

Damıtma Sistemlerinde Absorbsiyonlu Soğutma Çevrimlerinin Kullanımının Değerlendirilmesi ve Yeni Bir Sistem Tasarımı

Doğan Burak SAYDAM¹, Ertaç HÜRDOĞAN^{2*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, 80000, Osmaniye, Türkiye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-1054-9964>

²<https://orcid.org/0000-0001-8453-2917>

*Sorumlu yazar: ehurdogan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.06.2022

Kabul tarihi: 22.08.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Damıtma

Yenilenebilir enerji

Atık ısı

Absorbsiyonlu soğutma

Küresel ısınmanın etkilerinin çok daha fazla hissedildiği günümüzde, kuraklık en önemli problemlerden biridir. İklimdeki değişkenlikler, yağış miktarındaki azalma, şehirleşmenin fazla olması, nüfus artışına bağlı olarak su talebinin artması, ormanlık ve yeşil alanların azalması, kuraklığın şiddetli olarak görülmesine neden olmaktadır. Dünya üzerindeki suyun çok büyük bir kısmının deniz suyu, geri kalan kısmının ise insanlar tarafından değerlendirilebilecek su olduğu bilinmektedir. Kuraklığın etkilerinin azaltılmasına yönelik ele alınması ve geliştirilmesi gereken önemli konulardan biri, tuzlu suyun temiz suya dönüştürülmesinde kullanılan damıtma sistemleridir. Bu çalışmada öncelikle damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin (AS) kullanımı ve damıtma sistemlerinde elde edilecek temiz su miktarı ve kazanç çıkış oranı gibi performans kriterlerine etkisi literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, atık ısı ve güneş enerjisi gibi kaynakların değerlendirildiği AS'nin damıtma sistemlerinde kullanımı ile geleneksel güneş enerjili damıtma sistemlerine göre daha yüksek performans elde edilebileceği görülmüştür. Bu değerlendirmeler sonucunda AS'nin kullanıldığı yeni bir damıtma sistemi tasarımı yapılarak çalışmada sunulmuştur.

Evaluation of the Usage of Absorption Refrigeration Cycles in Desalination Systems and Design of a New System

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 08.06.2022

Accepted: 22.08.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Desalination

Renewable energy

Waste heat

Absorption cooling

Today, where global warming is felt much more, drought is one of the most critical problems. Changes in climate, decrease in precipitation, high urbanization, increase in water demand due to population growth, and decrease in forest and green areas cause severe drought. It is known that most of the water on Earth is seawater, and the rest is water that humans can utilize. Therefore, one essential issue that needs to be addressed and developed to reduce the effects of drought is the distillation systems used to convert salt water into clean water. This study firstly examines the usage of absorption refrigeration cycles (AC) in desalination systems and their effect on performance criteria, such as the amount of clean water obtained in these systems and the gained output ratio, considering the studies in the literature. As a result of the study, it has been seen that it can achieve higher performance with the use of AC in desalination systems, where resources such as waste heat and solar energy are evaluated, compared to traditional solar desalination systems. As a result of these evaluations, a new desalination system using AS was designed and presented in the study.

1.Giriş

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve gelişen sanayinin bir sonucu olarak ihtiyaç duyulan enerji miktarı her geçen gün artmaktadır. Bugün küresel enerji tüketiminin %76'sı petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Mevcut teknoloji seviyesi ve yapılan tahminler 2050 yılında toplam dünya enerji talebinin %70'inin fosil yakıtlarla karşılanmaya devam edeceğini göstermektedir. Ancak fosil kaynakların yenilenemez oluşu ve çevreyi kirletebilmesi, son yıllarda yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının önemini ortaya koymuştur (Bayazıt, 2021). İnsan faaliyetleri kaynaklı olarak küresel sıcaklık, sanayi devriminden bu yana 1°C artmış ve bu sıcaklığın 2030 ile 2050 yılları arasında 1,5°C'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. İklimin, hidrolojik döngüyü kontrol eden çok önemli bir faktör olmasından dolayı iklim değişikliğinin olası etkileri endişe verici düzeydedir (Aykut, 2021). Küresel ısınmanın sonuçlarından biri, buzul erimelerine ek olarak okyanus sınırlarının genişlemesi nedeniyle deniz seviyelerinin yükselmesidir. Deniz seviyesindeki artışın 2100 yılında yaklaşık 1 metre olması beklenmektedir. Bu durum özellikle kıyı akiferlerine (yeraltı su tabakası) tuzlu su girmesine neden olacaktır (Şen, 2015). Tatlı su kaynaklarının tahrip olmasının yanı sıra, küresel ısınma ve artan iklim değişikliği, dünyada özellikle orta ve yüksek enlemlerde yer alan birçok nehir havzasında kuraklık olayına yol açmıştır. Bunun yanı sıra küresel sıcaklıktaki artış, dünya çapında kuraklık oluşumunun karmaşıklığını ve ciddiyetini daha da kötüleştirmektedir. Dünya genelinde kuraklık oluşumu doğal afetlerin yaklaşık %5'ini oluştururken, kuraklık küresel nüfusun %30'unu etkilemektedir (Lu ve ark., 2017; Lu ve ark., 2019; Santos ve ark., 2021). Kuraklık ve sel olaylarının ana nedenleri, yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerdeki kısa vadeli iklim değişiklikleri ve uzun vadeli (onlarca yıllık) iklim değişikliği etkileridir (Şen, 2015). Kuraklık, en yıkıcı ve geniş kapsamlı felaketlerden biridir ve tarımsal üretim, ekonomik kalkınma ve insan geçim kaynakları üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Son yıllarda, dünyadaki birçok ülke, aşırı derecede şiddetli kuraklık olaylarından kaynaklanan büyük maddi hasar yaşamaktadır (Wu ve ark., 2021).

İklim, su ve insan faaliyetleri birbirine sıkı sıkıya bağlıdır. Bu birliktelikte yaşanabilecek büyük ölçekli değişkenlikler, özellikle su güvenliğini dünya çapında önemli bir konu haline getirmektedir (Mishra ve ark., 2020). Dünya nüfusu 20.yüzyılda üç kat artarken su kullanımı ise altı kat artmıştır (Delipınar ve Karpuzcu 2017). Dünya nüfusunun yaklaşık %36'sı suyun kıt olduğu bölgelerde yaşamaktadır. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yarısından fazlasının su kıtlığı riski altında olacağı bildirilmektedir (Kharraz ve ark., 2022). Yeryüzünde mevcut su miktarının tamamının 1.41 km³ olduğu hesaplanmıştır. Su kaynağının %90'lık bölümünün yüksek tuzluluk oranında denizlerde bulunduğu ve insan kullanımına elverişli olmadığı bilinmektedir. Mevcut suyun kalan %6'lık bölümünü katı halde buzullar ve %4'lük kısmını ise göletler, göller, nehirler ve yeraltı suları oluşturmaktadır. Kullanılabilir mevcut suyun patojenler ve zararlı bakteriler içermesinden dolayı

doğrudan tüketilmesi tavsiye edilmemektedir. Bu tür kirli suların kullanılması tifo, kolera, ishal ve sıtma gibi ciddi hastalıklara neden olmakta ve kirli su kullanımı her yıl 4 milyon insanı öldürmektedir (Bhardwaj ve ark., 2013; Zhang 2018; Naveenkumar, 2020). Su insanın hayati fonksiyonlarının sürdürülebilirliği açısından temel bir besin kaynağıdır. Kullanılabilir iki ana su kaynağı bulunmaktadır. Birincisi yeraltı su kaynakları, ikincisi ise yüzey suyu (nehir, dere, baraj, göl, gölet vb.) kaynaklarıdır. Fakat içme suyu kaynakları, insan nüfusundaki hızlı artış, kentleşme ve endüstriyel büyümenin bir sonucu olarak hızla kirlenmektedir. Su kirliliği, insan sağlığı için iyi olmayan niteliksiz, düşük kaliteli su anlamına gelmektedir (Turhan, 2019). Su mevcudiyeti genellikle depolanmış su (barajlar ve akiferler) kullanımı ve yeni su kaynakları, özellikle yeraltı suları ve tuzdan arındırılmış, acı su veya geri kazanılmış atık sular vasıtasıyla artırılmaktadır (Berbel ve Esteban, 2019).

