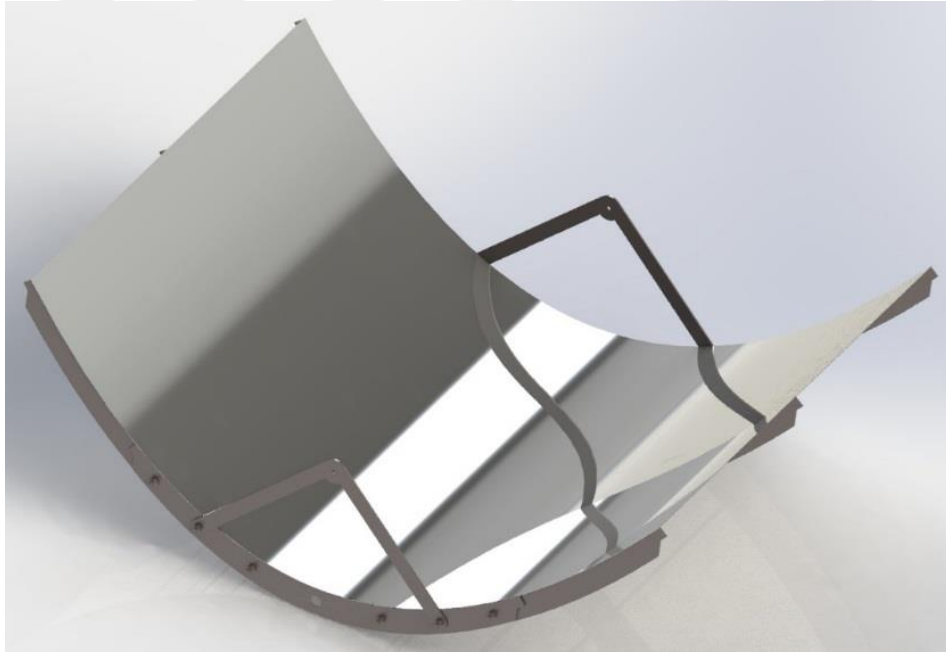
Kenar açısı (ϕ_r) Eşitlik 1.2'den,

$$\phi_r = \tan^{-1} \left[\frac{8 * \left(\frac{360}{1800} \right)}{16 * \left(\frac{360}{1800} \right)^2 - 1} \right]$$

$\phi_r = -77,3^\circ$ olarak bulunur. $\phi_r = -77,3 + 180 = 102,7^\circ$ olarak belirlenir.

Literatürde kenar açısı, ϕ_r , $70-120^\circ$ arasında değişmektedir (Şanlı, 2010).

Parabolik oluk tipi kolektör için yansıtıcı yüzeyin genel boyutları ve eksenel odak doğrultusunun koordinatları belirlenmiştir. Yansıtıcı yüzeyin iskeletini oluşturan ve yüzeyi parabolik bir şekle getirecek olan parçalar ile eksenel odağı taşıyıcı parçalar 5 mm siyah sac seçilerek tasarlanmış ve yansıtıcı yüzey tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Parabolik oluk tipi kolektör

2.1.3. Alıcı Boru Tasarımı

Alıcı boru tasarımı optik verimi etkileyen unsurlardan biridir. Optik verimin artırılması amacıyla alıcı boruyu oluşturan emici boru ve cam örtünün optimizasyonu dikkatlice yapılmalıdır. Alıcı boru tasarımında, alansal yoğunlaştırma oranı, işletme koşulları, emici boru içerisinden geçen akışkanın özellikleri ve sistemin ısı kapasitesi dikkate alınmalıdır (Şanlı, 2010).

Emici boru çapının büyük seçilmesiyle yoğunlaştırılan güneş ışınlarını yakalamak daha kolay olacaktır. Ancak çapın büyümesiyle alansal yoğunlaştırma oranı küçülecek, yansıtıcı yüzey alanına düşen gölge miktarı artacaktır. Buna karşın emici boru çapının küçük seçilmesiyle alansal yoğunlaştırma oranı artmasına yansıtıcı yüzeyden yansıyan güneş ışınlarının konikliği nedeniyle güneş ışınlarını yakalamak daha da güçleşecektir. Bu amaçla optimum çapı belirlemek üzere gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Minimum boru çapı (D_{min}) Eşitlik 1.5'den,

$$D_{min} = \frac{1800}{\sin 102,7} \sin 0,53 = 17 \text{ mm}$$

olarak bulunur.

Alıcı boru (emici boru ve cam örtü) güneş ışınımının soğurulması ve atık suya aktarılması amacıyla üç farklı şekilde tasarlanmış ve denemeler yapılmıştır. İlk tasarımda (Şekil 2.4) cam tüp içerisine çelik boru (üzeri siyah mat boya ile kaplı) yerleştirilmiş ancak buharlaşmanın emici boru içerisinde yeterince sağlanamadığı gözlemlenmiş ve diğer tasarıma geçilmiştir. İkinci tasarımda (Şekil 2.5) odağa yerleştirilen alıcı boru 3 geçişli olarak tasarlanmış ve gölgelenme etkisi nedeniyle odak sıcaklığının (90-120 °C) literatürde belirtilen ideal üst sınırın (60-400 °C) altında kalması ve buharlaşmanın yeterince sağlanamaması nedeniyle nihai tasarıma geçilmiştir.



Şekil 2.4. Alıcı boru tasarımı (1.tasarım)



Şekil 2.5. Alıcı boru tasarımı (2.tasarım-3 geçişli)

Minimum boru çapı dikkate alınarak emici boru tasarımı aksenal odak doğrultusunda maksimum ışınım yüzey alanını elde etmek üzere Şekil 2.6'daki gibi tasarlanmıştır.

Tasarım 33.7 mm dış çapa ve 3,4 mm cidar kalınlığına sahip çelik boru üzerine 10 mm çapında 1 mm cidar kalınlığına sahip bakır boru spiral şeklinde sarılarak oluşturulmuştur. Böylece konik biçimde gelen güneş ışınlarından efektif bir şekilde yararlanabilmek için yüzey alanı artırılmıştır. Akışkan dıştaki bakır boru içerisinde dolaşmaktadır. İçteki boru ise sıcaklığı artırıcı ve güneş ışınlarının boşluklardan sapmasını engelleyici bir yüzey olarak görev yapmaktadır.



Şekil 2.6. Alıcı boru tasarımı (nihai)

Güneş kolektörlerinde emici yüzey olarak genellikle bakır, alüminyum, nikel, paslanmaz çelik ve galvanizli malzemeler kullanılır. Bu çalışmada ısıl iletkenliğinin iyi olması nedeniyle emici olarak bakır tercih edilmiştir. Emici borunun güneş ışınlarını iyi derecede soğurması amacıyla bakır üzerine ısıya dayanıklı mat siyah boya uygulanmıştır.

Parabolik güneş kolektörlerinde emici boru etrafına ısı kayıplarını azaltmak için cam örtü yerleştirilir. Yansıtıcı yüzey tarafından yoğunlaştırılan güneş enerjisi emici boruyu ısıtır ve sıcaklığı yükselen emici borudan çevreye ısı transferi olur. Bu transfer iletim, taşınım ve ışınım mekanizmalarıyla meydana gelir. Cam örtü için seçilen malzemenin kısa dalga boylu ışınları geçirme oranı (τ) yüksek, emici borudan yayılan uzun dalga boylu ışınları geçirme oranı (τ) düşük olmalıdır. Yine cam örtü ile dış ortam arasında hava hareketlerine (rüzgâr vb.) bağlı olarak çevreye olan ısı kaybı artarak emici boru içerisinde dolaşan akışkana aktarılan faydalı enerji de azalmış olur.

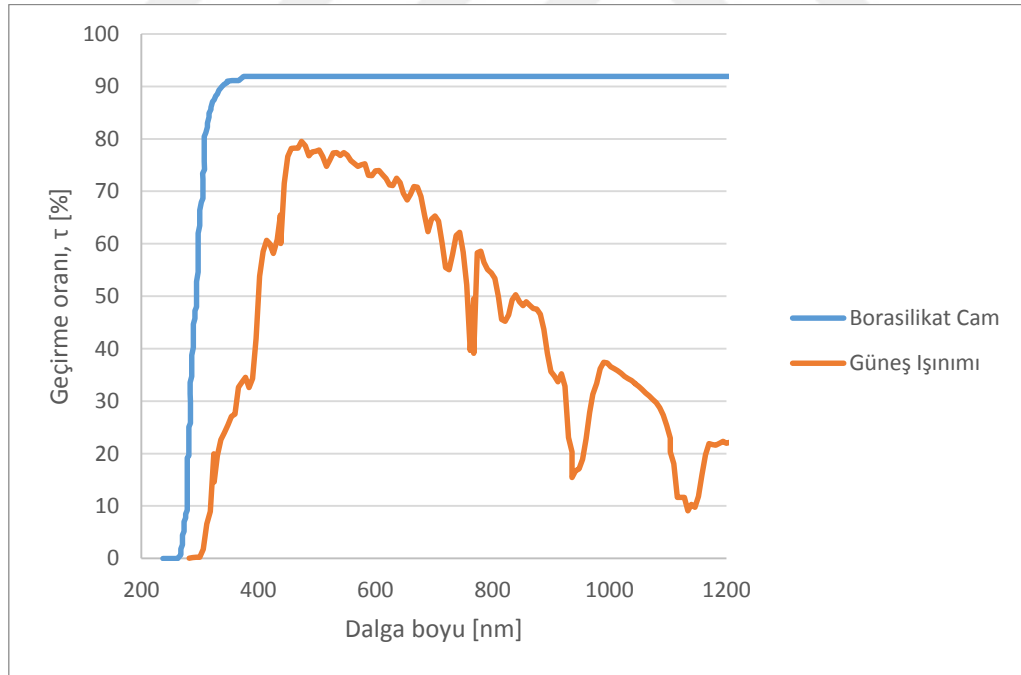
Tasarımı yapılan parabolik oluk tipi güneş kolektöründe Alman Schott firmasının ürettiği borasilikat cam tüp kullanılmıştır. Dış çapı 60 mm, cidar kalınlığı 2,2 mm olmak üzere cam örtünün boyu 1500 mm olarak belirlenmiştir. Schott firmasının ürettiği cam tüplerin fiziksel özellikleri Tablo 2.3’de, kimyasal bileşimi Tablo 2.4’de gösterilmektedir. Şekil 2.7’de ise borasilikat camın belirli dalga boylarında güneş ışınımını geçirme oranı gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Borasilikat cam fiziksel özellikleri (URL 4, 2020).

	Değer
Ortalama doğrusal ısıl genleşme katsayısı (20 °C-300 °C) DIN ISO 7991'e göre	$3,3 \cdot 10^{-6} K^{-1}$
Faz değişim sıcaklığı (Dönüşüm sıcaklığı)	525 °C
Yoğunluk, ρ (25 °C)	$2,23 g \cdot cm^3$
Elastisite modülü, E (Young modülü)	$63 \cdot 10^3 N \cdot mm^2$
Poisson oranı, μ	0,20
Isıl iletkenlik, λ_w (90 °C)	$1,2 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Kırılma İndisi ($\lambda=587,6$ nm), n_d	1,473
Gerilim-optik katsayısı (DIN 52 314)	$4,0 \cdot 10^{-6} mm^2 \cdot N^{-1}$

Tablo 2.4. Borasilikat cam kimyasal bileşimi (URL 4, 2020).

SiO ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O	Al ₂ O ₃
81	13	4	2



Şekil 2.7. Borasilikat camın (d=2.2 mm) hava/cam/hava konfigürasyonunda geçirgenliği (URL 4, 2020).

Yansıtıcı yüzey tarafından yoğunlaştırılan güneş ışınları nedeniyle alıcı boru sıcaklığı yükselir. Alıcı boru, emici boru ve cam örtüden meydana gelmektedir. Emici boru ve cam örtü birleşiminde, malzemelerin ısıl genleşme katsayılarının farklı olması nedeniyle elastik conta kullanılmıştır. Conta kalıbı 3D yazıcıda üretilerek kalıp içerisine ısıya dayanıklı silikon dökülmüş ve kuruma süresi beklenerek elastik contalar elde edilmiştir. Emici boru ile cam örtü birleşiminde uygulamada yaşanan sızdırmazlık sorunu nedeniyle vakum ortamı oluşturulamamıştır.

Emici boru tasarımından sonra Eşitlik 2.1'den yoğunlaştırma oranı (C) hesaplanır. Alıcı (emici boru) yüzey alanının belirlenmesinde emici boru dış çapı ($D_{dış}$) kullanılmıştır.

$$C = \frac{A_y}{A_a} = \frac{W_k \cdot L_k}{\pi \cdot D_{dış} \cdot L_k} = \frac{W_k}{\pi \cdot D_{dış}} = \frac{1800}{\pi \cdot (53,7)} = 10,7$$

olarak bulunur.

