

Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri ve Tarımsal Amaçlı Kullanılabilirliği

**Vedat DEMİR, Tuncay GÜNHAN,
Çağrı YALÇIN, Ersin KARACABEY, Hamdi BİLGİN**
Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, 35100-Bornova/İzmir
vedat.demir@ege.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 01.06.2012

Accepted (Kabul Tarihi): 13.07.2012

Özet: Enerjinin etkin kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma olanaklarının artırılması her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Bütün sektörlerde olduğu gibi tarım sektöründe de yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte tarım sektöründe özellikle ısıtma, soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında güneş, jeotermal, biyokütle ve rüzgar enerjisi kullanılmakta ve kullanım potansiyeli gittikçe artmaktadır. Soğutma amacıyla tarımsal amaçlı yararlanılabilecek sistemlerden olan "absorpsiyonlu sistemler", güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir ve endüstriyel tesislerden atılan atık ısı gibi ısı enerjisi kaynakları ile çalışabilir olmaları nedeniyle tarımsal amaçlı soğutma (iklimlendirme) uygulamalarında bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Ayrıca soğutma yanında bu sistemde elde edilen ısı kazanımından ısıtma, kurutma, sıcak su kullanımı gibi uygulamalarda da yararlanılabilir. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin tanıtıldığı bu çalışmada, söz konusu sistemlerin tarımsal amaçlı kullanımına yönelik uygulamalardan örnekler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Absorpsiyon, soğutma, tarım, yenilenebilir enerji

Availability of Absorption Cooling Systems in Agriculture

Abstract: Enhancement of opportunities to benefit from energy efficiency and renewable energy sources, becomes even more important with each passing day. As with all sectors of the economical aspects of renewable energy sources in the agricultural sector and the application method varies depending on regional conditions. Nevertheless, solar, geothermal, biomass and wind energy are used in heating, cooling and air conditioning applications especially in agriculture and also use potential are increasing. Absorption systems due to their working with renewable resources such as solar energy and geothermal energy and thermal energy sources such as waste heat from industrial plants can be evaluated as an alternative in the cooling (HVAC) applications for agricultural purposes. In addition to cooling, obtained heat recovery in this system could also be utilized in such as heating, drying and hot water use applications. In this study, absorption cooling systems are introduced and are given in examples of applications for the use of such systems for agricultural purposes.

Key words: Absorption, cooling, agriculture, renewable energy

GİRİŞ

Geleneksel olarak kullanılan buhar sıkıştırma soğutma sistemlerinde soğutucu akışkanın basıncının artırılması, bir kompresör yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Absorpsiyonlu soğutma sistemi, absorbent ve soğutucu akışkan çiftinden oluşan bir kimyasal çevrim içermekte olup, soğutucu akışkanın basıncının artırılması termal bir sistem yardımıyla sağlanmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri buhar sıkıştırma soğutma sistemlerine göre daha

karmaşık bir yapıya sahip olmakla birlikte, bu sistemlerde soğutucuyu sıkıştırmak için gerekli enerjinin çok düşük olması nedeniyle büyük avantaj sağlamaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde çalışma akışkanı olarak kloroflora karbonların yerine ozon tabakasına zarar vermeyen akışkanların kullanılabilmesi ise çevrenin korunması yönüyle önem taşımaktadır.

Absorpsiyonlu soğutma sistemi fikri ilk kez Fransız Ferdinand Carre tarafından ortaya konmuş ve 1860 yılında Amerika'da kendisi tarafından patenti alınmıştır. Yirminci yüzyılın ilk yıllarında absorpsiyonlu soğutma sistemi oldukça rağbet görmüş ve uygulama alanları bulmuştur. 1920'li yıllardan sonra özellikle Amerika, Almanya, İtalya, İngiltere, Belçika, Hollanda, Rusya ve diğer bazı ülkelerde absorpsiyonlu soğutma makinalarının dizaynı ve teknolojisi konusunda çalışmalar ve uygulamalar başarıyla sürdürülmüştür. 1950'li yıllardan sonra elektriğin ucuzlaması ve değişik boyut ve kapasitedeki kompresörlerin kullanıma geçmesiyle buhar sıkıştırımlı mekanik sistemler öncelik kazanmıştır (Akdemir ve Güngör, 2001).