Literatürde, ülke ve bölgedeki su kıtlığı veya su stresinin tanımlanabilmesi için Falkenmark indeksi kullanılmaktadır (Falkenmark, 1979). Bu indeks kişi başına düşen su miktarına göre oluşturulmuştur. İndekse göre kişi başına düşen su miktarı 1.700 m^3 'ten fazla olması durumunda su sorunu olmayan, $1.700-1.000 \text{ m}^3$ arasında su sıkıntısı olan, $1.000-500 \text{ m}^3$ arasında su kıtlığı olan, 500 m^3 'ten az olması durumunda ise mutlak su kıtlığı olan, olarak tanımlanmaktadır. Mevsim ortalama sıcaklıklarının her geçen yıl yükselmesi, mevsimsel yağış rejimindeki düzensizlikler, yağış miktarındaki azalma ve küresel ısınmanın global ve lokal bazdaki olumsuz etkileri göz önüne alındığında bir takım proaktif çalışmaların gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında, ele alınması ve geliştirilmesi gereken önemli konulardan biri tuzlu suyun temiz suya dönüştürülmesinde kullanılan damıtma sistemleridir.

Damıtma teknolojileri son yıllarda hızla gelişim kaydetmiştir. Tatlı su üretimi için çeşitli karmaşık tuzdan arındırma yöntemleri mevcut olsa da bu teknolojiyi geliştirmek ve tuzdan arındırma maliyetini azaltmak için kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülmektedir. Ticari olarak kabul edilebilir, ekonomik olarak uygulanabilir ve güvenilir tuz giderme işlemleri iki ana yöntemeye dayanmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan termal damıtma yöntemi, faz değişim işlemlerine dayanmakta ve çok aşamalı flaş damıtma (MSF), çok etkili damıtma (MED), güneş havuzu (SS), nemlendirme-nem alma (HDH) ve buhar sıkıştırma (VC) gibi farklı çeşitleri bulunmaktadır. İkinci yöntem olarak membran damıtma yöntemi ise, ters osmoz (RO) ve elektrodializ (ED) işlemlerini içermektedir (Khawaji ve ark., 2008; Khan ve ark., 2018; Xu ve ark., 2019). Isıl enerjiyle çalışan damıtma sistemlerinin önemli performans kriterleri, elde edilen (üretilecek) temiz su miktarı ve performans oranıdır (Gained Output Ratio, GOR). GOR, elde edilen temiz suyu buharlaştırmak için gerekli gizli ısı miktarının, sisteme giren toplam ısı miktarına oranı olarak ifade edilmektedir (Narayan ve ark., 2010). Literatürde damıtma sistemlerinde tatlı su üretim performansının artırılması, sistemde kullanılan ekipmanların verimliliğinin artırılması ile ilgili farklı yeniliklerin yer aldığı çalışmalar bulunmaktadır. Sharshir ve ark., (2016) güneş enerjisi destekli nemlendirme ve nem alma teknolojisine sahip bir damıtma sisteminin performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada

yazarlar sistem verimini artırmak için proses sonucunda açığa çıkan sıcak atık suyun sistemde ön ısıtma işleminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonunda ön ısıtma işleminin GOR değerini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Sharshir ve ark., 2016). Faegh ve Shafii (2019), HDH'li bir damıtma sistemine entegre edilen ısı pompasının sistem performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada yazarlar, HDH sistemlerinde yer alan nem alma ünitesini çıkartarak, nem alma işleminde ısı pompasının buharlaştırıcısını (evaporatör), deniz suyunun ısıtılması için ise ısı pompasının yoğusturucu ünitesini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ısı pompası evaporatöründe doyma sıcaklığının artırılmasının, kompresörün daha düşük sıkıştırma işi ile daha yüksek soğutma etkisine yol açtığını ve bu durumun da sistemin GOR değerini artırarak havanın daha fazla neminin alınmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Guo ve ark., (2019), sprey buharlaştırma tankının (SET) bulunduğu yeni bir, çok etkili sprey buharlaştırma damıtma (SE-MED) sistemi tasarlamışlardır. Çalışmada, değiştirilmiş SET ile %99,86'lık yüksek bir buharlaşma veriminin elde edilebileceğini sonucuna varılmıştır. Kara ve Hürdoğan (2019), toprak ısı değiştiricili güneş enerjisi destekli nemlendirme-nem alma teknolojisine sahip bir damıtma sistemi tasarlamış ve sistemin performans analizlerini Türkiye'nin güney kıyı şeridinde yer alan şehirlerin iklim koşulları için gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada toprak ısı değiştirici kullanımının sistem performansını arttırdığını tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda yazarlar, farklı sistem konfigürasyonları için performans oranı (GOR) ve elde edilen su miktarının sırasıyla 0,519 ile 0,674 ve 8,59-10,18 kg/saat arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Huang ve ark. (2020), güneş enerjisi ile çalışan ve ara yüzey buharlaşmasından ilham alarak tasarlanan deniz suyundan tuzun arındırılması için hidrofobik üç katmanlı bir membran ve iki seviyeli yeni bir güneş membranı damıtma (SMD) yapısı kullanan bir sistemin analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda, yeni iki seviyeli SMD yapısının, yoğunlaştırılmış ısıyı etkili bir şekilde yeniden kullandığı, ara yüzey buharlaşması ve buhar taşınması için daha büyük bir sıcaklık farkı sağlandığı ve bunun sonucunda da tatlı su verimliliğinin arttığı görülmüştür. Sadri ve ark., (2018), çok etkili damıtma, ters ozmos ve adsorpsiyon damıtma sistemlerinin birleştirilmesi ile yeni bir hibrit damıtma sistemi tasarlamışlar ve sistemin termodinamik ve ekserjetik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar çalışmada yeni tasarım ile su üretiminin çok etkili distilasyon ve adsorpsiyonlu damıtma sistemlerine göre iki kattan fazla arttığını ve su üretim maliyetlerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Duong ve ark., (2021), Vietnam'da uzak izole bir adada içme suyu temininde kullanılmak üzere pilot bir membran damıtma (MD) sistemini incelemişlerdir. Çalışmada MD sistemlerinde en verimli sistem olarak kabul edilen hava boşluklu membran distilasyonu (AGMD) teknolojisi kullanılmıştır. Yazarlar bu sayede sistemde kullanılan deniz suyu besleme hattında ön ısıtma yaparak pilot sistemin enerji tüketimini azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, önerilen sistem ile Vietnam içme suyu standartlarını karşılayan 46 L/h saf distilat üretebileceğini ve m³ içme suyu başına 20,5 US\$'lık bir üretim maliyetinin açığa çıkacağını öne sürmüşlerdir. Sharon (2021), yeni bir hibrit güneş havuzu (SS) damıtıcısını Hindistan'ın Chennai iklim koşulları altında termodinamik olarak modellemiş ve havzanın düşey yutucuya olan alan oranı,

difüzyon aralığı, havza su derinliği, gölge ve besleme suyu debisinin ünite performansına etkisini tüm aylar için ekserji verimliliği, ekserji yıkımı ve iyileştirme potansiyeli göstergelerini dikkate alarak incelemiştir. Çalışma sonucunda yazar, sistemin yaz mevsimlerinden ziyade kış mevsimlerinde yüksek performans gösterdiğini tespit etmiştir. Çalışmada, optimize edilmiş hibrit güneş enerjili damıtma sisteminin termal ve ekserji verimliliğini sırasıyla %56,17 ve %6,93 olarak hesaplanmıştır. Cao ve ark., (2022), biyokütle gazlaştırıcı, CO₂ döngüsü, soğutma sistemi, çok etkili damıtma (MED) ve elektrodializden oluşan birleşik yeni bir çoklu üretim sistemine sahip damıtma sisteminin enerji, ekserji ve ekonomik açıdan incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında yazarlar, modellenen sistemin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %75,1 ve %88,4 olarak hesaplamış ve en yüksek ve en düşük yok olan ekserjinin sırasıyla sıvılaştırılmış doğal gaz hattında ve elektrodialize ait olduğunu tespit etmişlerdir.