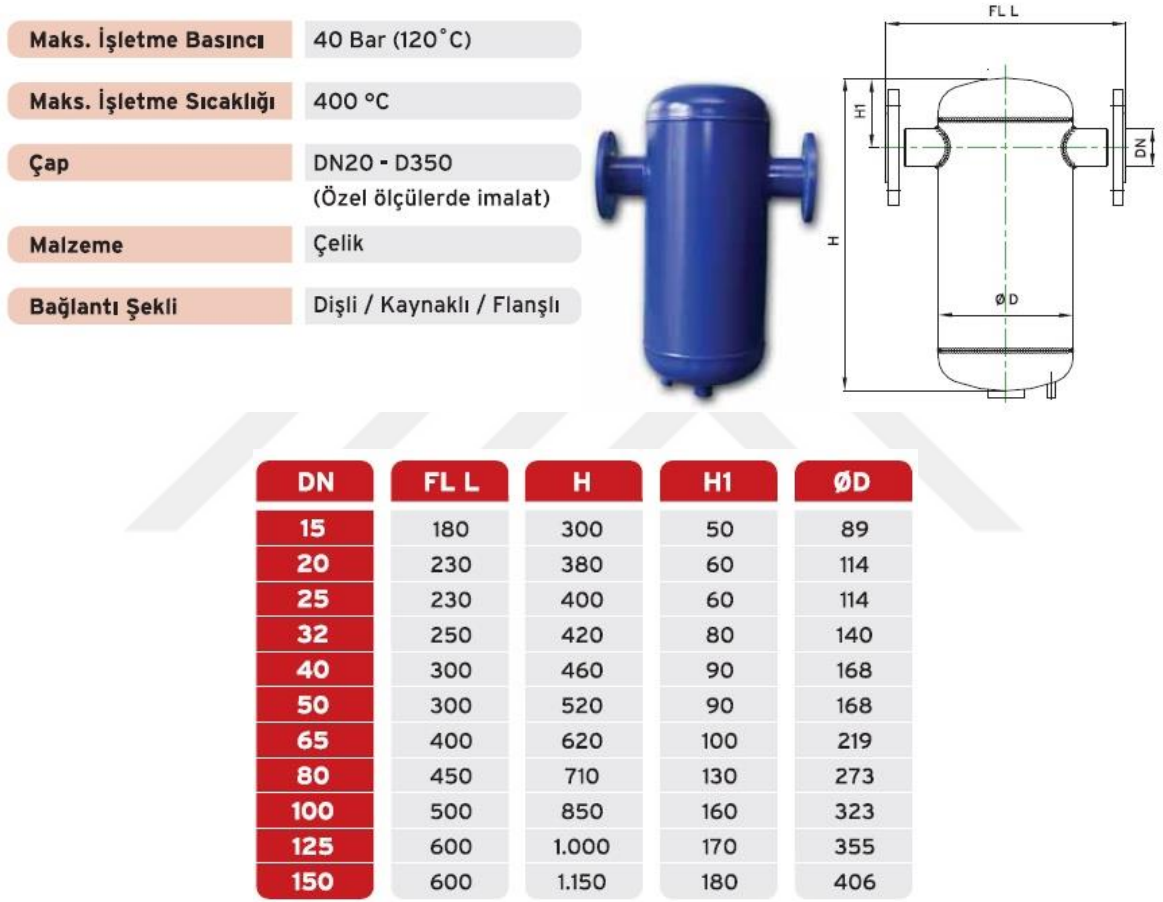
2.2. Sistemi Oluşturan Diğer Bileşenler, Tasarımı ve İmalatı

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe elde edilen buharın yoğunlaştırılması ve tatlı su üretiminin sağlanması amacıyla 16 plakadan oluşan AISI316 L plakalı kaynaklı eşanjör kullanılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Plakalı kaynaklı eşanjör

Güneşin süreklilik arz etmediği bulutlu günlerde eşanjöre buharlaşma prosesini tamamlamadan gelebilecek sıvı veya sıvı-buhar karışımları, tatlı su üretimini olumsuz etkileyeceğinden buhar seperatörü gerekliliği ortaya konmuştur. Buhar seperatörü tasarımı itibariyle merkezkaç (vorteks) kuvvetinin etkisiyle sıvıyı ayırarak eşanjöre buhar fazında akışkanın girişini garanti etmektedir. Bu doğrultuda piyasadan DN15 dişli bağlantılı buhar seperatörü temin edilmiştir. Buhar seperatörü teknik özellikleri Şekil 2.9’da verilmiştir.

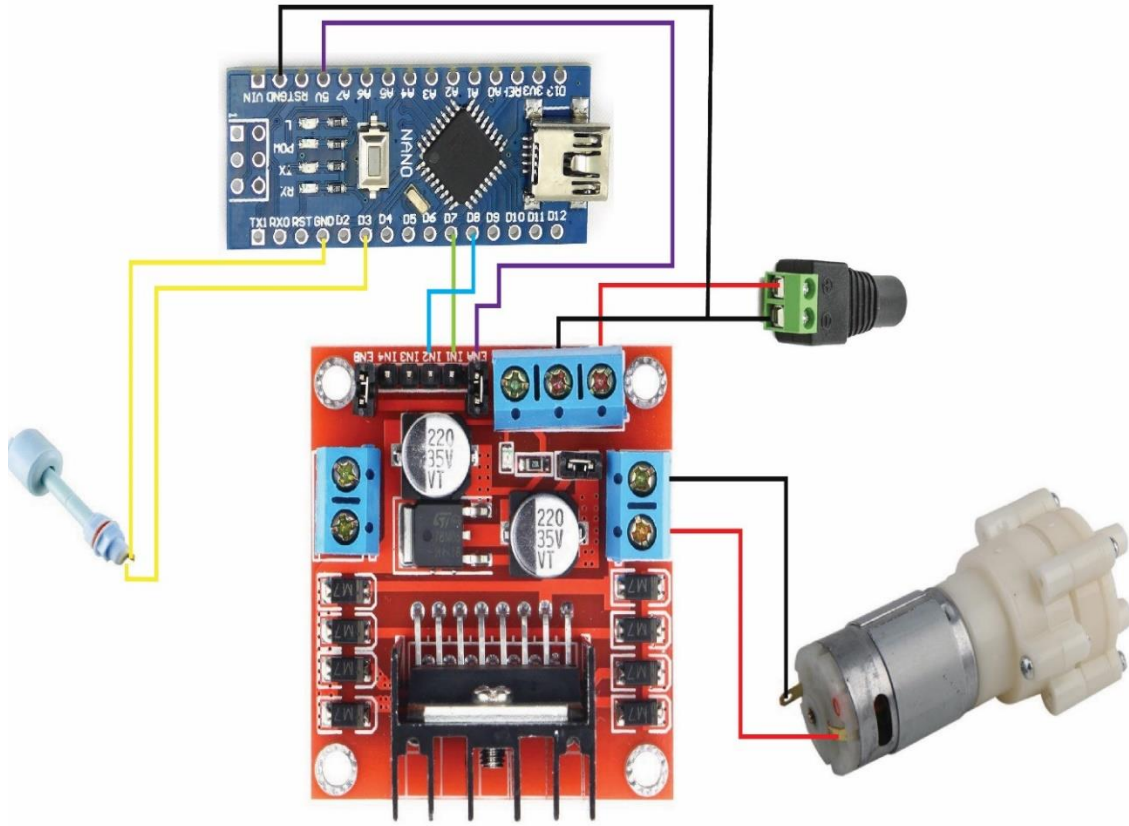


Şekil 2.9. Buhar seperatörü teknik özellikleri (URL-5, 2020).

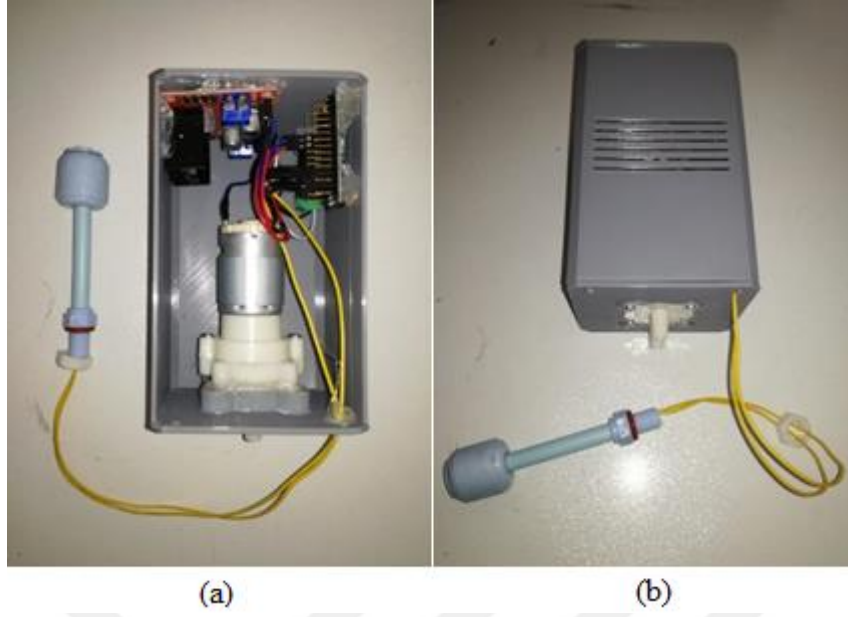
Buhar seperatöründe ayrılan yüksek sıcaklıklı sıvının sisteme geri kazandırılması amacıyla seviye sensörlü bir pompa tasarımı yapılarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Q:1,5-2 l/dk ve H_{max} :3 m değerlerine sahip DC 12 V R385 mini su pompası, ZP7510 su seviye sensörü, L298n motor sürücü, Arduino Nano kart, klemens çıkışlı dişi konektör ve kablolar piyasadan temin edilerek devre Şekil 2.10’daki gibi oluşturulmuştur. Oluşturulan devre, Arduino platformunda programlanarak çalışır hale getirilmiştir (Kodlar için Bakınız

Ek-2). Su seviye sensörü 5000 ms gecikmeli olarak devreden çıkacak şekilde kodlanmış ve bu sayede motor ömrünün uzun tutulması amaçlanmıştır. Devreyi çevreleyen kutu 3D baskı tekniği ile üretilerek oluşturulan devre kutu içerisine monte edilmiştir. Baskı malzemesi olarak çevre için ideal bir biyoplastik olan ve doğada diğer plastiklere nazaran daha kısa sürede çözünen PLA (Polilaktik Asit) filament kullanılmıştır.

Sistemin elektrik beslemesi için 12 V 1A adaptör kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen seviye sensörlü pompa Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Seviye sensörlü pompa devresi



Şekil 2.11. Seviye sensörlü pompa; (a) İç görünüş, (b) Dış görünüş

2.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü ile Bütünleşik Damıtma Sistemi Montajı

Parabolik oluk tipi güneş kolektörünü meydana getiren ana malzemelerin seçimi, tasarımı ve imalatı Bölüm 2.1 ve 2.2'deki gibi gerçekleştirilerek sistemin montajına geçilmiştir. Sistem özellikleri Tablo 2.5'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü özellikleri

Sistem Özellikleri	Boyut
Kolektör açıklığı, W_k	1800 mm
Kolektör uzunluğu, L_k	1500 mm
Kolektör derinliği, H_k	562,5 mm
Odak mesafesi, f	360 mm
Kenar açısı, ϕ_r	102,7°
Emici boru için minimum gerekli boru çapı, D_{min}	17 mm
Emici boru dış çapı, $D_{dış}$	53,7 mm
Cam örtü dış çapı	60 mm
Yoğunlaştırma oranı, C	10,7
Depolama tankı (rezerv) kapasitesi	80 l.
Güneş takip mekanizması	Manuel

Sistemi oluşturan ana iskelet hazırlanarak parabolik oluk tipi güneş kolektörü döküm rulmanlı yataklar vasıtasıyla yataklanmıştır. Sistem doğal dolaşimli olarak tasarlandığından atık su deposu ana iskelet üzerinde kolektörün üst seviyesinde bir konuma yerleştirilmiştir. Atık su deposu altından alınan bir hat üzerinde küresel vana tesis edilerek kolektör girişine bağlantı yapılmıştır. Kolektör çıkışından alınan hat ile buhar seperatörü girişine bağlantı yapılmıştır. Giriş ve çıkışta esnek metal bağlantı hortumu kullanılarak kolektörün güneşi takip ederken yaptığı hareketler nedeniyle sistemi etkilememesi sağlanmıştır. Buhar seperatörü çıkışından alınan hat ile eşanjörün primer devre tarafına (buharın yoğunlaştırıldığı kısım) giriş sağlanmıştır. Buhar seperatöründe birikebilecek sıvının tekrar sisteme kazandırılması amacıyla seperatörün tahliye vanası yarı açık pozisyonda tesis edilerek bir tahliye kabı ile bağlantısı yapılmıştır. Bu kaba daldırılan seviye sensörü ile kapta biriken sıvının pompa ile tekrar atık su deposuna gönderilmesi için kap ile atık su deposu arasında hat çekilmiştir. Bu sayede sistemin sürekliliği amaçlanmıştır. Eşanjörün sekonder devre tarafında bir kaynaktan beslenen soğutma suyu primer devre ile ters akış oluşturacak şekilde tesis edilmiştir. Eşanjörün primer devre çıkışında yoğunlaşan suyun depolanması için de ayrı bir kap kullanılmıştır. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü çıkışı ile eşanjör arasındaki (eşanjör dahil) tüm kısımlar prefabrik cam yünü boru yalıtım malzemesi ile ısı kayıplarına karşı izole edilmiştir. Oluşturulan parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtma sistemi Şekil 2.12’de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtma sistemi

2.4. Kullanılan Ölçüm Cihazları

Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtma sisteminde verilerin kayıt altına alınması amacıyla belirli ölçüm cihazları kullanılmıştır. Birim yüzeye gelen güneş ışınımının ölçülmesi amacıyla PCE-SPM 1 solarimetre kullanılmıştır. Solarimetrenin genel görünümü Şekil 2.13’de ve teknik özellikleri Tablo 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.13. PCE-SP 1 Solarimetre

Tablo 2.6. PCE-SP 1 Solarimetre teknik özellikleri

	Teknik Özellikler
Ölçüm Aralığı	0 ... 2000 W/m ²
Çözünürlük	1 W/m ²
Hassasiyet	±10 W/m ² veya ± %5 (en yüksek değer geçerli)
Spektrum Aralığı	400 ... 1100 nm
Hafıza	32.000 Ölçüm Değer
Ölçüm Kotası	Ayarlanabilir
Veri Aktarımı	RS-232-Arayüz serisi
Ekran	LCD
Çevresel Koşullar	0 ... +50 °C
Maks. Nem	< %80 n.o.
Güç Kaynağı	4 x 1,5 V İyon-Lityum Pil (sürekli kullanımda yaklaşık 16 gün)
Boyut	111 x 64 x 34 mm
Ağırlık	165 gr.