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde; sistemin karmaşıklığı, ilk devreye alma ve işletme sırasında karşılaşılan problemler nedeniyle bu konuda yapılan çalışmaların çoğunluğu teorik düzeyde olmuş ve çoğunlukla belirli kapasitedeki sistemlere, termodinamiğin 1. ve 2. yasa analizleri kullanılarak termodinamik simülasyonların gerçekleştirilmesi şeklindedir. Yapılan deneysel çalışmalarda ise küçük kapasiteli ünitelerde karşılaşılan teknik problemler nedeniyle genel olarak büyük kapasiteli tesis ve sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır.

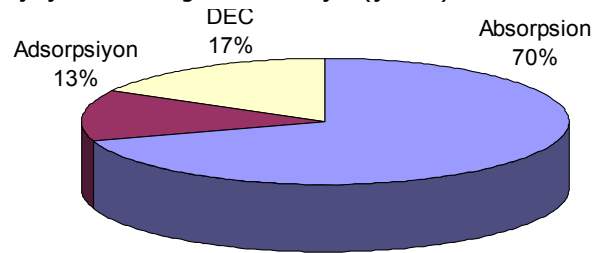
Son yıllarda artan ısı yükleri ve gereksinimlerle birlikte soğutma işlemleri için gerekli enerji talebinin artması nedeniyle, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin geleneksel sistemlere göre avantaj ve dezavantajları konusundaki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalarda absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin enerji ekonomisi sağlamasına karşın, geleneksel sistemlere göre performans katsayılarının (COP) düşük olması, cihazların ağır ve hacimli olması, sistem ömrünün sınırlı olması, soğutmada istenen yeni duruma sistemin yavaş ulaşması gibi dezavantajlara sahip olduğu belirtilmektedir (Demir ve ark., 2005).

Bununla birlikte absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde soğutucu akışkanın basıncının artırılmasında, güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile sanayide çeşitli proseslerden çıkan atık ısıdan yararlanarak soğutma işlemini gerçekleştirebilen sistemler olması, kontrol ve otomasyon sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak bu sistemlerde yoğun olarak karşılaşılan ilk devreye alma ve işletme problemlerinin büyük ölçüde giderilmeye çalışılmış olması ile soğutma pazarında tekrar yer almaya başlamışlardır.

Dünyanın önde gelen bazı soğutma firmaları (Carrier, York, Trane, Robur, Broad, Mycom, LG, Mitsubishi, Sanyo, Mc Quay, Entropie, Century and Colibri), özellikle endüstriyel uygulamalarda ve büyük binalarda kullanım açısından bu tip soğutma sistemlerinin yüksek kapasiteli olanlarını geliştirmişlerdir. Buna karşın orta ve küçük kapasiteli sistemlerin geliştirilmesi sınırlı kalmıştır. Bununla birlikte son yıllarda evsel kullanıma dönük soğutma taleplerinin dikkate değer oranda artış göstermesiyle birlikte küçük kapasiteli (<100 kW) soğutma sistemlerinin üretiminde önemli sayılara ulaşılmaya başlanmıştır. Küçük kapasiteli sistemler konusunda çalışma ve geliştirme yapan ticari firmalar; Nishyodo, Maekawa, Maycom, Yazaki, Robur, Broad, Rotartica, Climatwell, Sor Tech, Invesnsor, Thermax, Solar Next, Aosol, Pink, Sonnenklima, EAW, şeklinde sıralanmıştır (Mugnier ve ark., 2008).

Meyer, (2008), termal ısı kaynağıyla çalıştırılan küçük kapasiteli bu sistemlerin sayısı hakkında net bilgi olmamakla birlikte 2007 yılında güneş enerjisi ile çalışan 250 ile 300 soğutma sisteminin olduğunu, bunların 200 kadarının Avrupa'da, özellikle de İspanya ve Almanya'da kurulu olduğunu belirtmiştir.