Yukarıda da bir kısmına yer verilen literatürdeki çalışmalara bakıldığında damıtma uygulamalarında sistem performansını artıracak farklı yenilikler ve bütünlük sistemlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu sistemler içerisinde özellikle son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan sistemlerden biri de mekanik buhar sıkıştırma soğutma çevrimlerine alternatif olarak sunulan, düşük sıcaklık uygulamalarında etkin bir şekilde çalışabilme ve çevreci olma özelliğine sahip absorpsiyonlu soğutma sistemleridir. Bu çalışmada, damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımı ve sistem performansına etkisi literatürde yer alan farklı çalışmalar incelenerek değerlendirilmiştir.

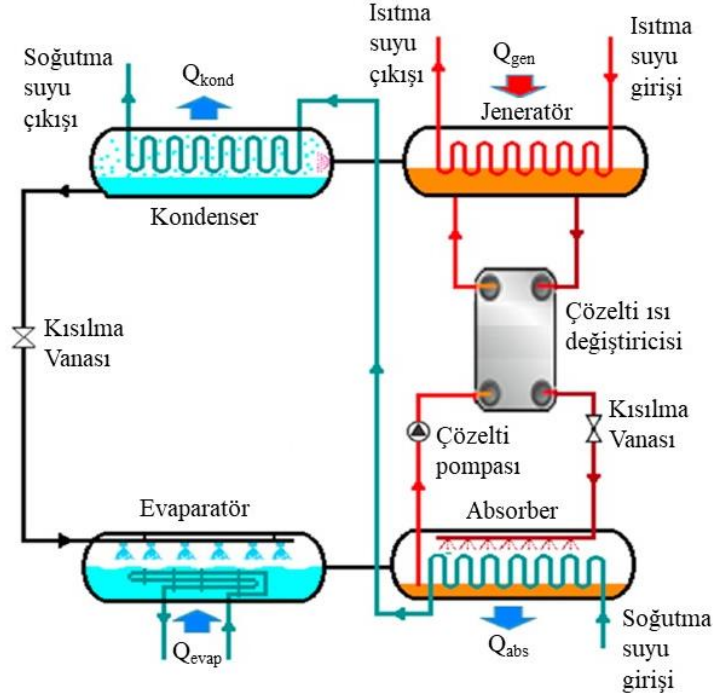
2. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri

Soğutma ve soğutma talebi, küresel enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Buhar sıkıştırma soğutma çevriminin kullanıldığı mekanik soğutma sistemlerinde (MSS), sistemin çalışabilmesi için yüksek enerji girdileri gerekmektedir. MSS'ye alternatif olabilecek ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının uygun olduğu önemli soğutma sistemlerinden biri de absorpsiyonlu soğutma sistemleridir (AS). Güneşe dayalı, termal tahrikli, absorpsiyonlu soğutma sistemleri, çevre dostu ve sürdürülebilir sistemlerdir (Altun ve Kilic 2020). MSS'de itici güç elektrik enerjisi, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ise itici güç termal enerjidir. MSS'deki temel elemanlardan biri olan ve elektrik enerjisine ihtiyaç duyan kompresörün yerini AS'de termal enerjinin kullanıldığı termik kompresör almaktadır. Termal enerji bu sistemlerde genellikle endüstriyel atık ısıdan, yenilenebilir enerji kaynaklarından veya diğer termal enerji kaynaklarından elde edilebilmektedir. Güneş enerjisi ve atık ısı dahil olmak üzere düşük sıcaklık değerlerine sahip termal enerjinin kullanımı hem çevreye zararsızdır hem de enerji tasarrufu sağlamaktadır. Termal olarak tahrik edilen absorpsiyon döngüsü, düşük dereceli termal enerji kullanımı için en popüler seçenekler arasındadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, iş akışkanı olarak ozon tabakasının incelmesine neden olmayan su gibi çevre dostu soğutucu akışkanlar ve doğal maddeler kullanılabilir (Gomri, 2010; Xu ve Wang, 2018). Absorpsiyon sistemleri buhar sıkıştırma sistemlere benzer ancak basınçlandırma aşamasında buhar sıkıştırma sistemlere göre farklılık göstermektedir. Absorpsiyonlu

soğutma sistemlerinde en yaygın akışkan kombinasyonları, su buharının soğutucu olduğu lityum bromür-su ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$) ve amonyakın soğutucu olduğu amonyak-su ($\text{H}_2\text{O-NH}_3$) çözeltileridir (Balgouthi ve ark., 2005). Farklı absorpsiyonlu soğutma sistemleri arasında $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ absorpsiyonlu soğutma grubu en gelişmiş ve ticarileştirilmiş ürün olarak değerlendirilmektedir (Chen ve ark., 2017). Termodinamik olarak literatürde üç tip absorpsiyon sistemi (1-tek etkili, 2-çift etkili, 3-üçlü etkili (değişken)) yer alsada da tek etkili ve çift etkili olan sistemlerin kullanımı çok daha yaygındır. Daha yüksek etki döngüsünün temel amacı, yüksek sıcaklıklı ısı kaynağı mevcut olduğunda sistem performansını artırabilmektir. Tek etkili sistemlerde, sıcaklığın 90°C civarında olduğu durumda performans etkinlik katsayısı (COP) 0,7 civarında, çift etkili sistemlerde, sıcaklığın 150°C 'nin üzerine çıkartıldığında COP'nin 1,2 civarında olduğu, üçlü etkili sistemlerde ise bu değer 1,7 olabileceği bildirilmektedir. Tek etkili sistem, COP'si ikili veya üçlü sistemlere göre daha düşük olmasına rağmen diğer sistemlere göre daha ucuz olması ve daha düşük sıcaklıklarda çalışabilmesinden dolayı genellikle tercih edilmektedir (Gomri, 2010; Sleiti ve ark., 2021).

Şekil 1'de tipik bir tek etkili absorpsiyonlu soğutma çevriminin çalışma prensibi yer almaktadır. Şekilden, buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde yer alan kompresörün yerini soğurucu, pompa, ısıtıcı, ısı değiştiricisi ve kısılma vanasının aldığı görülmektedir. Burada sistemde kullanılan ekipmanlar vasıtasıyla termal prosesler aracılığıyla soğurucu akışkanın basıncı artırılmaktadır. Bir absorpsiyon sistemi, jeneratör (ısıtıcı), yoğunlaştırıcı (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör) ve absorber (soğurucu) olmak üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır. Sistemde, ısı kaynağından gelen sıcak su, buharlaşmak ve su buharını iş akışkanından ayırmak için jeneratör elemanından geçer. Çevrimde dolaşan iş akışkanı buharı buharlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğurucuya girer burada su içerisinde çözünür ve suyla kimyasal bir reaksiyona girer. Reaksiyon sonucunda bir çözelti oluşmaktadır. Burada gerçekleşen reaksiyon ekzotermiktir ve açığa ısı çıkarır. Soğutucu açısından zengin çözelti, sistemde yer alan bir pompa ile ısı değiştiricisinden geçerek jeneratöre (ısıtıcıya) gönderilir. Jeneratörde, konsantre çözelti bir atık ısı kaynağı veya yenilenebilir enerji vasıtasıyla ısıtılır. Isınan akışkan buhar fazına geçer ve buharlaşarak eriyikten ayrılır. Bu buharlaşma işlemi, iş akışkanının soğutulacak ortamdan ısıyı emmesine ve böylece sıcaklığının düşmesine neden olur. Gerçekleşen tepkime çözelti konsantrasyonunun azalmasına neden olur. İlık seyreltilmiş çözelti, jeneratörü terk eder ve bir kısma işleminden sonra buharlaştırıcı basıncına genişletilen akışkan absorbere geri döner. Genişletilen ve daha sonra düşük sıcaklıkta bir ısı girişi kullanılarak buharlaştırılan akışkanın tepkime sonucunda faydalı soğutma elde edilir. Sistemde absorbe işleminin etkin bir şekilde gerçekleşmesi için açığa çıkan ısının, absorberden atılması gerekmektedir. Sıcak seyreltik çözeltilerden ısıyı geri kazanmak ve konsantre çözeltiyi jeneratöre girmeden önce ön ısıtmak için jeneratör ile emici arasında absorberden kaynatıcıya gönderilen zengin eriyik, ısıtıcıdan dönen fakir eriyik tarafından ısı geçişinin sağlanabilmesi için bir eriyik ısı eşanjörü yerleştirilir. Bu döngü soğutma işlemi sırasında tekrarlanır. Burada sistemin ana itici gücü harici bir termal enerjidir ve çözelti pompasını çalıştırmak için yalnızca minimum miktarda elektrik enerjisi girişi gereklidir. Kondenser ve absorberden salınan ısı, sıcak su