Kolektör giriş-çıkış ve eşanjör giriş-çıkış sıcaklıklarını ölçmek ve kayıt altına almak için T tipi bakır-konstantan termoelemanlar (sıcaklık aralığı: -200...300 °C) ve Pico Technology USB TC-08 veri kayıt cihazı kullanılmıştır. Veri kayıt cihazının genel görünümü Şekil 2.14’de ve teknik özellikleri Tablo 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.14. TC-08 Veri kayıt cihazı

Tablo 2.7. TC-08 Veri kayıt cihazı teknik özellikleri

	Teknik Özellikler
Kanal Sayısı (Tek ünite)	8
Maksimum Kanal Sayısı (20 üniteye kadar kullanılarak)	160
Dönüştürme Süresi	Her bir termoeleman için 100 ms + soğuk nokta kompanzasyonu için 100 ms (tüm kanallar gerilim girişi olarak kullanılırsa bu devre dışı bırakılabilir)
Sıcaklık Hassasiyeti	Okunan değerin $\pm 0,2$ 'si ile $\pm 0,5$ °C'nin toplamı
Gerilim Hassasiyeti	Okunan değerin $\pm 0,2$ 'si ile ± 10 μV 'un toplamı
Yüksek Gerilim Koruması	± 30 V
Maksimum Ortak Mod Gerilimi	$\pm 7,5$ V
Giriş Empedansı	2 M Ω
Giriş Aralığı (Gerilim)	± 70 mV
Çözünürlük	20 bit
Gürültüsüz Çözünürlük	16,25 bit
Desteklenen Termoeleman Tipleri	B, E, J, K, N, R, S, T
Giriş Konektörleri	Minyatür termoeleman

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe meydana gelen odak sıcaklığını ölçmek amacıyla K tipi prob, alıcı boru içerisine yerleştirilerek CEM DT-610B dijital termometre ile ölçüm yapılmıştır. Dijital termometre ile K tipi probun genel görünümü Şekil 2.15’de ve teknik özellikleri Tablo 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.15. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi prob

Tablo 2.8. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi prob teknik özellikleri

	Teknik Özellikler
Sıcaklık Ölçeği	Santigrat (°C), Fahrenheit (°F) ya da Kelvin (K) seçilebilir
Ölçüm Aralığı	-50 °C – 1300 °C, -58 °F – 2000 °F, 233 K – 2000 K
Çözünürlük	1 °C ya da 1 °F, 0,1 °C ya da 0,1 °F, 1 K
Hassasiyet	±%0,5 °C veya ±1 °C (0-1000 °C)
Okuma Hızı	Saniyede 2,5 kez
Çalışma Ortamı Sıcaklığı	0 °C – 50 °C
Depolama Sıcaklığı	-20 °C – 60 °C
Boyutlar	162 mm (H) × 76 mm (W) × 38,5 mm (D)
Sıcaklık Probu	K tipi
Ölçüm Aralığı	-200 °C – 1200 °C
Termoeleman teli	Nikelkrom – Nikel (NiCr - Ni)
Termoeleman hassasiyeti	±2,2 °C veya ±%0,75 (0 – 800 °C)

3. BULGULAR VE İRDELEME

Güneş enerjisi ile damıtma sistemlerinin üretkenliğini incelemek üzere tasarımı ve imalatı yapılan parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtma sistemi, tatlı su üretimi ve verimlilik açısından Trabzon koşullarında deneysel olarak incelenmiştir. Sistem doğal taşınımlı olarak ele alınmıştır. Sistemde kullanılan atık su Karadeniz Teknik Üniversitesinin kuzeybatı kesiminde bulunan balıkçı barınaklarının olduğu bölgede deniz kıyısından alınmıştır.

Sistem verimliliği, sistem çıkışında damıtık suyun üretilmesi için eşanjörde kullanılan enerjinin farklı güneş ışıınımı değerleri ile mukayese edilmesi sonucu genel olarak belirlenmiştir. Eşanjör primer devre (buharın yoğunlaştırıldığı kısım) tarafında giriş ($T_{e,g}$) ve çıkış ($T_{e,ç}$) sıcaklıkları termoelemanlar ile ölçülmüş ve veri kayıt cihazı ile kayıt altına alınmıştır. Elde edilen damıtık su miktarı ile deneyin yapım süresinden doğal taşınımda tatlı su üretim debisi (\dot{m}_{ort}) ortalama bir değer olarak belirlenmiştir. Suyun buharlaşma-yoğuşma gizli ısısı (h_{fg}) termodinamik özellik tablolarından 1 atmosfer basınçta 2257 kJ/kg olarak okunmuştur. Bu sayede faydalı enerji (\dot{Q}_f) hesaplanarak sistemde ışıınım değerinin ne kadarının faydalı enerji olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Güneş ışıınımı değerleri solarimetre yardımıyla ölçülmüştür. Sistem verimliliğinin hesaplanmasında Eşitlik 3.1 kullanılmıştır.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_f}{I \times A_y} = \frac{\dot{m} \times h_{fg}}{I \times A_y} \quad (3.1)$$

Kolektör giriş ($T_{k,g}$) ve çıkış ($T_{k,ç}$) sıcaklıkları da termoelemanlar ile ölçülmüş ve veri kayıt cihazı ile kayıt altına alınmıştır. Ayrıca kolektörün odağına yerleştirilen sıcaklık probu ile dijital termometre kullanılarak odak sıcaklığı incelenmiştir. Bu sayede literatürde erişilen odak sıcaklıklarına erişilip erişilmediği de gözlemlenerek kolektörün geometrik tasarımı doğrulanmıştır.

Deneyler 19.08.2020-04.09.2020 tarihleri arasında farklı günlerde belirli zaman dilimlerinde tekrarlanmıştır.

3.1. 19.08.2020 Tarihli Deney

Deney 11.40-12.30 saatleri arasında yapılmıştır. Deney süresince maksimum odak sıcaklığı 295 °C olarak ölçülmüş ve 600 ml tatlı su üretimi gerçekleştirilmiştir.

Deney süresince elde edilen veriler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. 19.08.2020 Tarihli deney verileri

Saat	T _{k,g} (°C)	T _{k,ç} (°C)	T _{e,g} (°C)	T _{e,ç} (°C)	I (W/m ²)
11.40	54,15	115,56	88,23	26,04	835
11.50	49,96	136,84	88,59	25,91	927
12.00	57,99	150,18	88,78	26,53	934,2
12.10	85,36	182,07	88,78	25,8	976
12.20	50,74	100,18	85,31	25,31	814,8
12.30	35,89	65,85	60,47	25,18	562

Sistem verimliliği Eşitlik 3.1’den,

$$\dot{m}_{\text{ort}} = 0,0002 \text{ kg/sn (hesaplandı)}$$

$$h_{\text{fg}} = 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_f = 0,0002 \times 2257 = 0,4514 \text{ kJ/sn} = 451,4 \text{ W}$$

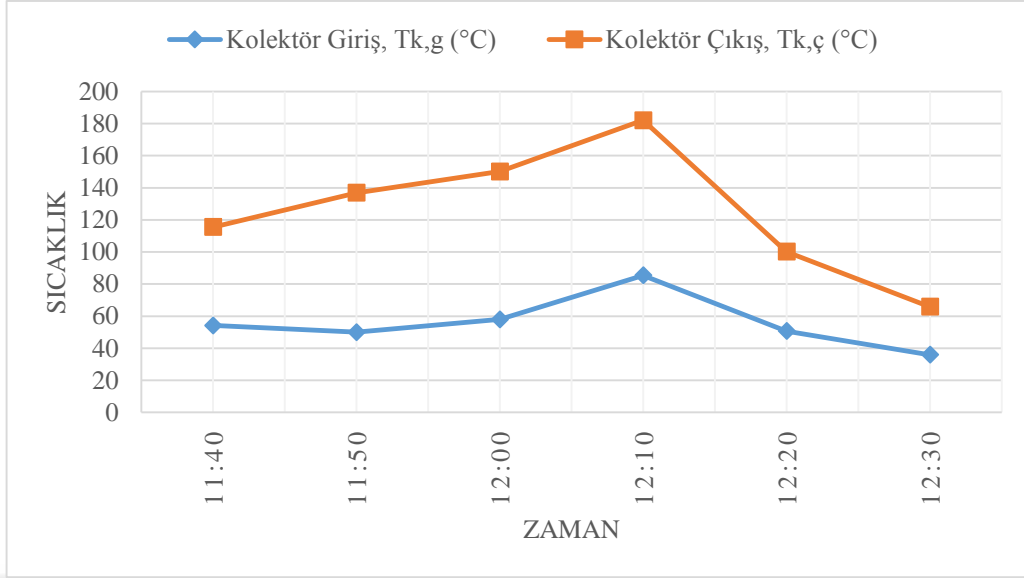
$$I_{\text{ort}} = 842 \text{ W/m}^2$$

$$A_y = 1,8 \times 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

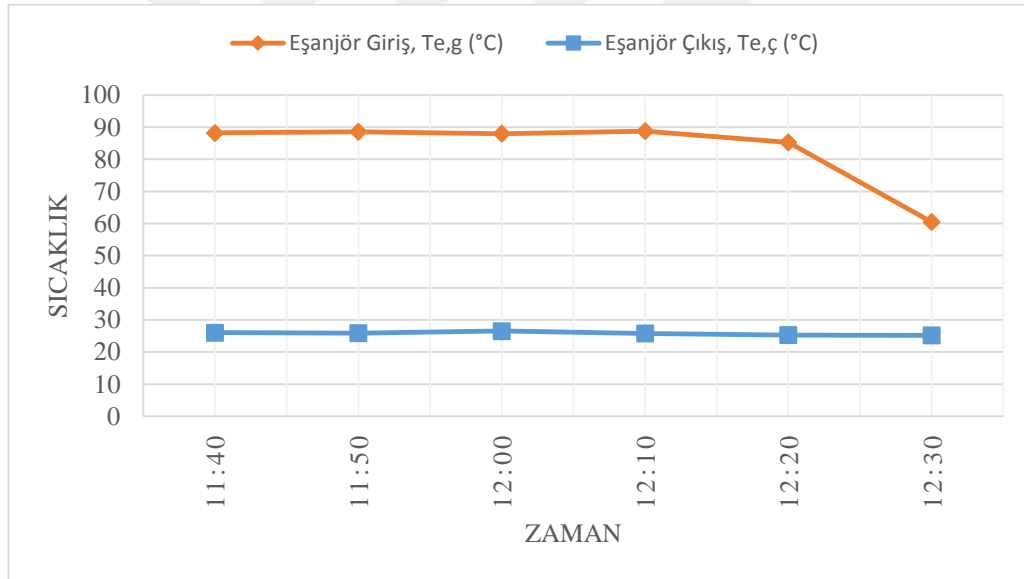
$$\eta = \frac{451,4 \text{ W}}{842 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 2,7 \text{ m}^2} = 0,1986$$

ortalama %19,86 olarak hesaplanmıştır.

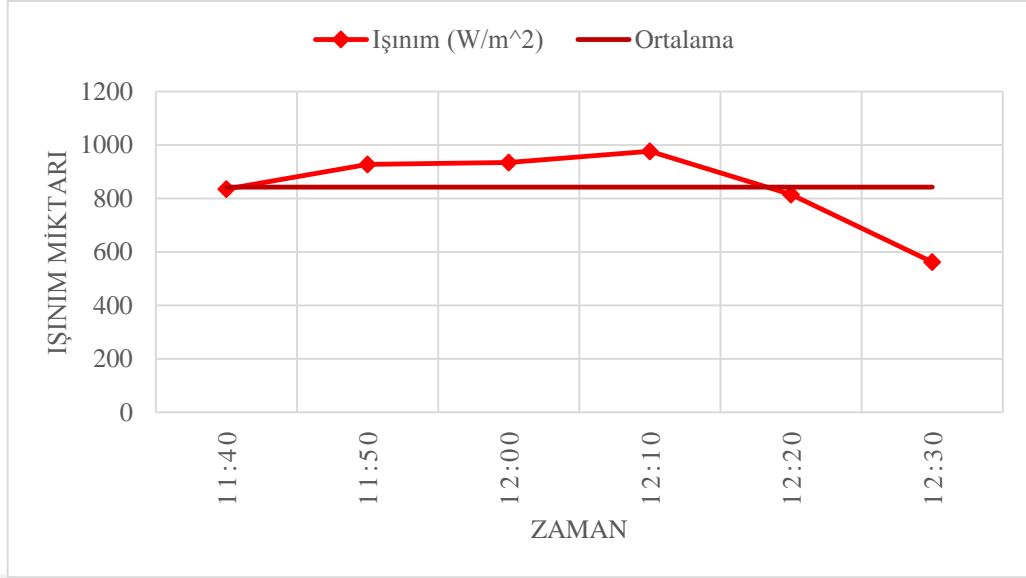
Deney süresince elde edilen bulgular grafik biçiminde Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (19.08.2020)



Şekil 3.2. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (19.08.2020)



Şekil 3.3. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (19.08.2020)

3.2. 20.08.2020 Tarihli Deney

Deney 11.00-14.10 saatleri arasında yapılmıştır. Deney süresince maksimum odak sıcaklığı 321 °C olarak ölçülmüş ve 2300 ml tatlı su üretimi gerçekleştirilmiştir.