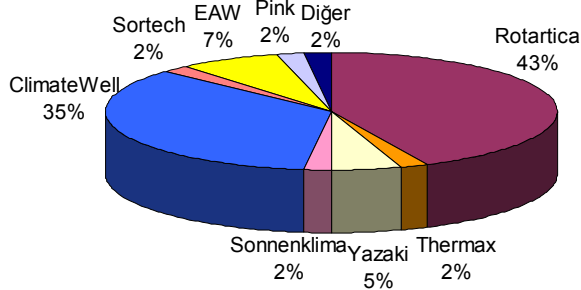
Troi ve ark., (2008), Uluslararası Enerji Ajansı'nın ticari binalarda kullanılan 88 adet geniş ölçekli güneş enerjisi destekli soğutma sistemlerinin yaklaşık %70'inin absorpsiyon, %13 adsorpsiyon ve %17'sinde DEC (nem almalı soğutma) sistemleri olduğunu ve bu veriler ışığında güneş enerjisiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma teknolojisinin pazarda açıkça önde olduğunu belirtmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Soğurmalı sistemlerinin soğutma pazarındaki dağılımı (Troi ve ark., 2008)

Mugnier ve ark., (2008), Uluslararası Enerji Ajansı katkılarıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, kurulu 280 adet soğutma sisteminden elde ettikleri veriler ışığında kurulan sistemlerin firmalar bazında, %43 Rotartica, %35 Climatwell, %7 EAW, %5 Yazaki ve diğer firmalar

olduğunu ortaya koymuşlar ve bu soğutma sistemi üreticilerinin dağılımını aşağıdaki şekilde vermişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Soğurmalı sistemleri üreticilerinin pazarındaki dağılımı (Mugnier ve ark., 2008)

Son yıllarda, 20 kW ve altında kapasiteye sahip olan bu sistemler üzerinde çeşitli firmalar faaliyet göstermektedir. Ulaşılabilen literatürler ve web siteleri ışığında dünya pazarında küçük kapasiteli sistemleri üreten firmalar Çizelge 1'de verilmiştir (Jakob, 2008; Pilatowsky ve ark. 2011).

Şekil 2 ve Çizelge 1'den de görüleceği gibi en yaygın üretilen ve kullanılan LiBr-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemleridir. Bunun yanında 2010 yıllarında ticarileşmiş olan LiCl-H₂O akışkan çifti ile çalışan sistemlere oranla NH₃-H₂O akışkan çifti ile çalışan sistemler daha fazla yaygınlaşmamıştır.

Amonyanın soğutucu akışkan olarak kullanıldığı NH₃-H₂O çifti ile çalışan sistemler yaklaşık -10 °C buharlaştırıcı sıcaklığına kadar soğutma yapabilmektedir. Suyun soğutucu akışkan olarak kullanıldığı LiBr-H₂O çifti ile çalışan sistemlerde ise soğutma, suyun donma riskinden dolayı yaklaşık 4 °C dolayındadır. NH₃-H₂O akışkan çifti ile çalışan sistemler, LiBr-H₂O sistemlerine göre daha düşük sıcaklıklar üretebilmesine karşın soğutma performans

katsayısı bu sistemlerde daha düşüktür. LiBr-H₂O sistemleri 70-88 °C 'lık generatör giriş sıcaklığına ihtiyaç göstermesine karşın NH₃-H₂O sistemlerinde 90-180 °C 'lık sıcaklık değeri gerekmektedir. Ayrıca NH₃-H₂O sistemi generatör çıkışında NH₃ ve H₂O ayrımını sağlamak amacıyla bir zenginleştirme kolonuna ihtiyaç gösteren daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Mittal ve ark., 2006).

Anlık kullanıma gereksinim duyulan LiBr-H₂O ve NH₃-H₂O bu sistemlerin yanında, elde edilen ısı enerjisini kendi bünyesinde belirli bir süreliğine depolama özelliği olması nedeniyle LiCl-H₂O akışkan çiftiyle çalışan sistemlerde çalışma durumlarına bağlı olarak depolanan enerjinin sonra kullanılması durumları için tercih edilebilmektedirler.