üretmek veya alan ısıtmak için kullanılabilir (Tao ve ark., 2021; Vallès ve ark., 2020; Somers ve ark., 2011; Nikbakhti ve ark., 2020).

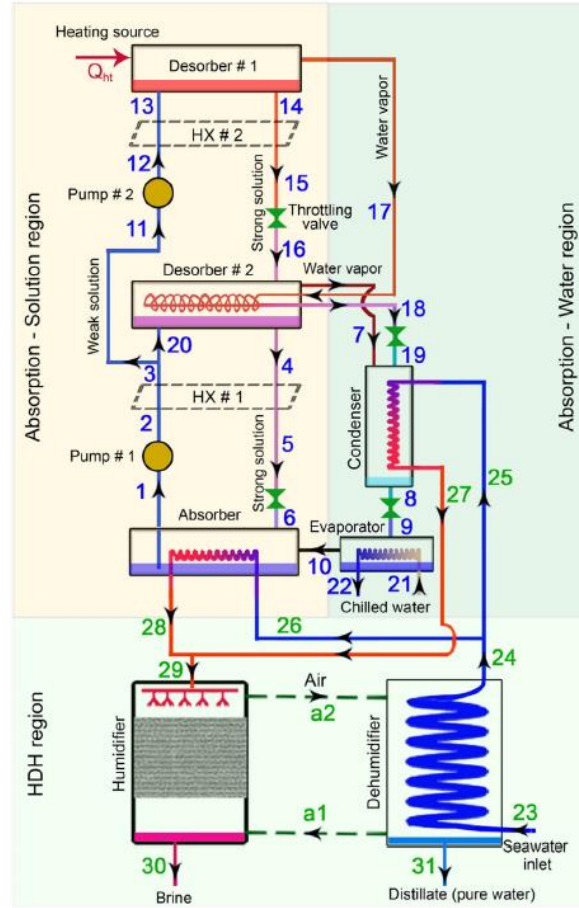


Şekil 1. Absorbsiyonlu soğutma çevriminin şematik gösterimi (Harby ve ark., 2021)

3. Damıtma Uygulamalarında Absorbsiyonlu Soğutma Çevrimleri

Maliyet etkinliğine ve sürdürülebilir tatlı su üretimine katkıda bulunan tuzdan arındırma (damıtma) süreçlerindeki kademeli iyileştirmelere rağmen, geleneksel damıtma tesisleri, tesisin yüksek enerji (birincil veya elektrik) girdileri ve buna bağlı çevresel emisyonlar, membranların ve sistem bileşenlerinin aşınması ve tıkanması, tesisin dış yüzeylerinde tuz birikmesinden veya kirlenmesinden kaynaklanan yüksek bakım maliyetleri gibi üç ana dezavantaja sahiptirler (Wang ve Ng, 2005). Geleneksel damıtma tesislerindeki bakım ve işçilik maliyetleri göz önüne alındığında, damıtma sistemlerine entegre yeni ve yenilikçi çözümlerin getirilmesi gerekliliği açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Bazı damıtma uygulamalarında sistemde termodinamik proseslerin gerçekleştirilebilmesi için girdi olarak kullanılan termal enerjinin gereksinimi mekanik güç kullanımıyla sağlanabilmektedir. Mekanik gücün yerine termal enerjinin farklı alternatif kaynaklar (yenilebilir enerji, atık ısı vb.) ile karşılanması sistemde performans artışı sağlayacak ve enerji girdilerini azaltacaktır. Örneęin damıtma uygulamalarında sıklıkla kullanılan çok etkili damıtma düşük dereceli termal enerjiyle çalıştırılabilen yüksek termal verimliliğe sahip kanıtlanmış teknoloji olmasına rağmen, tuzu tuzlu sudan ayırmak için hala önemli miktarda termal enerjiye ihtiyaç duyar (Mohammadi ve McGowan, 2018). Benzer durum ile nemlendirme ve nem alma (HDH) teknolojisinin kullanıldığı damıtma sistemlerinde de karşılaşılmaktadır. HDH tuzdan arındırma sistemlerinin nispeten düşük GOR'u nedeniyle, diğer tuzdan arındırma teknolojileriyle uygun kombinasyonla HDH

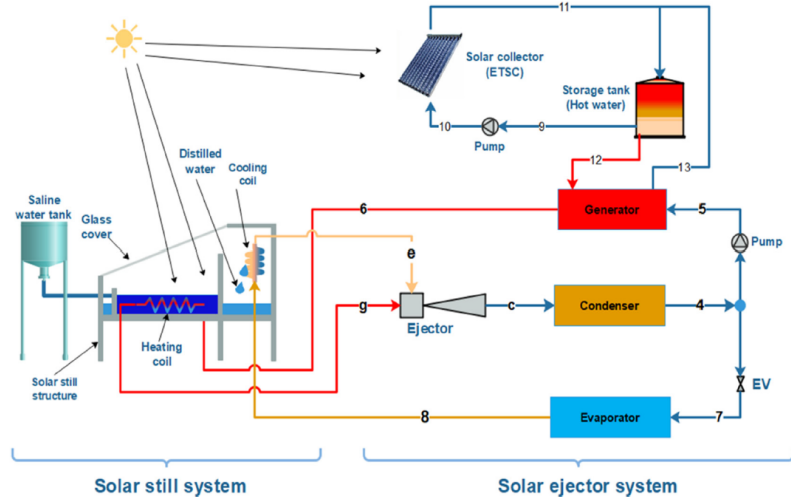
tuzdan arındırma sistemlerinin performans artışı sağlanabilecektir (Rostamzadeh ve ark., 2018). Damıtma teknolojileri içerisinde farklı birçok yöntem ve proses yer alsa da termal enerji gereksinimi, yoğunlaşma kapasitesinin artırılabilirliği, tuzlu suyun ön ısıtılması ve yüksek sıcaklık kriterlerini sağlaması için absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin son yıllarda damıtma sistemlerine entegre edilmesi güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, Wang ve Lior (2011a, 2011b), bir LiBr–H₂O çözeltili soğutma ünitesinin, bir LiBr–H₂O ısı pompasının entegrasyonu ile oluşturulan absorpsiyonlu, ısı pompası ve çok etkili buharlaştırma yöntemi ile tuzdan arındırma (damıtma) ünitesi önermiş ve matematiksel modellemelerini gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan birleşik sistem, düşük dereceli ısı ile tahrik edilir olması ve aynı miktardaki ürünü (temiz su) ayırık sistemlerden daha verimli bir şekilde üretebiliyor olması ile alternatiflerine göre ön plana çıkartmaktadır. İki bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümünde yazarlar, yapılan model tahminlerini literatürde yer alan çalışmalar ile kıyaslamış ve kıyaslama sonucunda elde edilen sonuçların literatür ile uyum içinde olduğunu göstermişlerdir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise sistemin termal performans analizleri gerçekleştirilmiş ve sistemin 0,25 MPa doymuş buharla çalıştığı durumda performans katsayısının 1,6 civarında ve ekserji verimliliğinin ise %60'ın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Qasem ve ark., (2020), tatlı su üretimi ve iklimlendirme amaçlı kullanılmak üzere çift etkili bir absorpsiyonlu soğutma sistemine entegre yeni bir nemlendirme-nem alma teknolojisine sahip bir damıtma sisteminin (Şekil 2) GOR, COP, enerji performansı, tatlı su üretimi ve tatlı su maliyetlerini incelemişlerdir. Tasarlanan sistemde nem alıcı ünitesinden geçirilen deniz suyu, yoğunlaştırıcı ve absorber ünitelerine gönderilerek ısıtılmaktadır. Burada iki farklı noktada ısınan akışkan nemlendirici ünitesi girişinde birleştirilerek nemlendirme-nem alma ünitesi arasında sirküle edilen havaya püskürtülmektedir. HDH sistemindeki deniz suyu akışı, HDH sistemi için yeterli bir ısı elde ederken, absorpsiyonlu soğutma sisteminin kondenserini ve absorberini soğutmak için kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda yazarlar, sistemin performans oranı, performans katsayısı ve enerji performansını sırası ile 4,54, 1,29 ve 5,83 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca çalışmada yazarlar, tatlı su maliyetini soğutma etkisini hesaba katmadan 2,89 \$/m³ olduğu tahmin etmişlerdir.