Deney süresince elde edilen veriler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. 20.08.2020 Tarihli deney verileri

Saat	T _{k,g} (°C)	T _{k,ç} (°C)	T _{e,g} (°C)	T _{e,ç} (°C)	I (W/m ²)
11.00	47,29	203,08	89,18	28,57	1023
11.10	72	189,84	86,94	24	985
11.20	66,98	185,23	86,72	23,76	864
11.30	70,03	173,06	86,58	23,67	958
11.40	73,56	182,46	86,69	23,8	976
11.50	64,22	210,89	86,46	24,01	1045
12.00	71,45	224,84	86,79	24,17	1056
12.10	73,64	239,13	86,48	24,07	1061
12.20	71,69	243,97	87,04	24,45	1053
12.30	65,86	244,24	85,59	24,59	1057,2
12.40	61,59	241,41	85,84	24,68	1049,7
12.50	58,84	243,17	87,09	24,59	1051
13.00	52,21	246,98	86,73	24,57	1060,9

Tablo 3.2'nin devamı

13.10	47,47	234,59	86,97	24,51	1052,3
13.20	58,83	214,5	86,85	24,64	1038
13.30	59,67	184,23	86,26	24,4	972
13.40	68,47	211,4	85,82	24,64	1034
13.50	60,86	219,08	85,63	24,52	1048
14.00	55,77	182,84	85,81	24,1	963,5
14.10	76,84	208,43	86,49	24,52	1032,6

Sistem verimliliği Eşitlik 3.1'den,

$$\dot{m}_{\text{ort}} = 0,0002018 \text{ kg/sn (hesaplandı)}$$

$$h_{\text{fg}} = 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_f = 0,0002018 \times 2257 = 0,455 \text{ kJ/sn} = 455 \text{ W}$$

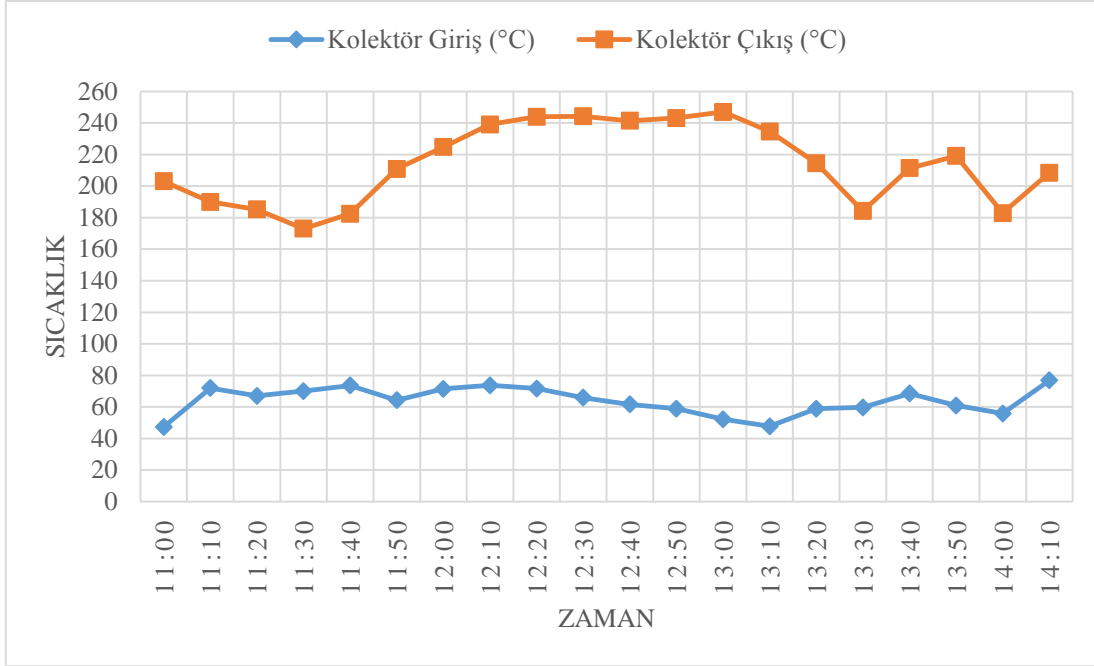
$$I_{\text{ort}} = 1019 \text{ W/m}^2$$

$$A_y = 1,8 \times 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

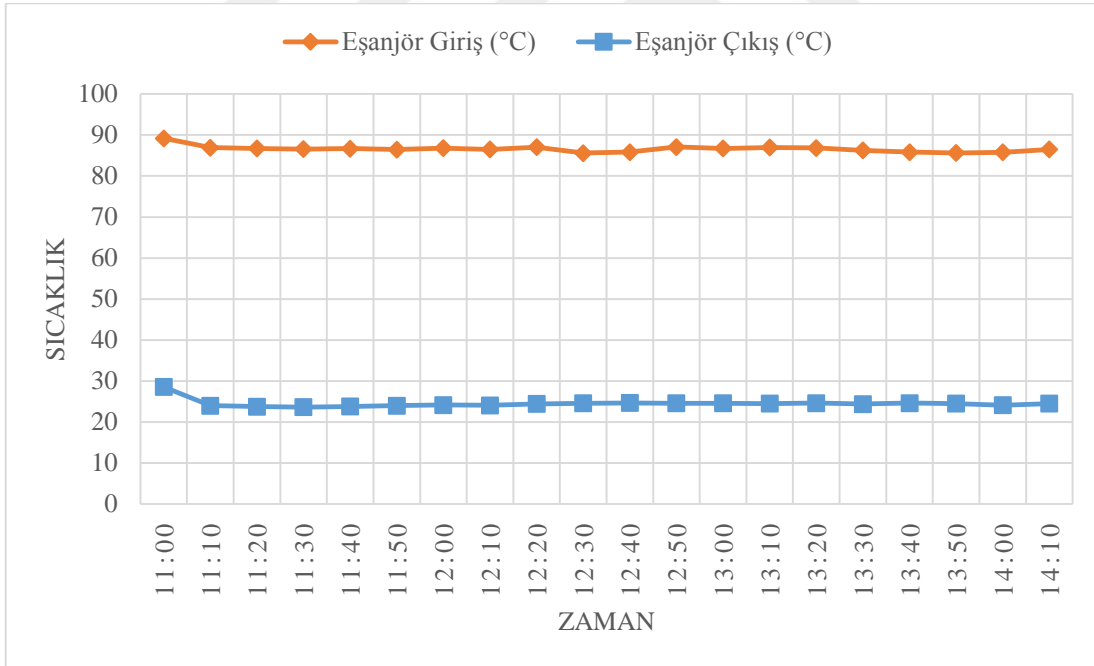
$$\eta = \frac{455 \text{ W}}{1019 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 2,7 \text{ m}^2} = 0,1654$$

ortalama %16,54 olarak hesaplanmıştır.

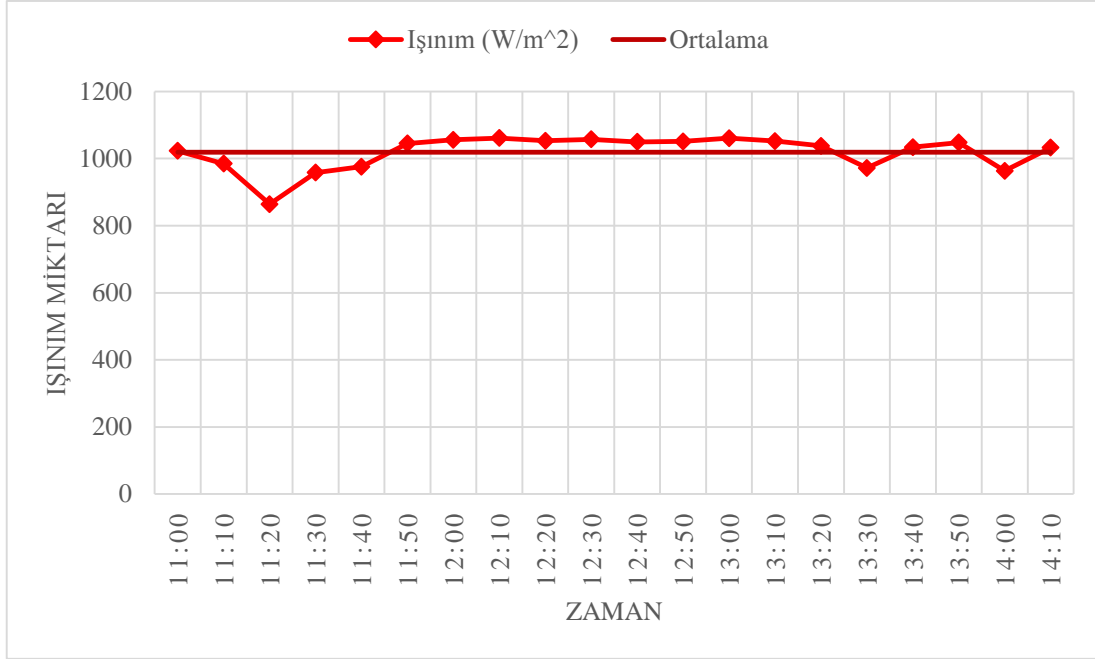
Deney süresince elde edilen bulgular grafik biçiminde Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (20.08.2020)



Şekil 3.5. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (20.08.2020)



Şekil 3.6. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (20.08.2020)

3.3. 24.08.2020 Tarihli Deney

Deney 11.00-14.20 saatleri arasında yapılmıştır. Deney süresince maksimum odak sıcaklığı 289 °C olarak ölçülmüş ve 2400 ml tatlı su üretimi gerçekleştirilmiştir.

Deney süresince elde edilen veriler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. 24.08.2020 Tarihli deney verileri

Saat	T _{k,g} (°C)	T _{k,ç} (°C)	T _{e,g} (°C)	T _{e,ç} (°C)	I (W/m ²)
11.00	44,04	196,01	91,17	25,26	961
11.10	53,24	208,75	89,49	25,39	991,4
11.20	56,29	220,12	90,96	25,15	1053
11.30	58,83	221,17	91,39	25,16	1054,6
11.40	62,86	216,25	91,77	25,36	1044
11.50	61,22	213,38	91,6	25,35	1038
12.00	52,79	207,7	91,84	26,28	1026,4
12.10	53,47	215,23	91,95	26,33	1041,7
12.20	54,68	221,21	91,81	25,86	1055
12.30	48,93	218,06	91,77	27,05	1048,2
12.40	52,37	229,6	91,7	26,1	1073

Tablo 3.3'ün devamı

12.50	52,58	210,97	91,66	25,94	1034,9
13.00	57,47	184,76	91,37	24,8	972
13.10	53,3	179,39	91,57	24,57	965
13.20	57,46	186,52	91,96	24,45	977,1
13.30	59,52	199,59	91,8	24,58	932,5
13.40	55,21	213,32	91,76	24,77	1036,7
13.50	42,87	224,26	91,71	24,92	1062
14.00	49,76	211,16	91,72	24,94	1017
14.10	49,77	215,56	91,71	24,81	1038
14.20	40,37	222,01	91,42	24,73	1058,4

Sistem verimliliği Eşitlik 3.1'den,

$$\dot{m}_{\text{ort}} = 0,0002 \text{ kg/sn (hesaplandı)}$$

$$h_{\text{fg}} = 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_f = 0,0002 \times 2257 = 0,4514 \text{ kJ/sn} = 451,4 \text{ W}$$