Geleneksel sistemlerde elektrik enerjisi tüketerek bir kompresör tarafından gerçekleştirilen mekanik iş, bu sistemlerde bir termal mekanizma yardımıyla yapılmaktadır. Özellikle güneş enerjisi ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin yüksek olduğu ülkemizde, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinden yararlanarak önemli düzeyde enerji tasarrufları sağlamak mümkün olabilecektir. Benzer soğutma uygulamalarının tarımsal üretim zinciri içinde yer alan tarımsal yapıların gereksinim duyulan aylarda soğutulması, fidelik, kuluçkahane gibi özel yapıların iklimlendirilmesi, süt gibi sıvı ürünlerin soğutma prosesinde yararlanma gibi soğutma amaçlı kullanımların yanında, kış aylarında söz konusu yatırımlar aracılığıyla tesislerin ısıtma gereksinimlerinin karşılanması ve kurutma gibi diğer tarımsal faaliyetlerde de kullanımı düşünülebilecektir.

Bu derleme çalışmasında absorpsiyonlu soğutma sistemleri tanıtılmaya çalışılmış ve bu sistemlerin tarımsal soğutma açısından güneş enerjisi ve jeotermal enerji kullanılabilirliğine ilişkin örneklerle açıklamalar yapılmıştır.

Çizelge 1. Küçük kapasiteli absorpsiyonlu soğutma sistemi üreticileri

Firma	Yazaki	EAW	Sonnenklima	Rotartica	ClimateWell	SolarNext
Ülke	Japonya	Almanya	Almanya	İspanya	İsveç	Almanya
Akışkan Çifti	LiBr-H ₂ O	LiBr-H ₂ O	LiBr-H ₂ O	LiBr-H ₂ O	LiCl-H ₂ O	NH ₃ -H ₂ O
Soğutma kapasitesi (kW)	17.5, 35	15, 30	10	4.5	10	12
Sıcak su sıcaklığı (°C) (giriş/çıkış)	88/83	90/80	75/65	90/85	83/-	85/78
Soğuk su sıcaklığı (°C) (giriş/çıkış)	12.5/7.0	17/11	18/15	13/10	12.5/7.0	12/6
Soğutma hattı su sıcaklığı (°C) (giriş/çıkış)	31/35	30/36	27/35	30/35	-/17	24/29
COP	0.72	0.71	0.78	0.7	0.68	0.62

ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri, geleneksel buhar sıkıştırma sistemlerinde de yer alan kondenser ve evaporatörle birlikte absorber, generatör, eriyik pompası ve eriyik ısı değiştiricisi gibi temel kısımlardan oluşmaktadır. Geleneksel sistemlerde kompresör tarafından gerçekleştirilen mekanik iş, bu sistemlerde bir termal mekanizma yardımıyla yapılmaktadır.

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde gerçekleşen bu çevrim, büyük oranda generatöre sağlanacak güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısı gibi kaynaklardan elde edilen ısı enerjisi yardımıyla sağlanmaktadır. Çevrime yardımcı olan eriyik pompası ve soğutma suyu dolaşımını sağlayacak sirkülasyon pompası dışında enerji tüketecek hareketli parçalar bulunmamaktadır. Bu nedenle sisteme verilecek ısı enerjisinin yenilenebilir enerji kaynağı ya da işletmedeki çeşitli proseslerden çıkan ısıdan sağlanması durumunda sistem oldukça ekonomik hale gelmektedir.