Şekil 2. Tasarlanan damıtma sisteminin şematik çizimi (Qasem ve ark., 2020)

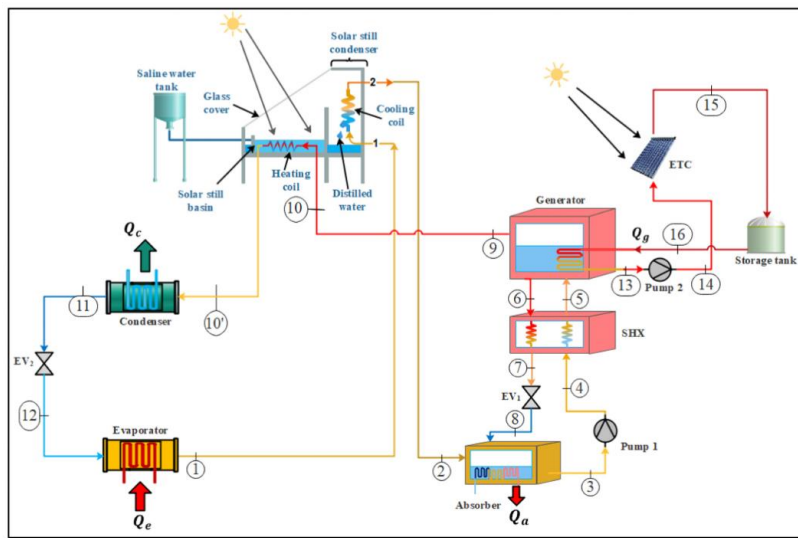
Alelyani ve ark., (2017), çok etkili bir damıtma (MED) sistemine, tek ve çift aşamalı amonyak-su ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) çözeltilisine sahip bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin entegre edilmesini incelemişlerdir. Çalışmada sistemin soğutma kapasitesi ve saatlik su üretimi, sistemi oluşturan bileşenlerin her biri için basit modeller kullanarak farklı çalışma koşullarında ele alınmıştır. Tasarlanan sistemde deniz suyunun absorpsiyonlu soğutma çevriminde kondenserden (yoğuşturucu) çıkan soğutulmuş akışkan ile karıştırılarak soğutulması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, tek veya çift kademeli bir $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ soğutma sistemi tarafından çalıştırılan bir MED ünitesinden oluşan birleşik sistemlerin toplam ekserji yıkımının, bağımsız $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında ortalama %55 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sleiti ve ark. (2020), sıcak ve kurak iklim bölgelerindeki yüksek soğutma ve tatlı su talebinin karşılanabilmesi için yeni bir damıtma sisteminin (Şekil 3) kütle, momentum ve enerji korunumuna dayalı bir termodinamik modeli geliştirerek sistemin performansını incelemişlerdir. Yazarlar tarafından tasarlanan sistem, tek eğimli solar damıtma sistemi ile entegre bir güneş enerjili ejektörlü soğutma sisteminden oluşmaktadır. Sistemde absorpsiyonlu soğutma çevrimi, akışkanın yüksek sıcaklığa çıkarıldığı jeneratör (ısıtıcı) ünitesinden elde edilen sıcak akışkan ile güneş enerjili damıtıcı içerisindeki tuzlu suyun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Tasarlanan yeni sistem ile yazarlar buharlaşma oranının artırılması ile yoğuşma hızının arttığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda

tasarlanan sistemin üretim performansının geleneksel güneş enerjili damıtma sistemlerine göre beş kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

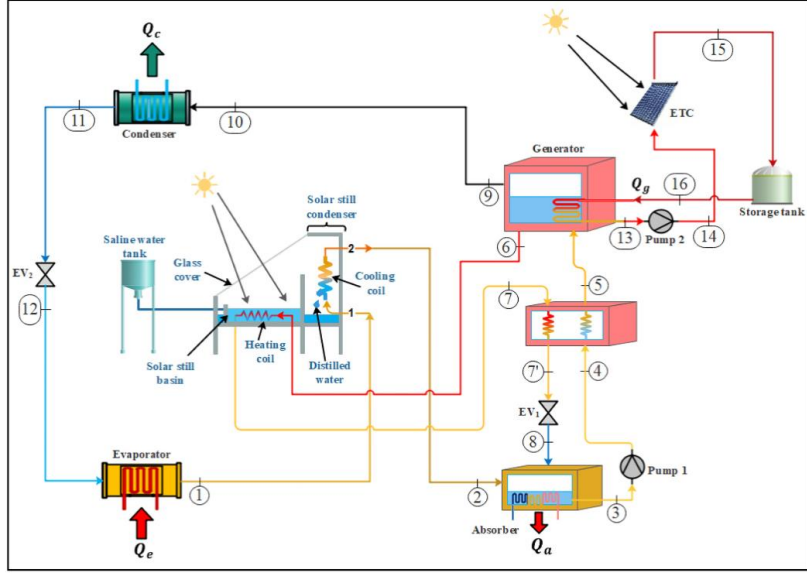


Şekil 3. Önerilen sistemin şematik diyagramı (Sleiti ve ark., 2020)

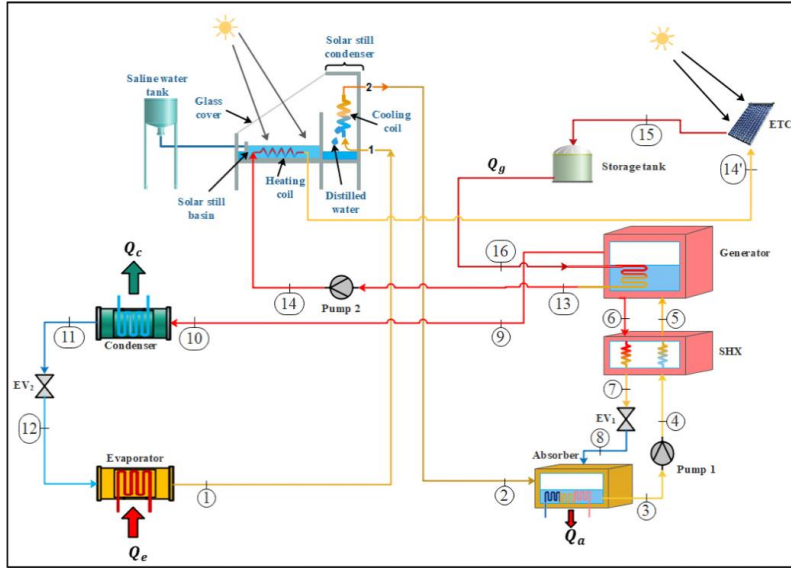
Sleiti ve ark., (2021), tek etkili absorpsiyonlu güneş enerji destekli bir yeni bir hibrit damıtma sistemi tasarlayarak sistemin analiz ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yazarlar, jeneratörden çıkan su buharından atık ısının geri kazanıldığı (S1/Şekil 4-a), jeneratörden çıkan güçlü lityum bromür çözeltisinden atık ısının geri kazanıldığı (S2/Şekil 4-b) ve jeneratörden çıkan sıcak sıvı sudan atık ısının geri kazanıldığı (S3/ Şekil 4-c) üç farklı konfigürasyonun sistem performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, damıtma sisteminin üretkenliğinin geleneksel sistemlere kıyasla üç kat arttığını belirlemişlerdir. Tasarlanan sistemdeki farklı konfigürasyonların su üretim maliyetleri kıyaslandığında S3'teki (0,047 \$/kg) damıtılmış suyun maliyetinin S2 (0,054 \$/kg) ve S1'dekine (0,061 \$/kg) göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