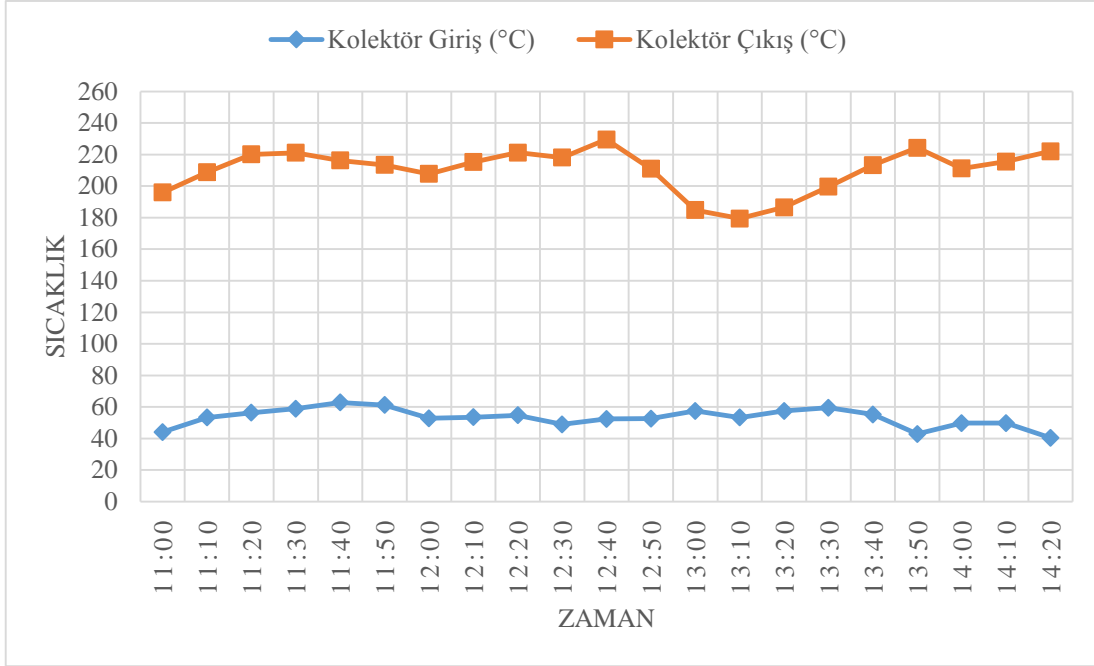
$$I_{\text{ort}} = 1023 \text{ W/m}^2$$

$$A_y = 1,8 \times 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

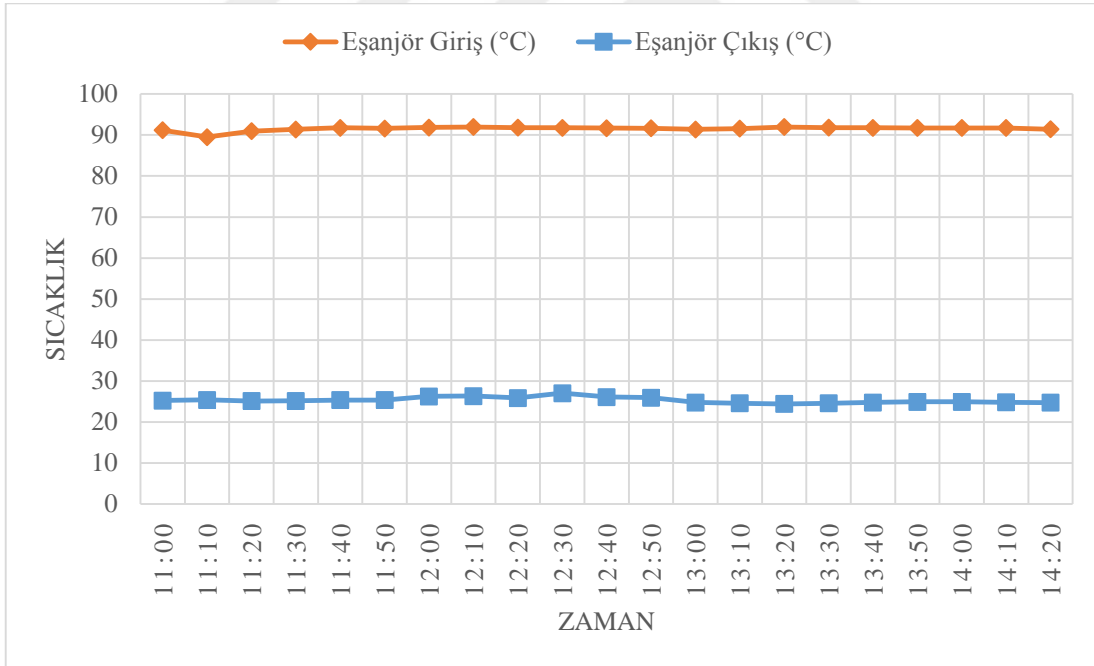
$$\eta = \frac{451,4 \text{ W}}{1023 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 2,7 \text{ m}^2} = 0,1634$$

ortalama %16,34 olarak hesaplanmıştır.

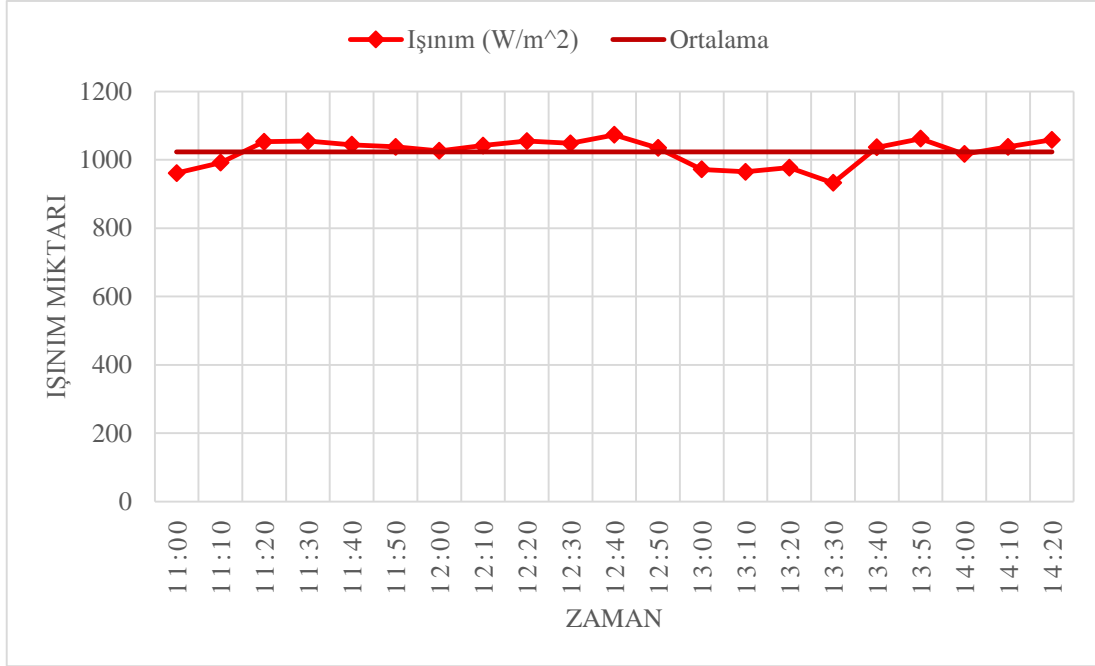
Deney süresince elde edilen bulgular grafik biçiminde Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (24.08.2020)



Şekil 3.8. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (24.08.2020)



Şekil 3.9. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (24.08.2020)

3.4. 26.08.2020 Tarihli Deney

Deney 11.20-14.40 saatleri arasında yapılmıştır. Deney süresince maksimum odak sıcaklığı 291 °C olarak ölçülmüş ve 2500 ml tatlı su üretimi gerçekleştirilmiştir.

Deney süresince elde edilen veriler Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. 26.08.2020 Tarihli deney verileri

Saat	$T_{k,g}$ (°C)	$T_{k,\varphi}$ (°C)	$T_{e,g}$ (°C)	$T_{e,\varphi}$ (°C)	I (W/m ²)
11.20	43,1	171,19	90,72	31,18	957,6
11.30	37,66	174,56	91,34	28,84	961,3
11.40	39,06	186,84	92,61	34,83	972,4
11.50	48,72	189,49	92,84	33,8	968,2
12.00	39,45	200,11	92,91	34,27	993,8
12.10	39,53	196,58	91,33	34,12	978,2
12.20	39,17	202,8	93,1	34,15	1002
12.30	39,24	218,53	93,08	34,35	1041,4
12.40	41,45	224,42	93,83	32,99	1059,3
12.50	42,16	223,81	93,42	28,07	1057
13.00	48,67	219,6	92,95	32,43	1043,8

Tablo 3.4'ün devamı

13.10	46,19	217,4	91,52	32,79	1039,6
13.20	47,15	231,9	93,13	31,59	1075
13.30	46,68	234,84	93,22	26,26	1083
13.40	52	246,51	100,54	28,96	1102
13.50	47,17	243,4	97,04	28,88	1094,7
14.00	45,22	241,72	96,38	28,96	1088,3
14.10	46,91	240,62	96,02	28,77	1084,9
14.20	47,02	218,41	92,64	33,02	1038,4
14.30	49,61	192,89	91,91	33,08	924
14.40	49,79	194,35	91,96	33,05	946,1

Sistem verimliliği Eşitlik 3.1'den,

$$\dot{m}_{\text{ort}} = 0,0002083 \text{ kg/sn (hesaplandı)}$$

$$h_{\text{fg}} = 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_f = 0,0002083 \times 2257 = 0,4702 \text{ kJ/sn} = 470,2 \text{ W}$$

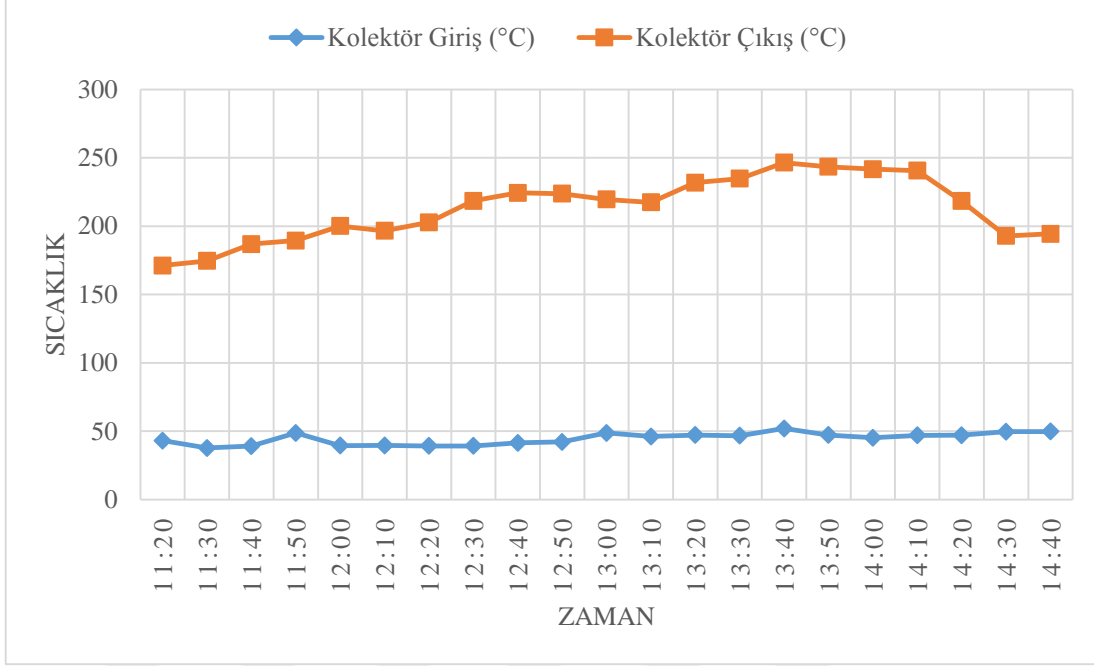
$$I_{\text{ort}} = 1024 \text{ W/m}^2$$

$$A_y = 1,8 \times 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

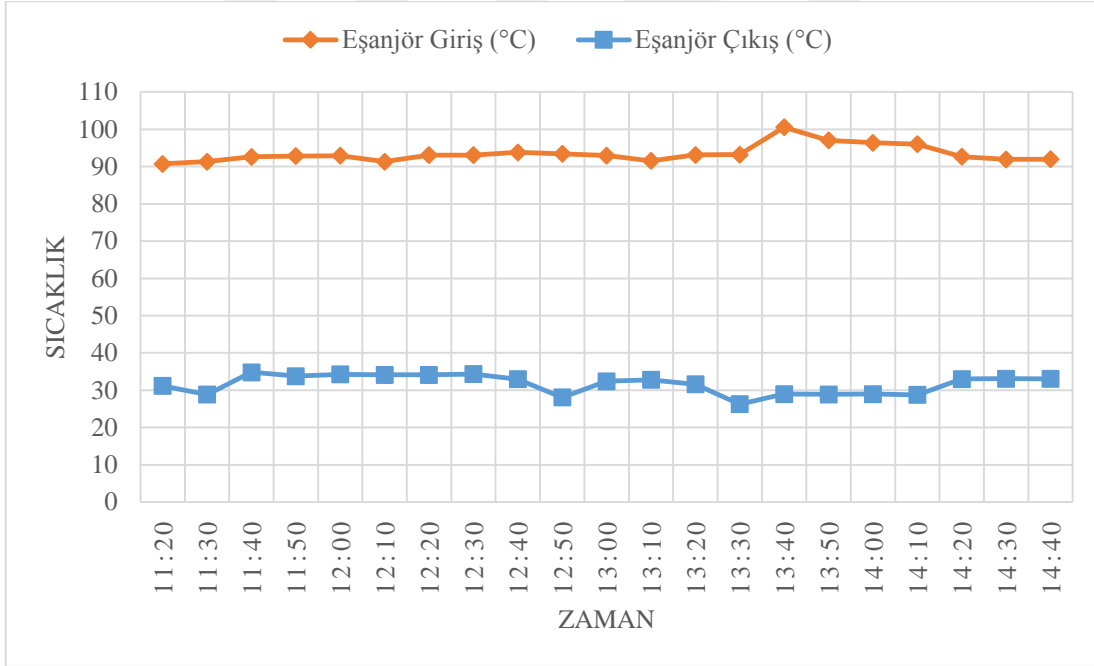
$$\eta = \frac{470,2 \text{ W}}{1024 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 2,7 \text{ m}^2} = 0,17$$

ortalama %17 olarak hesaplanmıştır.

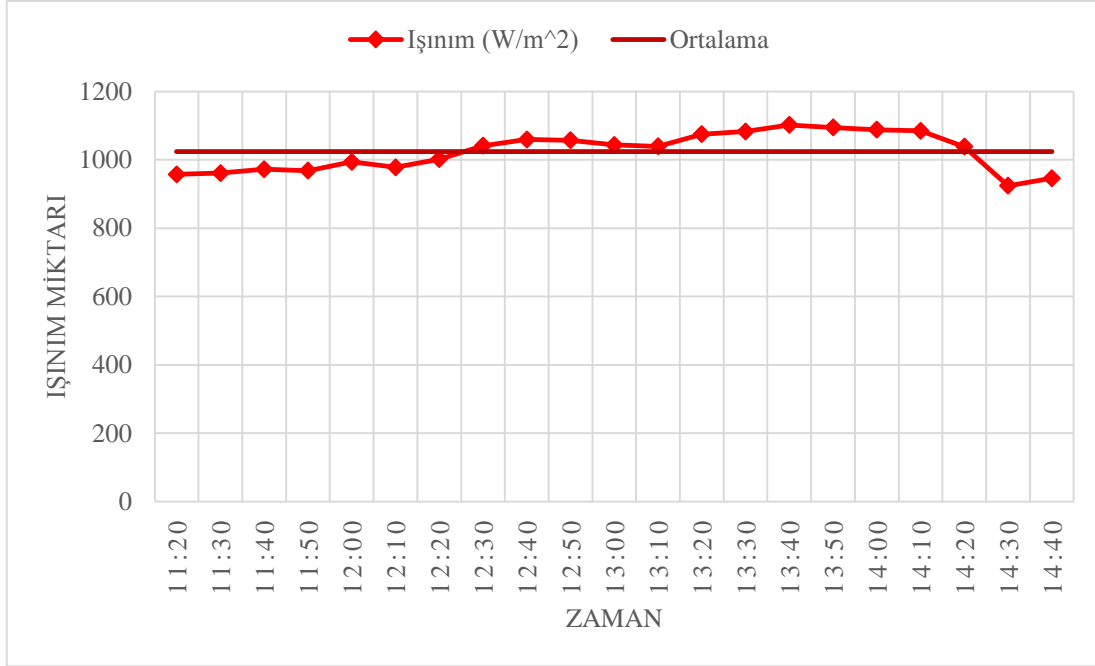
Deney süresince elde edilen bulgular grafik biçiminde Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (26.08.2020)



Şekil 3.11. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (26.08.2020)



Şekil 3.12. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (26.08.2020)

3.5. 03.09.2020 Tarihli Deney

Deney 11.00-13.30 saatleri arasında yapılmıştır. Deney süresince maksimum odak sıcaklığı 310 °C olarak ölçülmüş ve 2000 ml tatlı su üretimi gerçekleştirilmiştir.