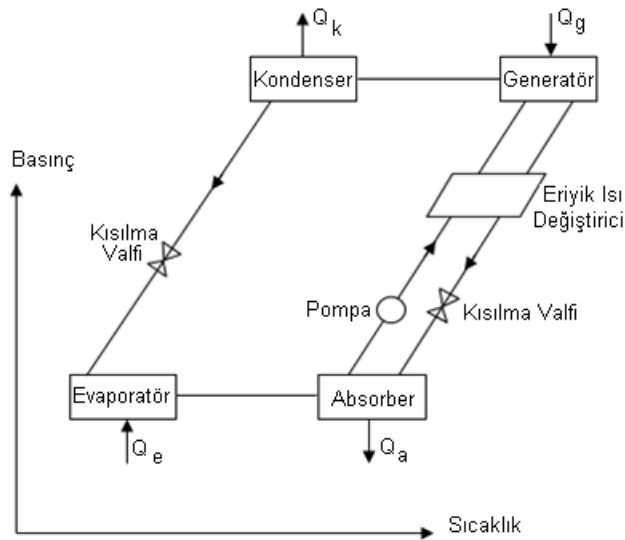
LiBr-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemleri

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışması şematik olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Absorberden çıkıp eriyik pompası yardımıyla eriyik ısı değiştiricisinden geçerek bir miktar ısınan ve soğutucu akışkan miktarınca zengin olan eriyik generatöre gelir. Burada dışarıdan verilen ısı enerjisiyle, soğutucu akışkan buharlaşarak eriyikten ayrışır. Buharlaşarak

generatörü terk eden soğutucu akışkan, yoğuşturucuya gider.

Generatörde, eriyik içinden soğutucu akışkan buharının ayrılmasıyla soğutucu akışkanca zenginleşen eriyik, ısı değiştiricisinden geçerek absorbere geri döner. Yoğuşturucuya giren soğutucu buharı, burada yoğuşarak sıvı haline gelir. Yoğuşturucudan tamamen yoğuşmuş olarak çıkan soğutucu akışkan, genişleme valfinden geçerek buharlaştırıcıya ulaşır. Buharlaştırıcıda, soğutucu akışkan buharlaşarak gerekli soğutma yükünü ortamdaki çeker. Buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu buharı, absorbere gelir. Absorbere gelen soğutucu buharı, generatörden gelen eriyik tarafından absorbe edilir. Absorbere, soğutucu akışkan miktarınca zenginleşen eriyik, bir pompa vasıtasıyla tekrar generatöre gönderilir ve çevrim böylece devam eder (Şencan, 2004).

Son otuz yıldır absorpsiyonlu sistemler üzerine hem teorik hem de deneysel pek çok araştırma sürdürülmüş olmakla birlikte bunların büyük kısmı tek-etkili ve soğutucu akışkan olarak LiBr kullanan sistemler üzerinedir (Şekil 4). Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemleri, tek generatörlü anlamına gelmektedir. Bu sistemlerde düşük ekserjili ısı kullanıldığından bu içsel ayrıştırma ve sıkıştırma işi tek bir generatörle gerçekleştirilmektedir. Nispeten daha düşük sıcaklıklarda enerji kullandığından bu sistemlerin performans katsayısı da düşüktür (0.7-0.8). (Grossman, 2002).

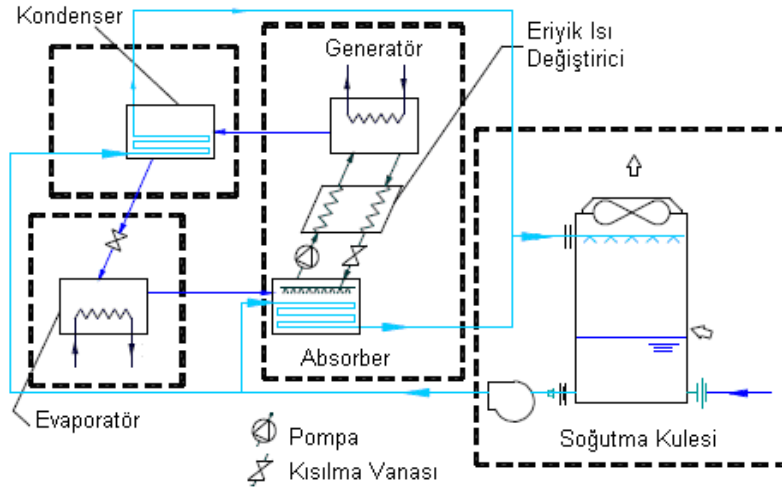


Şekil 3. Absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışması (Herold ve ark., 1996)