(a)



(b)

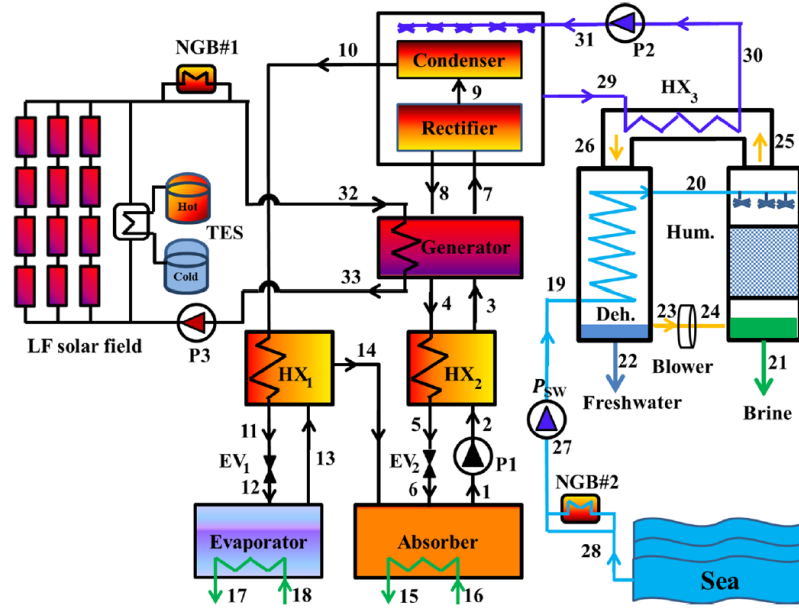


(c)

Şekil 4. Önerilen sistemlerin şematik diyagramı (Konfigürasyon S1 (a), Konfigürasyon S2 (b) ve Konfigürasyon S3 (c) (Sleiti ve ark., 2021))

Baniasad Askari ve ark., (2022), nemlendirme ve nem alma teknolojisine entegre termal enerji depolamalı güneş enerjisi ile çalışan bir absorpsiyonlu soğutma sistemine sahip bir damıtma sistemini (Şekil 5) termo-ekonomik açıdan farklı iklim koşullarında incelemiştir. Tasarlanan sistemde jeneratörde ısıtılan amonyak-su karışımı kondenser ünitesine gönderilerek burada elde edilen termal enerji, HDH sisteminde dolaşan sirkülasyon suyuna iletilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar neticesinde yazarlar, yüksek güneş ışınımı seviyelerine sahip konumların daha küçük güneş tarlası alanları ve daha büyük termal enerji depolama kapasiteleri gerektirdiğini açığa çıkartmışlardır. Çalışmada minimum ve maksimum soğutma maliyeti, %5 faiz oranında Abu Dabi ve

Atina için sırasıyla 0,135 \$/ton ve 0,387 \$/ton olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yazarlar nem alıcının etkinliğinin 0,8'den 0,9'a yükseltilmesiyle, GOR değerinde yaklaşık %33 oranında bir artış sağlanabileceğini ve tatlı su üretim maliyetinin %15 azalabileceğini tespit etmişlerdir.

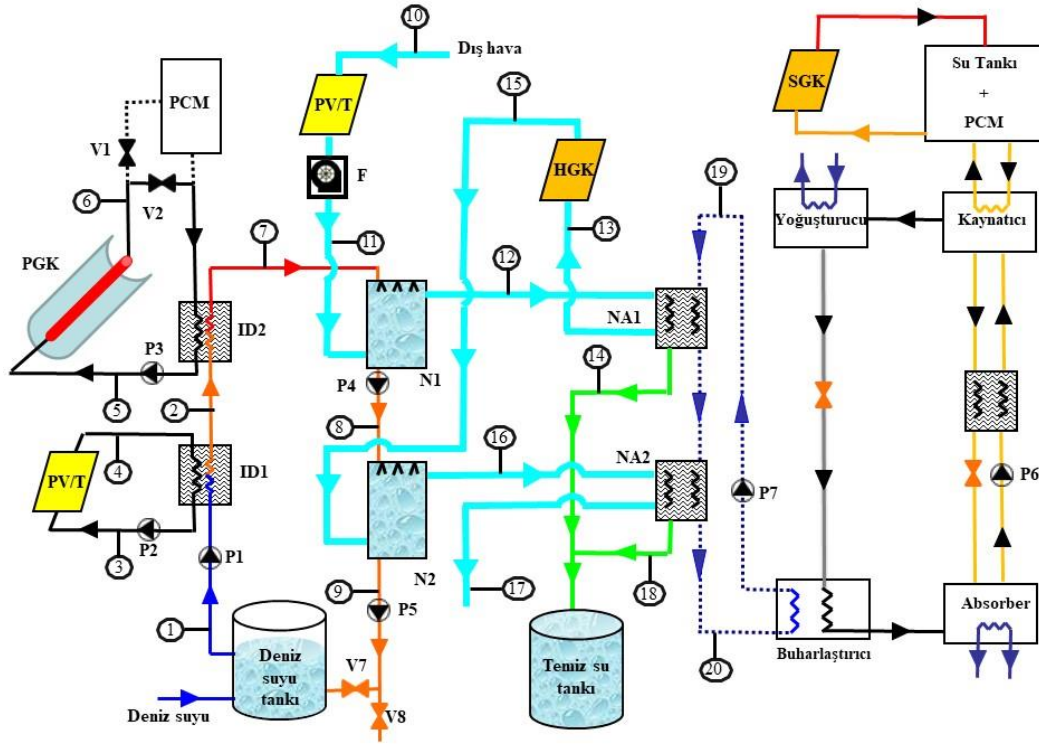


Şekil 5. Önerilen sistemin şematik diyagramı (Baniasad Askari ve ark., 2022)

5. Sistem Tanımı

Yapılan değerlendirme ve incelemeler neticesinde özellikle nemlendirme ve nem alma teknolojisinin kullanıldığı damıtma sistemlerinde yoğuşma kapasitesinin artırılması amacıyla soğutma suyu elde edilmesinde absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımının geliştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Yapılan literatür taramasında konu ile ilgili çok sayıda araştırma mevcut olmasına rağmen, absorpsiyonlu soğutma çevrimi (AS), fotovoltaik termal panel (PV/T), havalı ve sulu güneş kolektörü (HGK, SGK), parabolik ısı borulu güneş kolektörü ve PCM'li ısı enerji deposunun birlikte incelendiği iki kademeli bir HDH'li damıtma sistemi tasarımına rastlanmamıştır. Çalışmanın ana motivasyon kaynağını da bu durum teşkil etmektedir. Bu amaç ile nemlendirme ve nem alma teknolojisine sahip, güneş enerji destekli, absorpsiyonlu soğutma çevriminin kullanıldığı ve faz değiştirici malzemelerle gizli ısı depolamasının yapıldığı yeni birleşik bir damıtma sistemi tasarlanmıştır. Şekil 6'da tasarlanan damıtma sisteminin şematik diyagramı verilmiştir. Sistem, güneş kolektörleri (PV/T, Parabolik, Havalı, Sulu), ısı değiştiricileri, nemlendiriciler (su kulesi, buharlaştırıcı), nem alıcılar (yoğuşturucu), absorpsiyonlu soğutma çevrimi, fan-pompalar, ısı enerji deposu ve deniz ve temiz su depolarından oluşmaktadır. Deniz suyu deposundan pompayla alınan karışım deniz suyu (1 noktası) öncelikle ısı değiştiricisi I'de (ID1) PV/T'den gelen sıcak su (3 noktası) ile ön ısıtma işlemine tabii tutulmaktadır (1→2). Sistemde PV/T kullanılmasının sebebi hem deniz suyunun ön ısıtma işlemini gerçekleştirmek hem de sistemde sirkülasyon için kullanılan fan ve pompaların elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilmektir.