Deney süresince elde edilen veriler Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5. 03.09.2020 Tarihli deney verileri

Saat	T _{k,g} (°C)	T _{k,ç} (°C)	T _{e,g} (°C)	T _{e,ç} (°C)	I (W/m ²)
11.00	45,45	95,44	90,61	24,64	948,9
11.10	43,1	173,19	90,96	23,54	949,1
11.20	46,67	193,91	90,77	22,93	958
11.30	40,33	175,83	90,92	22,59	924,3
11.40	44,23	173,17	91,14	23,43	918,6
11.50	57,1	196,66	91,09	23,31	942,9
12.00	55,85	187,3	91,5	23,56	979
12.10	53,56	173,23	91,88	23,25	923,5
12.20	49,64	175,53	91,83	23,45	1000
12.30	47,46	168,95	91,74	23,34	929,4
12.40	47,4	154,09	91,34	23,68	931,8

Tablo 3.5'in devamı

12.50	39,06	150	91,14	23,3	910,9
13.00	41,71	153,38	91,06	24,09	913
13.10	35,84	137,9	90,89	24,17	820
13.20	36,04	142,77	90,86	24,08	843,1
13.30	37,07	190,07	92,61	24,93	1143

Sistem verimliliği Eşitlik 3.1'den,

$$\dot{m}_{\text{ort}} = 0,0002222 \text{ kg/sn (hesaplandı)}$$

$$h_{\text{fg}} = 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_f = 0,0002222 \times 2257 = 0,5015 \text{ kJ/sn} = 501,5 \text{ W}$$

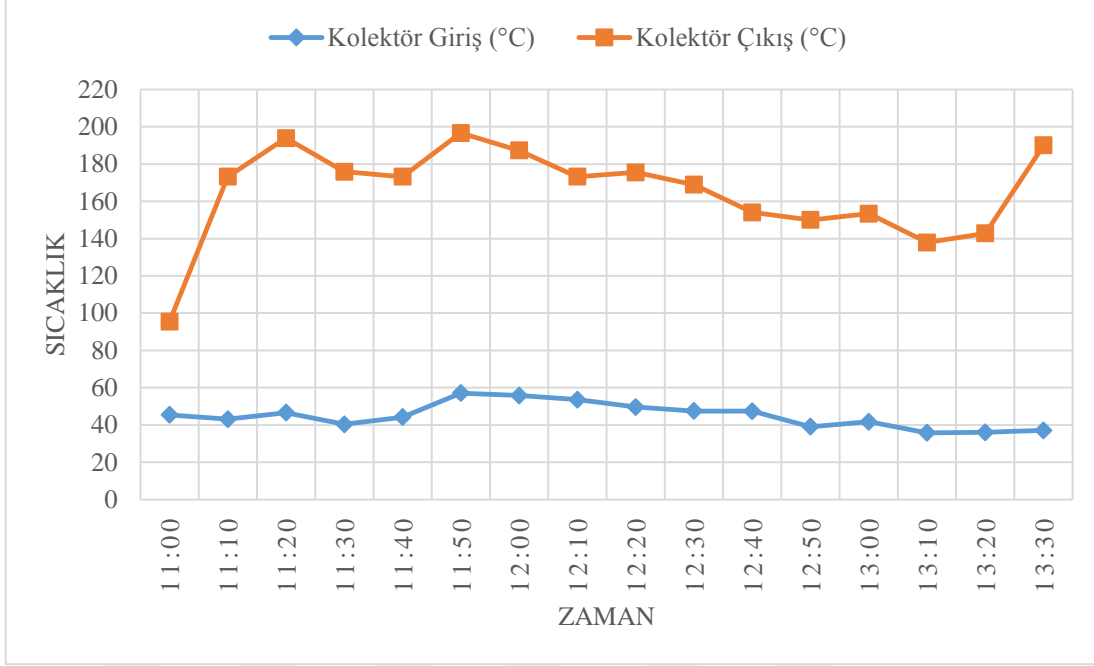
$$I_{\text{ort}} = 940 \text{ W/m}^2$$

$$A_y = 1,8 \times 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

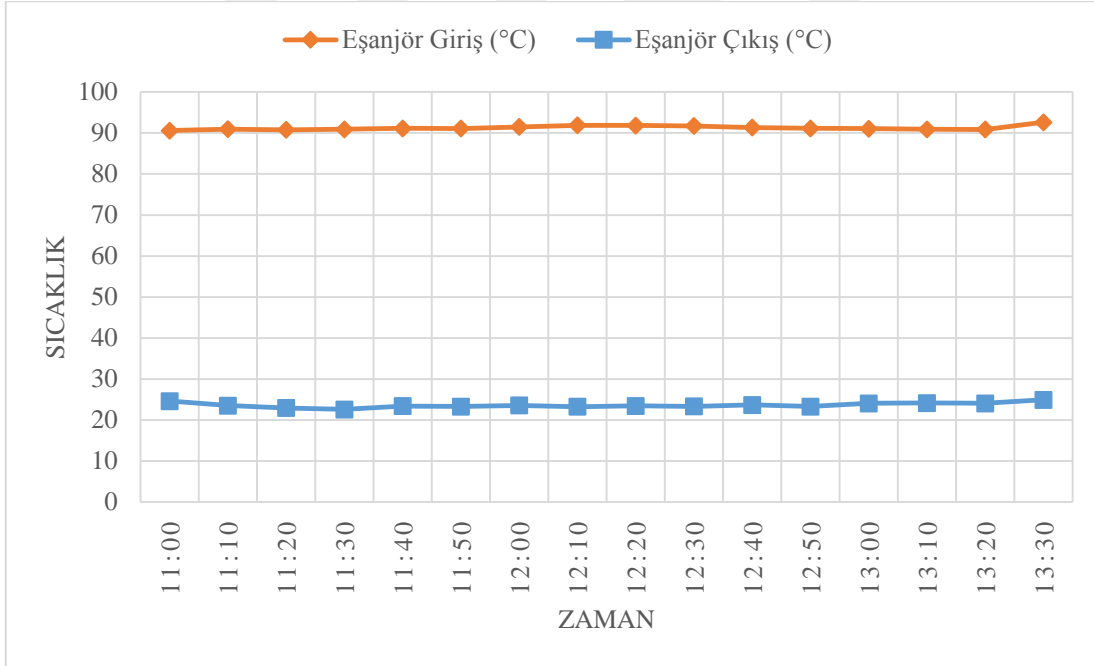
$$\eta = \frac{501,5 \text{ W}}{940 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 2,7 \text{ m}^2} = 0,1976$$

ortalama %19,76 olarak hesaplanmıştır.

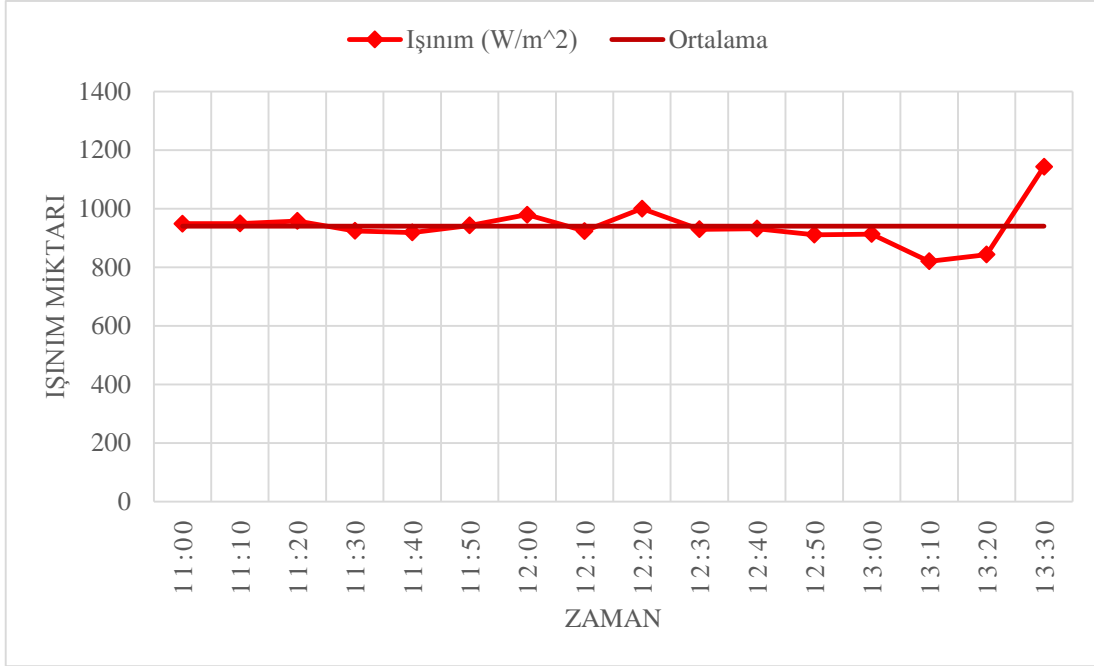
Deney süresince elde edilen bulgular grafik biçiminde Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (03.09.2020)



Şekil 3.14. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (03.09.2020)



Şekil 3.15. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (03.09.2020)

3.6. 04.09.2020 Tarihli Deney

Deney 11.00-13.00 saatleri arasında yapılmıştır. Deney süresince maksimum odak sıcaklığı 283 °C olarak ölçülmüş ve 1800 ml tatlı su üretimi gerçekleştirilmiştir.

Deney süresince elde edilen veriler Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. 04.09.2020 Tarihli deney verileri

Saat	$T_{k,g}$ (°C)	$T_{k,\varphi}$ (°C)	$T_{e,g}$ (°C)	$T_{e,\varphi}$ (°C)	I (W/m ²)
11.00	45,35	165,89	91,43	26,93	1022
11.10	46,31	198,62	91,08	25,38	1013
11.20	45,99	223,84	92	25,66	1007
11.30	43,67	198,16	92,84	25,66	977,7
11.40	46,83	187,35	92,97	25,45	1025
11.50	43,17	200,77	92,98	25,79	932,5
12.00	50,97	214,14	94,3	25,99	1043
12.10	50,23	210,32	94,47	25,51	991,2
12.20	56,95	180,96	93,17	25,3	981,6
12.30	45,83	178,12	90,1	25,51	977,1
12.40	43,82	177,45	90,39	25,74	958,5

Tablo 3.6'nın devamı

12.50	37,66	120,19	90,33	25,2	806,8
13.00	38,19	115,63	89,84	25,4	768,9

Sistem verimliliği Eşitlik 3.1'den,

$$\dot{m}_{\text{ort}} = 0,00025 \text{ kg/sn (hesaplandı)}$$

$$h_{\text{fg}} = 2257 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_f = 0,00025 \times 2257 = 0,56425 \text{ kJ/sn} = 564,25 \text{ W}$$