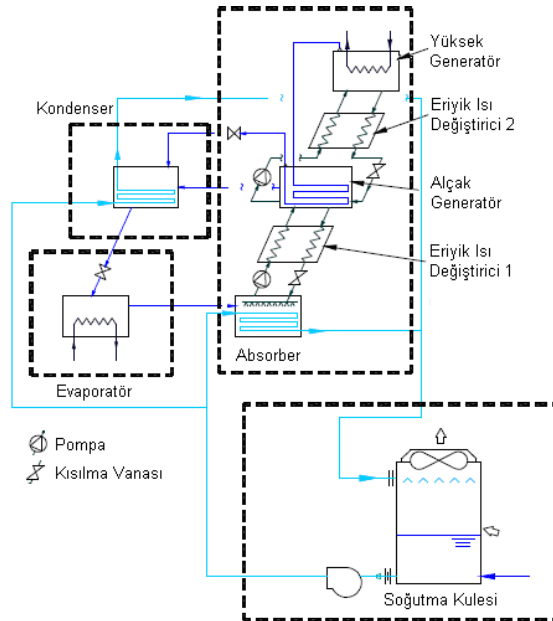
Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, tek etkili olanlara kıyasla generatörde çok daha yüksek ekserjili buhar veya akışkan kullanılır (Şekil 5). Bu ekserjinin tek generatörde işlenmesi mümkün olmadığından iki generatör kullanılmaktadır. İlk kademe generatöründe buhar üretimi, daha yüksek basınç ve sıcaklıkta gerçekleşir. Birinci kademe generatöründen gelen buhar, kondenserle aynı basınçta çalışan ikinci kademe generatörü için ısı kaynağı olarak kullanılır. İkinci kademe generatöründen de üretilen su buharı, soğutkan (su) miktarını artırır, yani birinci kademede generatöre verilen enerji miktarına göre evaporatörden geçen

soğutkan miktarı artırılmış olur. Bu ise aynı miktarda ısı girişi için sistemin soğutma kapasitesini artırır ve sonuç olarak tek kademeli sisteme göre daha yüksek soğutma etkinliği katsayısına (1.2-1.8) ulaşılmasını sağlar. Aşağıda iki kademeli sistemin soğutma çevrimi verilmiştir (Grossman, 2002).

Absorpsiyonlu sistemlerde özellikle 120 °C ve üzerindeki generatör sıcaklıklarında soğutma etki katsayısında bir artış meydana gelir. Bu sıcaklık yenilenebilir enerji kaynakları ile özellikle de parabolik oluk tipi güneş kolektörleri veya atık ısıyla sağlanabilir. Böylece sistem daha ekonomik hale gelir ve çevre kirliliği azaltılmış olur.



Şekil 4. LiBr-H₂O akışkan çifti ile çalışan tek-etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi (Bereche ve ark., 2009)



Şekil 5. LiBr-H₂O akışkan çifti ile çalışan çift-etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi (Bereche ve ark., 2009)

Düz kolektörlerle elde edilen sıcaklıklar 100–120 °C ile sınırlıdır. Bu sıcaklık aralığında tek etkili sistemlerin çalışması mümkün olmaktadır. Ancak parabolik oluk tipte kolektörlerle çizgisel odaklanma sayesinde 180–200 °C sıcaklıklarına ulaşılabilir. Bu sıcaklık aralığında ise çift etkili sistemlerin çalıştırılması daha ekonomik sonuç vermektedir.

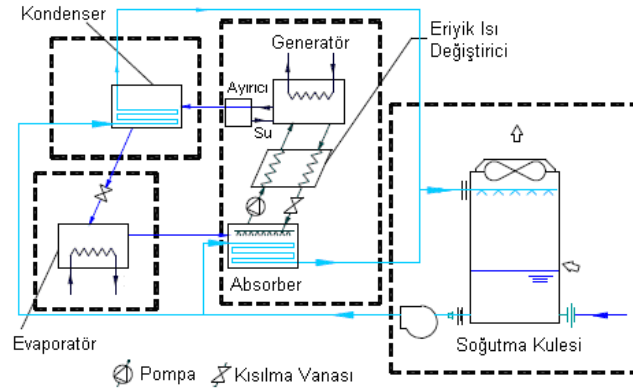
NH₃-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemleri

NH₃-H₂O akışkan çifti ile çalışan tek etkili absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde soğutucu akışkan amonyak, absorbe edici su olmaktadır. Şekil 6 incelendiğinde, sistemin LiBr-H₂O akışkan çiftiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma çevrimine benzediği görülmektedir. İki sistem arasındaki fark, NH₃-H₂O eriyiğinden generatörde elde edilen amonyak ve su buharı, birlikte evaporatöre gittiğinde karışım içindeki suyun donarak sistemi tıka riskini önlemek amacıyla karışım içindeki suyun ayrılması amacıyla ayırıcı bir yapı kullanılmaktadır. İki kademeli amonyak su akışkan çiftli absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde ise sisteme

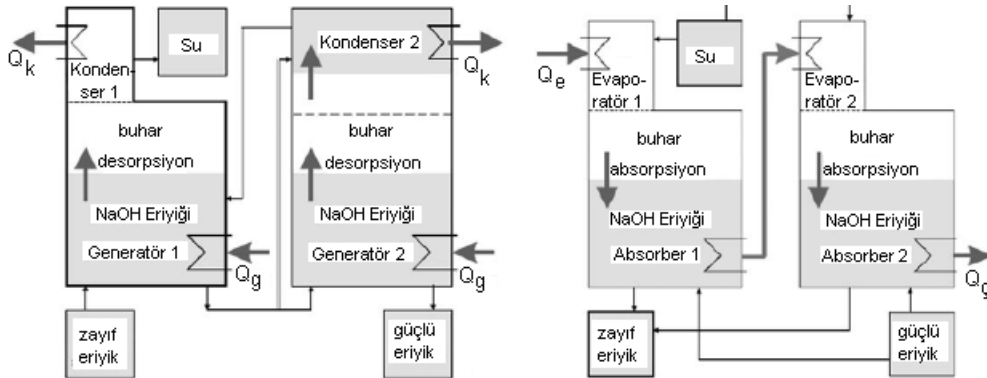
dahil olan ikinci bir generatör ile tek kademede ulaşamayan yüksek sıcaklıklar elde edilerek sistemin soğutma performansı geliştirilmiştir.

NaOH-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemleri

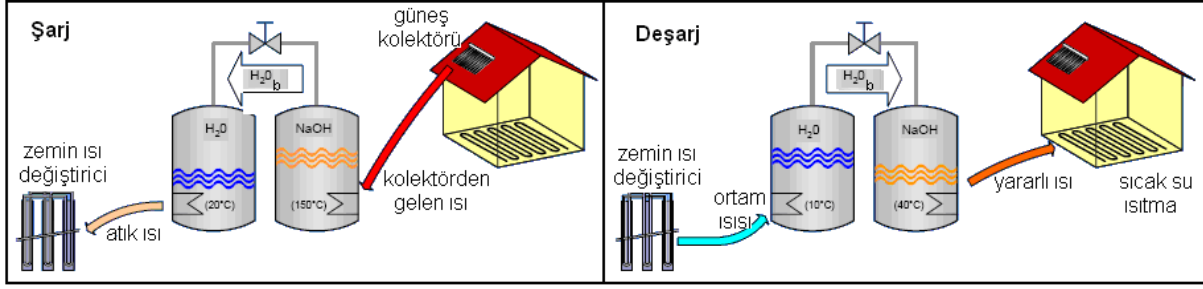
Sistemin şarj (enerji depolama) işleminde, enerji kaynağından (güneş kolektörleri, atık ısı vb) alınan ısıyla NaOH-H₂O çözeltisi kaynatılarak çözeltinin konsantrasyon oranı yükseltilir (Şekil 7). Bu işlem sırasında açığa çıkan su buharı soğutma tarafında kondenserde yoğunlaştırılır. Depolama, kimyasal (veya termal) reaksiyon ile bir ısı pompası gibi çalışmaktadır. NaOH-H₂O çözeltisi üstünde buhar basıncı farkı oluşur, bu fark itici bir güç oluşmaktadır. Buhar basıncı NaOH-H₂O çözeltisinin konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlıdır. Depolanan enerjiyi boşaltmak için, buhar konsantrasyonu NaOH tarafından emilir. Oluşan NaOH-H₂O çözeltisi kızdırıcılarla ısıtılarak yararlı enerji şeklinde sistemden alınır. Bu sistemin uygulamasına bir örnek Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 6. NH₃-H₂O akışkan çifti ile çalışan tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi (ASHRAE, 1997)