PV panelin su ile soğutulmasıyla (3→4) panelin elektriksel veriminde artış sağlanabilecektir. Deniz suyu daha sonra ilk nemlendiriciye (su kulesi, N1) girmeden önce (7 noktası) parabolik güneş kolektörleriyle ısıtılan su (6 noktası) ile ısı değiştiricisi II'de (ID2) yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmaktadır. Sistemde, güneş enerjisinin yeterli olmadığı günlerde veya ışınımın olmadığı akşam saatlerinde temiz su üretiminin devam edebilmesi amacıyla faz değiştiren maddelerin (PCM) kullanıldığı bir ısı enerjisi deposu (IED) yer almaktadır. Parabolik güneş kolektörüyle ısıtılan su hem deniz suyunun ısıtılmasında hem de PCM ile enerji depolanmasında kullanılmaktadır. Sıcaklığı yükselmiş deniz suyu (7 noktası) daha sonra N1'de, fan yardımıyla dışarıdan (10 noktası) alınıp havalı güneş kolektörü (HGK) ile ısıtılan havanın (11 noktası) nemlendirilmesinde kullanılmaktadır. Tasarlanan damıtma sisteminde nemlendirme-nem alma işlemi iki kademe gerçekleştirilmektedir. N1'den çıkan deniz suyu (8 noktası), N2'de yine havanın nemlendirilmesinde kullanılmaktadır. N2'den çıkan deniz suyu (9 noktası), daha sonra enerji geri kazanımı amacıyla değerlendirilebilmek ve tuzluluk oranının ayarlanabilmesi amacıyla deniz suyu deposuna gönderilmektedir. N1'den çıkan nemli hava (12 noktası) ilk olarak nem alıcı 1'e (NA1) gönderilmektedir. Burada hava içerisindeki nem, absorpsiyonlu soğutma çevrimi (AS) ile soğutulan su (19 noktası) kullanılarak yoğunlaştırılmakta ve temiz su olarak (14 noktası) depoda toplanmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma çevriminde kaynatıcıya sıcak akışkan sağlamak için bir sulu güneş kolektörü (SGK) kullanılmaktadır. Sistemde ayrıca akşam saatlerinde çevrimin sürdürülebilmesi için faz değiştiren maddelerin (PCM) kullanıldığı ısı enerjisi deposuna (IED) sahip bir sıcak su deposu yer almaktadır. Burada güneş kolektöründen çıkan sıcak akışkan, sıcak su tankında depolanmakta ve kaynatıcıya iletilmektedir. Nem alıcıda elde edilebilecek temiz su (yoğuşan nem) miktarı, nem alıcıya giren su (19 noktası) sıcaklığına bağlıdır. Su ne kadar soğuk ise elde edilebilecek temiz su miktarı da o kadar fazla olmaktadır. NA1 çıkışındaki hava (13 noktası), daha sonra HGK'da ısıtılarak (15 noktası) N2'ye gönderilmek ve burada deniz suyu ile bir kez daha nemlendirilmektedir. Hava (16 noktası) son olarak NA2'ye gönderilerek burada içerisindeki nem yoğunlaştırılmakta ve sistemi terk etmektedir (17 noktası). Nem alıcı 1 (NA1) ve Nem alıcı 2'den (NA1) çıkan akışkan soğutma suyu, absorpsiyonlu soğutma çevriminde tekrar kullanılmak üzere (20 noktası) sistemde yer alan buharlaştırıcıya gönderilmektedir.



Şekil 6. Tasarlanan yeni damıtma sistemin şematik diyagramı

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, öncelikle damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin (AS) kullanımı ve mevcut damıtma sistemlerine göre temiz su miktarı ve sistem performansına etkileri literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerden damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma çevriminin kullanımı ile nemlendirme-nem alma (HDH) ünitesi arasında sirküle edilen havaya aktarılarak yoğuşma kapasitesinin artırılabilirdiği, kondenserden çıkan soğutulmuş akışkan ile deniz suyunun karıştırılarak soğutulabilirdiği, absorber ünitesinde ısısı çekilen düşük sıcaklıktaki akışkanın nem alıcı ünitesinden geçirilerek yoğuşma kapasitesinin artırıldığı, jeneratör (ısıtıcı) ünitesinden çıkan sıcak akışkan ile güneş enerjili damıtıcı içerisindeki tuzlu suyun ısıtıldığı ve böylece buharlaşma ısısının da absorpsiyonlu soğutma çevrimi ile yükseltilebildiği, yine jeneratörden çıkan sıcak akışkandan ısı geri kazanımının gerçekleştirilerek damıtma performansının artırılabilirdiği görülmüştür. Çalışma sonucunda, absorpsiyonlu soğutma çevriminin kullanıldığı damıtma sistemlerinin geleneksel güneş enerjili damıtma sistemlerine göre daha yüksek performansa sahip olduğu görülmüş ayrıca bu çevrimin özellikle HDH'li damıtma sistemlerinde soğutma suyu elde edilmesinde kullanımının geliştirilmesi gereken bir çalışma alanı olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlendirmeler kapsamında çalışmada daha sonra yazarlar tarafından AS'nin kullanıldığı alternatif bir damıtma sistemi tasarlanarak sistem tanıtımı yapılmıştır. Yazarlar tarafından gerçekleştirilecek sonraki çalışmalarda tasarlanan sistemin enerji, ekserji ve ekonomik analizlerinin yapılması planlanmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Alelyani SM., Fette NW., Stechel EB., Doron P., Phelan PE. Techno-economic analysis of combined ammonia-water absorption refrigeration and desalination. *Energy Conversion and Management* 2017; 143: 493-504.
- Altun AF., Kilic M. Economic feasibility analysis with the parametric dynamic simulation of a single effect solar absorption cooling system for various climatic regions in Turkey. *Renewable Energy* 2020; 152: 75-93.
- Aykut T. Determination of groundwater potential zones using Geographical Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP) between Edirne-Kalkansogut (northwestern Turkey). *Groundwater for Sustainable Development* 2021; 12: 100545.
- Balghouthi M., Chahbani MH., Guizani A. Solar powered air conditioning as a solution to reduce environmental pollution in Tunisia. *Desalination* 2005; 185(1-3): 105-110.
- Baniasad Askari I., Ghazizade-Ahsaei H., Ameri M. Thermo-economic analysis of a solar-powered absorption refrigeration integrated with a humidification–dehumidification desalination. *Environment, Development and Sustainability* 2022; 24(5): 6153-6196.
- Bayazit Y. The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam. Turkey. *Renewable Energy* 2021; 170: 181-187.
- Berbel J., Esteban E. Droughts as a catalyst for water policy change. Analysis of Spain, Australia (MDB), and California. *Global Environmental Change* 2019; 58: 101969.
- Bhardwaj R., Ten Kortenaar MV., Mudde RF. Influence of condensation surface on solar distillation. *Desalination* 2013; 326: 37-45.
- Cao Y., Kasaeian M., Abbasspoor H., Shamoushaki M., Ehyaei MA., Abanades S. Energy, exergy, and economic analyses of a novel biomass-based multigeneration system integrated with multi-effect distillation, electrodialysis, and LNG tank. *Desalination* 2022; 526: 115550.
- Chen JF., Dai YJ., Wang RZ. Experimental and analytical study on an air-cooled single effect LiBr-H₂O absorption chiller driven by evacuated glass tube solar collector for cooling application in residential buildings. *Solar Energy* 2017; 151: 110-118.
- Delipinar Ş., Karpuzcu M. Policy, legislative and institutional assessments for integrated river basin management in Turkey. *Environmental Science & Policy* 2017; 72: 20-29.