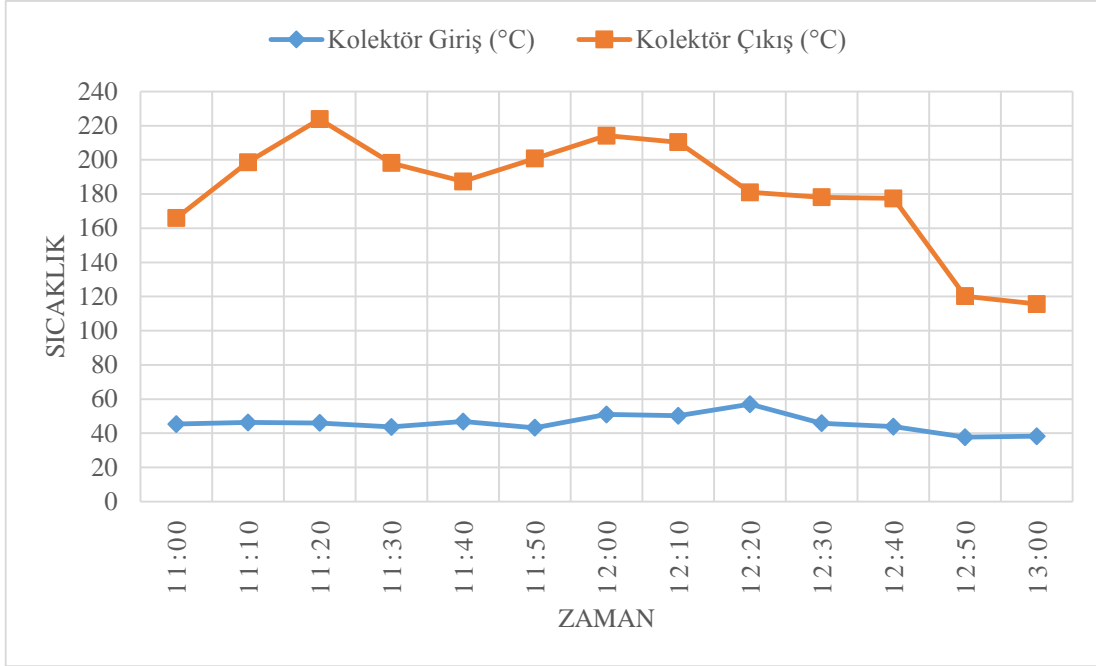
$$I_{\text{ort}} = 962 \text{ W/m}^2$$

$$A_y = 1,8 \times 1,5 = 2,7 \text{ m}^2$$

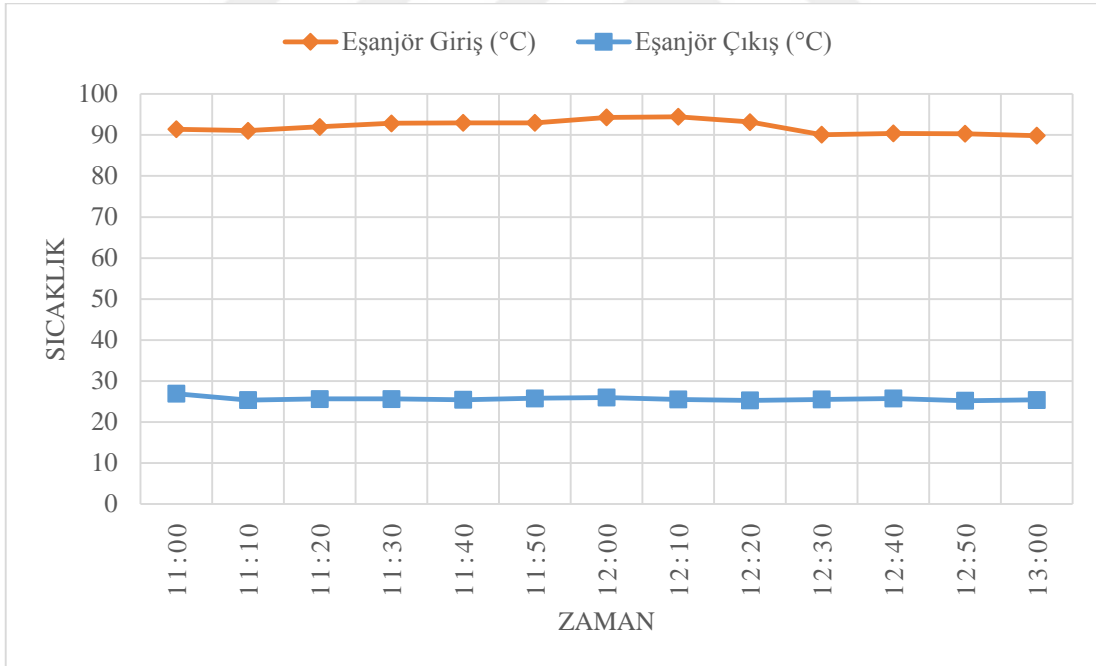
$$\eta = \frac{564,25 \text{ W}}{962 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 2,7 \text{ m}^2} = 0,2172$$

ortalama %21,72 olarak hesaplanmıştır.

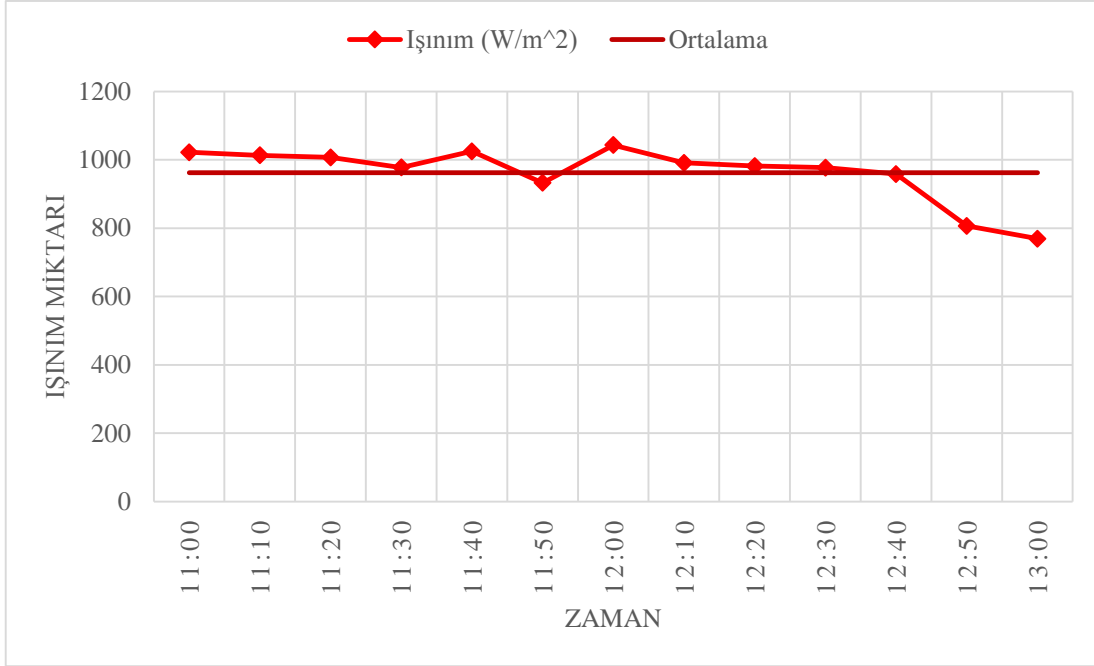
Deney süresince elde edilen bulgular grafik biçiminde Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (04.09.2020)



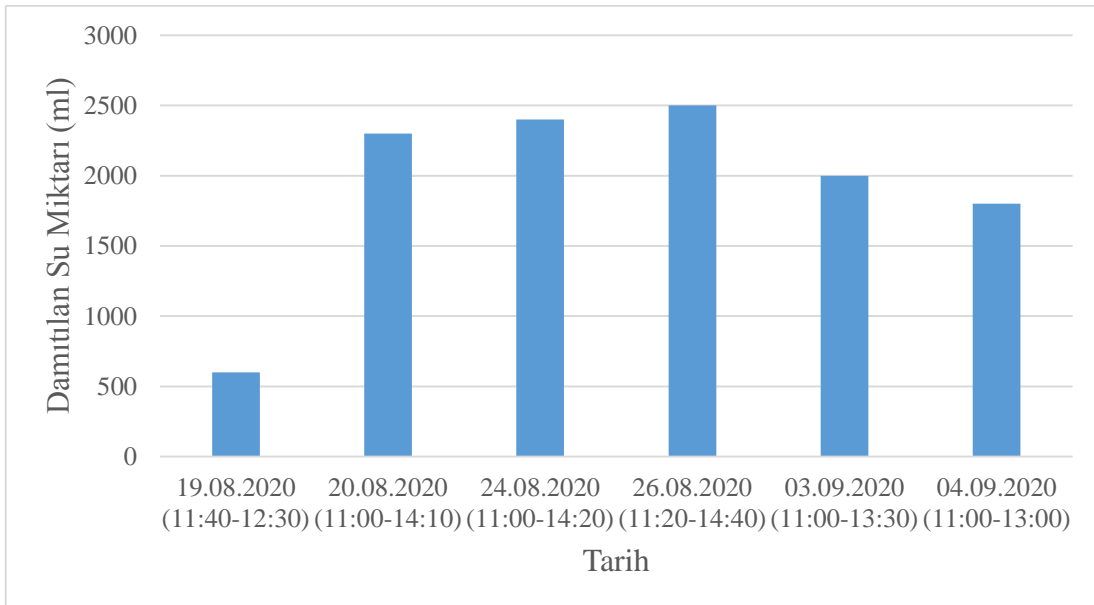
Şekil 3.17. Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi (04.09.2020)



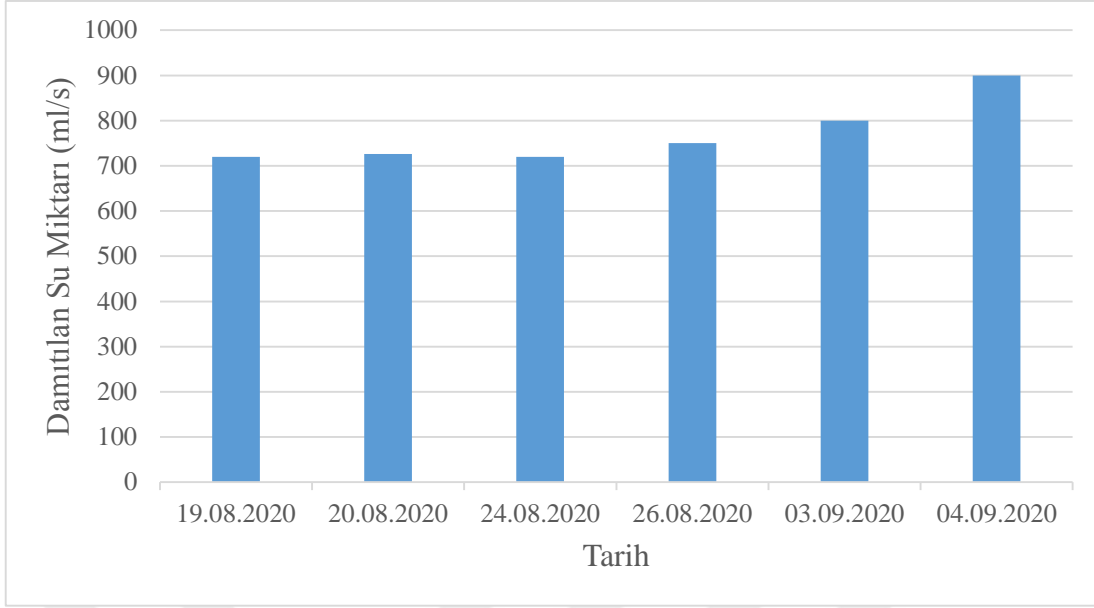
Şekil 3.18. Işınım miktarının zamana bağlı değişimi (04.09.2020)

3.7. Damıtılan Su Miktarları

19.08.2020-04.09.2020 tarihleri arasında yapılan deneylerde elde edilen damıtılan su miktarlarına ilişkin grafikler Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.19. Damıtılan su miktarının belirtilen tarih ve saatlere göre günlük değişimi



Şekil 3.20. Bir saatte damıtılan su miktarının tarihlere göre değişimi

3.8. Yapılan Çalışmalarda Belirsizlik Analizi

Yapılan çalışmaların deneysel olarak yürütülmesi elde edilen sonuçların gözlenmesi ve kesin bilgiler vermesi bakımından son derece önemlidir. Ancak deneysel çalışmalarda, sonuç kadar önemli bir diğer konu; ölçümlerin doğruluğudur. Ölçümlerdeki hataların tespiti için yapılan belirsizlik analizi ile en büyük hataya neden olan değişken tespit edilebilir ve uygun ölçüm yöntemi veya aracı belirlenebilir.

Deneysel hatalar (URL-6, 2020):

- Dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hatalar (Ölçüm cihazı seçimi ve ölçüm sistemlerinin yanlış tasarımı nedeniyle oluşur.)
- Sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalar (Ölçümde sürekli ve öngörülebilir miktarda olan hatalardır. Yanlış kalibrasyon, sınırlı hassasiyet, cihazın ortam koşullarından etkilenmesi vb. durumlar nedeniyle oluşur.)
- Rastgele hatalar (Ölçüm koşullarındaki öngörülemeyen ve kontrol edilemeyen değişikliklerdir.)

olarak üç grupta toplanabilir.

Herhangi bir parametredeki toplam belirsizlik,

$$\frac{W_R}{R} = [(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots + (x_n)^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Deneylede sıcaklık ölçümünden kaynaklanan belirsizlikler:

- (a1) Termoeleman çiftlerinden kaynaklanan belirsizlik = ±%0,5
- (b1) Veri kayıt cihazından kaynaklanan belirsizlik = ±%0,5
- (c1) Veri kayıt cihazı bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan belirsizlik = ±%0,1
- (d1) Dijital termometreden kaynaklanan belirsizlik = ±%0,5
- (e1) Dijital termometre bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan belirsizlik = ±%0,1
- (f1) Kolektör girişinde sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama belirsizlik = ±%1
- (g1) Kolektör çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama belirsizlik = ±%1
- (h1) Eşanjör girişinde sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama belirsizlik = ±%1
- (i1) Eşanjör çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama belirsizlik = ±%1
- (j1) Kolektörün odak sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama belirsizlik = ±%1

Deneylede ışıınım ölçümünden kaynaklanan belirsizlikler:

- (a2) Solarimetreden kaynaklanan ortalama belirsizlik = ±%5
- (b2) Solarimetrenin yerleştirildiği konumdan kaynaklanan belirsizlik = ±%2

Yukarıda belirtilen belirsizlikler dikkate alınarak Eşitlik 3.2'den toplam belirsizlik hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Yapılan çalışmalarda meydana gelen toplam belirsizlikler

Ölçüm Noktası	Oluşturulan Denklem	Toplam Belirsizlik
Kolektör Girişi	$\frac{w_{T_{k,g}}}{T_{k,g}} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2 + (f_1)^2]^{1/2}$	$\pm\%1,23$
Kolektör Çıkışı	$\frac{w_{T_{k,\zeta}}}{T_{k,\zeta}} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2 + (g_1)^2]^{1/2}$	$\pm\%1,23$
Eşanjör Girişi	$\frac{w_{T_{e,g}}}{T_{e,g}} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2 + (h_1)^2]^{1/2}$	$\pm\%1,23$
Eşanjör Çıkışı	$\frac{w_{T_{e,\zeta}}}{T_{e,\zeta}} = [(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2 + (i_1)^2]^{1/2}$	$\pm\%1,23$
Kolektör Odağı	$\frac{w_{T_{k,o}}}{T_{k,o}} = [(a_1)^2 + (d_1)^2 + (e_1)^2 + (j_1)^2]^{1/2}$	$\pm\%1,23$
Işınım	$\frac{w_I}{I} = [(a_2)^2 + (b_2)^2]^{1/2}$	$\pm\%5,4$

Sistem verimi Eşitlik 3.1'den,

$$\eta = \frac{\dot{Q}_f}{I \times A_y} = \frac{\dot{m} \times h_{fg}}{I \times A_y}$$

$$A_y = W_k \cdot L_k$$

Verim için belirsizlik ifadesi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$w_\eta = \left[\left(\frac{\partial \eta}{\partial \dot{m}} w_{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial h_{fg}} w_{h_{fg}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I} w_I \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial W_k} w_{W_k} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial L_k} w_{L_k} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3 düzenlenirse sistem veriminin belirsizliği ortaya çıkar.

$$\frac{w_\eta}{\eta} = \left[\left(\frac{w_{\dot{m}}}{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{w_{h_{fg}}}{h_{fg}} \right)^2 + \left(-\frac{w_I}{I} \right)^2 + \left(-\frac{w_{W_k}}{W_k} \right)^2 + \left(-\frac{w_{L_k}}{L_k} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

Termofiziksel özelliklerin belirsizliği $\pm\%5$ ve geometrik parametrelerin belirsizliği $\pm\%2$ olarak alınmıştır (Kırtepe ve Özbalta, 2018).

Kütleli debinin ölçümü ve hesaplanmasında belirsizlik $\pm\%2$ olarak alınmıştır.

Işınım ölçümündeki belirsizlik $\pm\%5,4$ olarak hesaplanmıştır.

Sistem verimine ait belirsizlik Eşitlik 3.4'ten,

$$\frac{w_{\eta}}{\eta} = [(0,02)^2 + (0,05)^2 + (0,054)^2 + (-0,02)^2 + (-0,02)^2]^{1/2} = 0,081 = \%8,1$$

olarak hesaplanır.



4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, Trabzon'da yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile atık suların damıtılarak arıtılması amaçlanmıştır. Bu amaçla doğal taşınımlı bir parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile bütünleşik damıtma sistemi tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Sistem tatlı su üretim miktarı (üretkenlik) ve verimlilik açısından incelenmiştir. Deneylerde kullanılan atık su Karadeniz Teknik Üniversitesinin kuzeybatı kesiminde bulunan balıkçı barınaklarının olduğu bölgede deniz kıyısından alınmıştır.

Deneyler farklı günlerde 10.00-15.00 saatleri arasında belirli zaman dilimlerinde yapılmıştır. Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde ışıının önemli bir kriter olduğu ve bu açıdan bulutsuz gün ve zaman dilimlerinin sistem performansı için gerekli olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün odağında 321 °C'ye ulaşılmıştır. Bu sayede literatürde ifade edilen tasarım kriterlerinin uygulamada sağlandığı doğrulanmıştır.
2. Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde ışıının önemli bir kriter olduğu ve bu açıdan bulutsuz gün ve zaman dilimlerinin sistem performansı için gerekli olduğu görülmüştür.
3. Buharlaştırma prosesinin literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak alıcı boruda meydana gelmesi ve doymuş buhar seviyesinin oldukça üzerine çıkılması (kızgın buhar elde edilmesi) ile atık sudaki bakteri ve virüslerin arındırılabilabileceği ortaya konmuştur.
4. Sistem veriminin %16,34 ile %21,72 arasında değiştiği tespit edilmiştir.
5. Sistemde saatlik damıtılan su miktarının farklı gün ve zaman dilimleri için yakın değerler izlediği görülmüştür. En yüksek damıtma miktarı 900 ml/s olarak kaydedilmiştir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmanın bilimsel verilere katkıda bulunacağı ve aşağıda belirtilen önerilerin dikkate alınmasıyla daha iyi sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

1. Kolektör odağına yerleştirilen alıcı boru vakumlu tipte imal edilerek çevreye olan ısı kayıpları azaltılabilir ve bu sayede verim artırılabilir.
2. Sistem güneş takip sistemi ile kontrol edilerek güneş ışınımından optimum seviyede yararlanılabilir.
3. Seri ve/veya paralel bağlı kolektörler ile buharlaşma miktarı artırılabilir ve su buharının yoğunlaştırılması ile geri dönüştürülebilir su miktarı da artırılmış olur.
4. Kolektör girişinde şamandıralı bir su haznesi kullanılarak yarı dolu kolektör boyunca buharlaşan su miktarı ile orantılı bir su girişi sağlanabilir.
5. Buharlaşmanın ve yoğunlaşmanın meydana geldiği tüm yüzeyler paslanmaz malzemeden imal edilerek üretilen tatlı su içerisinde oluşabilecek metal miktarı sınırlandırılabilir.
6. Yoğunlaşmanın sağlanması amacıyla kullanılan soğutma suyu, toprak kaynaklı bir ısı pompası ile sağlanabilir.
7. Sistemin elektrik enerjisi ihtiyacı entegre bir fotovoltaik panel ile sağlanabilir.
8. Yansıtıcı yüzey ile entegre 3-geçişli alıcı boru tasarımının kullanım sıcak suyu üretimi için konvansiyonel kolektörlere göre performansı incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abderachid, T. ve Abdenacer, K., 2013. Effect of orientation on the performance of a symmetric solar still with a double effect solar still (comparison study), Desalination, 329, 68-77.
- Abujazar, M.S.S., Fatihah, S., Lotfy, E.R., Kabeel, A.E. ve Sharil, S., 2018. Performance evaluation of inclined copper-stepped solar still in a wet tropical climate, Desalination, 425, 94-103.
- Aksungur, K.M., Kurban, M. ve Filik, Ü.B., 2013. Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, EVK'2013, 5.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli.
- Al-Hamadani, A.A.F. ve Shukla, S.K., 2013. Performance of Single Slope Solar Still with Solar Protected Condenser, Distributed Generation & Alternative Energy Journal, 28(2), 6-28.
- Arun, C.A. ve Sreekumar, P.C., 2018. Modeling and performance evaluation of parabolic trough solar collector desalination system. Materials Today: Proceedings, 5(1), 780-788.
- Aybar, H. Ş., Egelioglu, F. ve Atikol, U., 2005. An experimental study on an inclined solar water distillation system, Desalination, 180, 1-3, 285-289.
- Baker, R.W., 2004. Membrane Technology and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, England, 535 s.
- Buros, O. K., 1990. The ABC's of Desalting, International Desalination Association, Topsfield, Massachusetts.
- Chaouchi, B., Zrelli, A. ve Gabsi, S., 2007. Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator. Desalination, 217, 1-3, 118-126.
- Chen, J.P., Wang, L.K., Yang, L. ve Zheng, Y.-M., 2011. Desalination of Seawater by Thermal Distillation and Electrodialysis Technologies, Handbook of Environmental Engineering, Volume 12, Membrane and Desalination Technologies, First Edition, Humana Press, New York, 699 s.
- Cingiz, Z., 2007. Güneş Enerjisiyle Deniz Suyu Damıtılması Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çağlar, A. ve Talay, İ.B., 2019. Tasarım Parametrelerinin Parabolik Oluk Tipi Bir Güneş Kollektörünün Performansına Etkisi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24, 2, 15-24.
- Çakmak, R. ve Altaş, İ.H., 2013. Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Güneş Enerjisi Potansiyeli: Trabzon İli Örneği, 3e Electrotech Dergisi, 4, 256-262.

- Çolak, L., 2003. Güneşi Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Matematiksel Modellemesi, Tasarımı ve Teknik Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dev, R., Abdul-Wahab, S.A. ve Tiwari, G.N., 2011. Performance study of the inverted absorber solar still with water depth and total dissolved solid, Applied Energy, 88, 1, 252-264.
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition, John Wiley & Sons Ltd, New Jersey, 887 s.
- El, E., 2013. Sıcak Su Kollektörü ile Birleştirilmiş Damıtma Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- El-Samadony, Y.A.F., El-Maghlany, W.M. ve Kabeel, A.E., 2016. Influence of glass cover inclination angle on radiation heat transfer rate within stepped solar still, Desalination, 384, 68-77.
- Essa, F.A., Kabeel, A.E. ve Omara, Z.M., 2015. Effect of using nanofluids and providing vacuum on the yield of corrugated wick solar still. Energy Conversion and Management, 103, 965-972.
- Fath, H.S.E. ve Elsherbiny, S.M., 1993. Effect of adding a passive condenser on solar still performance, Energy Conversion and Management, 34, 63-73.
- Fathy, M., Hassan, H. ve Salem Ahmed, M., 2018. Experimental study on the effect of coupling parabolic trough collector with double slope solar still on its performance, Solar Energy, 163, 54-61.
- Forristall, R., 2003. Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver (NREL/TP-550-34169), Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, Golden.
- Hassan, H., Ahmed, M. S. ve Fathy, M., 2019. Experimental work on the effect of saline water medium on the performance of solar still with tracked parabolic trough collector (TPTC). Renewable Energy, 135, 136-147.
- Kalogirou, S., 2014. Solar Energy Engineering: Processes and Systems, Second Edition, Elsevier, United States of America, 813 s.
- Kantaroglu, Ö., 2005. Sıhhi Tesisat Teknolojisi, 1.Baskı, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara, 870 s.
- Kırtepe, E. ve Özbalta, N., 2018. Kanatlı-borulu ısı değıştiricilerde belirsizlik analizi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 9, 1, 161-175.
- Koyuncu, İ. ve Şengür-Taşdemir, R., 2018. Su/Atıksu Arıtılmasında ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları, Editör: Koyuncu, İ., Cilt:1 Membran Teknolojileri ve Su Arıtma, Bölüm 1:Giriş, 1.Baskı, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara, 588 s.

- Kumar, S., Dubey, A. ve Tiwari, G. N., 2014. A solar still augmented with an evacuated tube collector in forced mode, Desalination, 347, 15-24.
- Kumar, A., Vyas, S. ve Nchelatebe Nkwetta, D., 2020. Experimental study of single slope solar still coupled with parabolic trough collector. Materials Science for Energy Technologies, 3, 700-708.
- Liang, H., You, S. ve Zhang, H., 2015. Comparison of different heat transfer models for parabolic trough solar collectors, Applied Energy, 148, 105-114.
- Macedonio, F. ve Drioli, A.E., 2017. Membrane Distillation and Osmotic Distillation. Comprehensive Membrane Science and Engineering, 3, 282-296.
- Manikandan, V., Shanmugasundaram, K., Shanmugan, S., Janarthanan, B. ve Chandrasekaran, J., 2013. Wick type solar stills: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 322-335.
- Mechell, J.K. ve Lesikar, B., 2010. Desalination Methods for Producing Drinking Water, Texas A&M AgriLife Extension Service, College Station, Texas, ABD.
- Mhmoud, M., 2012. Parabolik Yoğunlaştırıcı Toplayıcıların Sayısal Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Miller, J.E., 2003. Review of Water Resources and Desalination Technologies (SAND 2003-0800), Sandia National Laboratories, California.
- Muftah, A.F., Sopian, K. ve Alghoul, M.A., 2018. Performance of basin type stepped solar still enhanced with superior design concepts, Desalination, 435, 198-209.
- Öztürk, H.H., 2008. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, 1.Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 277 s.
- Öztürk, Y., 2004. Güneş Enerjisiyle Tuzlu Su Damıtması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Rajaseenivasan, T., Murugavel, K.K., Elango, T. ve Hansen, R.S., 2013. A review of different methods to enhance the productivity of the multi-effect solar still, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17, 248-259.
- Sampathkumar, K., Arjunan, T.V., Pitchandi, P. ve Senthilkumar, P., 2010. Active solar distillation-A detailed review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 6, 1503-1526.
- Şanlı, G., 2010. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Tiwari, G.N., Dimri, V. ve Chel, A., 2009. Parametric study of an active and passive solar distillation system: Energy and exergy analysis, Desalination, 242, 1-3, 1-18.
- Tiwari, G.N. ve Sahota, L., 2017. Review on the energy and economic efficiencies of passive and active solar distillation Systems, Desalination, 401, 151-179.

URL-1, http://www.gidamo.org.tr/resimler/ekler/2c153160fde18a0_ek.pdf?tipi=1&turu=H&sube=3. 19 Mart 2020.

URL-2, http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-su-politikasi.tr.mfa. 19 Mart 2020.

URL-3, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>. 04 Nisan 2020.

URL-4, <https://www.schott.com/d/tubing/9a0f5126-6e35-43bd-bf2a-349912caf9f2/schott-lgae-brochure-borosilicate.pdf>. 11 Nisan 2020.

URL-5, http://www.hidra.com.tr/urun.goster_buhar-seperatoru.html. 08.10.2020.

URL-6, http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/81120_2054551984.pdf. 08.10.2020.



EK 2. Seviye Sensörlü Pompa Arduino Kodu

```
const int susensoru=3;
const int in1=7;
const int in2=8;
void setup() {
  pinMode(susensoru, INPUT);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int suseviyedurumu=digitalRead(susensoru);
  Serial.println(suseviyedurumu);
  if (suseviyedurumu==HIGH)
  {
    digitalWrite(in1,HIGH);
    digitalWrite(in2,LOW);
    delay(5000);
    digitalWrite(in1,LOW);
    digitalWrite(in2,LOW);
  }
  if (suseviyedurumu==LOW)
  {
    digitalWrite(in1,LOW);
    digitalWrite(in2,LOW);
  }
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Veysel DEMİRCİ, 1989 yılında Rize’de doğdu. Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2012 yılında mezun oldu. 2012-2017 yılları arasında sırasıyla Lazer Isı Mühendislikte proje mühendisi, Özgün Mühendislikte saha mühendisi ve Ergonomi İnşaatta mekanik işler şefi olarak mekanik tesisat taahhüt işlerinde Rize, Trabzon ve İstanbul’da birçok proje tamamladı. 2017 yılı sonundan itibaren KTÜ Arsin Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü’nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Evlidir, Bayram ve Muhammed Taha adında iki oğlu vardır.