- Duong HC., Tran LTT., Truong HT., Nelemans B. Seawater membrane distillation desalination for potable water provision on remote islands– A case study in Vietnam. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 2021; 4: 100110.
- Falkenmark M. Main problems of water use and transfer of technology. *GeoJournal* 1979; 3(5): 435-443.
- Gomri R. Investigation of the potential of application of single effect and multiple effect absorption cooling systems. *Energy Conversion and Management* 2010; 51(8): 1629-1636.
- Guo P., Li T., Li P., Zhai Y., Li J. Study on a novel spray-evaporation multi-effect distillation desalination system. *Desalination* 2020; 473: 114195.
- Harby K., Ali ES., Almohammadi KM. A novel combined reverse osmosis and hybrid absorption desalination-cooling system to increase overall water recovery and energy efficiency. *Journal of Cleaner Production* 2021; 287: 125014.
- Huang J., Hu Y., Bai Y., He Y., Zhu J. Novel solar membrane distillation enabled by a PDMS/CNT/PVDF membrane with localized heating. *Desalination* 2020; 489: 114529.
- Kara O., Hürdoğan E. Thermodynamic analysis of a novel desalination system assisted with ground source heat exchanger. *Energy Conversion and Management* 2019; 200: 112104.
- Khan MA., Rehman S., Al-Sulaiman FA. A hybrid renewable energy system as a potential energy source for water desalination using reverse osmosis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 97: 456-477.
- Kharraz JA., Khanzada NK., Farid MU., Kim J., Jeong S., An AK. Membrane distillation bioreactor (MDBR) for wastewater treatment, water reuse, and resource recovery: A review. *Journal of Water Process Engineering* 2002; 47, 102687.
- Khawaji AD., Kutubkhanah IK., Wie JM. Advances in seawater desalination Technologies. *Desalination* 2008; 221(1-3): 47-69.
- Lu H., Wu Y., Li Y., Liu Y. Effects of meteorological droughts on agricultural water resources in southern China. *Journal of Hydrology* 2017; 548: 419-435.
- Lu Y., Cai H., Jiang T., Sun S., Wang Y., Zhao J., Sun J. Assessment of global drought propensity and its impacts on agricultural water use in future climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology* 2019; 278: 107623.
- Mishra A., Alnahit A., Campbell B. Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A Review and Analysis. *Journal of Hydrology* 2020; 125707.
- Mohammadi K., McGowan JG. An efficient integrated trigeneration system for the production of dual temperature cooling and fresh water: Thermo-economic analysis and optimization. *Applied Thermal Engineering* 2018; 145: 652-666.

- Narayan GP., Sharqawy MH., Lienhard VJH., Zubair SM. Thermodynamic analysis of humidification dehumidification desalination cycles. *Desalination and Water Treatment* 2010; 16(1-3): 339-353.
- Naveenkumar R., Gopan SN., Karthikeyan N., Kumar PS., Ravichandran M. A comparative study on role of phase change materials in thermal efficiency enhancement of passive solar still". *Materials Today: Proceedings* 2020; 33: 4159-4162.
- Nikbakhti R., Wang X., Hussein AK., Iranmanesh A. Absorption cooling systems–Review of various techniques for energy performance enhancement. *Alexandria Engineering Journal* 2020; 59(2): 707-738.
- Qasem NA., Zubair SM., Abdallah AM., Elbassoussi MH., Ahmed MA. Novel and efficient integration of a humidification-dehumidification desalination system with an absorption refrigeration system. *Applied Energy* 2020; 263: 114659.
- Rostamzadeh H., Namin AS., Ghaebi H., Amidpour M. Performance assessment and optimization of a humidification dehumidification (HDH) system driven by absorption-compression heat pump cycle. *Desalination* 2018; 447: 84-101.
- Sadri S., Khoshkhoo RH., Ameri M. Optimum exergoeconomic modeling of novel hybrid desalination system (MEDAD+ RO). *Energy* 2018; 149: 74-83.
- Santos CAG., Neto RMB., do Nascimento TVM., da Silva RM., Mishra M., Frade TG. Geospatial drought severity analysis based on PERSIANN-CDR-estimated rainfall data for Odisha state in India (1983–2018). *Science of The Total Environment* 2021; 750: 141258.
- Sharon H. Energy, exergy, environmental benefits and economic aspects of novel hybrid solar still for sustainable water distillation. *Process Safety and Environmental Protection* 2021; 150: 1-21.
- Sharshir SW., Peng G., Yang N., El-Samadony MOA., Kabeel AE. A continuous desalination system using humidification–dehumidification and a solar still with an evacuated solar water heater. *Applied Thermal Engineering* 2016; 104: 734-742.
- Sleiti AK., Al-Ammari WA., Al-Khawaja M. A novel solar integrated distillation and cooling system–design and analysis. *Solar Energy* 2020; 206: 68-83.
- Sleiti AK., Al-Ammari WA., Al-Khawaja M. Integrated novel solar distillation and solar single-effect absorption systems. *Desalination* 2021; 507: 115032.
- Somers C., Mortazavi A., Hwang Y., Radermacher R., Rodgers P., Al-Hashimi S. Modeling water/lithium bromide absorption chillers in ASPEN Plus. *Applied Energy* 2011; 88(11): 4197-4205.
- Şen Z. Climate change, droughts, and water resources. in: *Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation*. Elsevier 2015; 321–391.
- Tao H., Zheng Z., Wu W. Cascade heat utilisation via integrated organic Rankine cycle and compressor-assisted absorption heat pump system. *Energy Conversion and Management* 2021; 249: 114850.

- Turhan Ş., Zriba NAEM., Taşkın H., Yılmaz Z., Bayülken S., Haçerlioğulları A., Kurnaz A. Radiochemical analysis of bottled drinking waters consumed in Turkey and a risk assessment study. *Microchemical Journal* 2019; 149: 104047.
- Vallès M., Bourouis M., Boer D. Solar-driven absorption cycle for space heating and cooling. *Applied Thermal Engineering* 2020; 168: 114836.
- Wang X., Ng KC. Experimental investigation of an adsorption desalination plant using low-temperature waste heat. *Applied Thermal Engineering* 2005; 25(17-18): 2780-2789.
- Wang Y., Lior N. Proposal and analysis of a high-efficiency combined desalination and refrigeration system based on the LiBr–H₂O absorption cycle—Part 1: System configuration and mathematical model. *Energy Conversion and Management* 2011; 52(1): 220-227.
- Wang Y., Lior N. Proposal and analysis of a high-efficiency combined desalination and refrigeration system based on the LiBr–H₂O absorption cycle-Part 2: Thermal performance analysis and discussions. *Energy Conversion and Management* 2011; 52(1): 228-235.
- Wu D., Li Z., Zhu Y., Li X., Wu Y., Fang S. A new agricultural drought index for monitoring the water stress of winter wheat. *Agricultural Water Management* 2021; 244: 106599.
- Xu H., Sun XY., Dai YJ. Thermodynamic study on an enhanced humidification-dehumidification solar desalination system with weakly compressed air and internal heat recovery”. *Energy Conversion and Management* 2019; 181, 68-79.
- Xu ZY., Wang RZ. Comparison of absorption refrigeration cycles for efficient air-cooled solar cooling. *Solar Energy* 2018; 172: 14-23.
- Zhang Y., Sivakumar M., Yang S., Enever K., Ramezani pour M. Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Desalination* 2018; 428: 116-145.