Şekil 7. NaOH-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi (Weber, 2008)



Şekil 8. NaOH-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemin uygulama örneği (Weber, 2008)

LiCl-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemleri

LiCl-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan cihazı, A ve B ünitelerinden oluşmakta olup bu ünitelerin her biri, birer adet kondenser ve reaktörden oluşan iki ayrı tanka sahiptir (Şekil 9). Reaktör tankı tuz (LiCl), kondenser tankı su (H₂O) ile doludur.

Absorpsiyonlu soğutma cihazında enerji depolanmak istendiğinde reaktör içinde bulunan tuz-su (LiCl-H₂O) eriyiğinde bulunan suyun buharlaştırılarak tuza maksimum higroskopik özellik kazandırılması gerekir. Bu amaçla güneş kolektörlerinden elde edilen yüksek sıcaklıktaki su, reaktör çevresine döşenmiş borular içinden geçirilmek suretiyle tuz eriyiği ısıtılır ve tuz içinde absorbe edilen su buharlaşmaya başlar. Oluşan su buharı basınç farkından dolayı kondensere geçerek yoğuşmaya başlar. Kondenserde yoğunlaşmayı hızlandırmak amacıyla tankta ortaya çıkan ısının uzaklaştırılması için kondenser çevresine döşenmiş borular içinden, soğutma kulesi hattından gelen soğuk su geçirilerek açığa çıkan ısı ortamdaki alarak atılır. Bu şekilde reaktörde yer alan tuz hızla kurur ve kristalleşir. Reaktör içindeki tuzun kuruma işlemi durduğunda yönlendirme vanaları kapatıldığında sistem depolayabildiği en yüksek enerjiyi depolamış durumdadır (Bales ve Nordlander, 2005; Sanjuan ve ark. 2010).

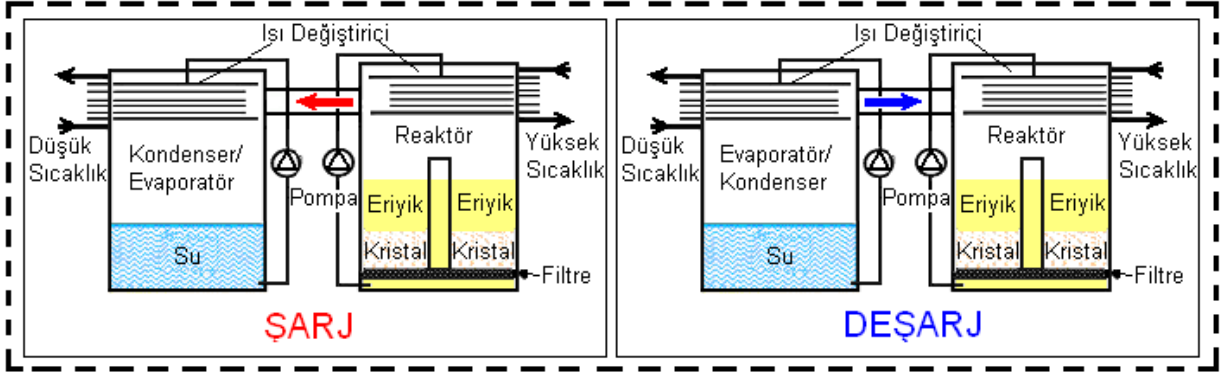
Reaktör içinde tamamen kurumuş halde bulunan tuz maksimum higroskopik özelliktedir. Vakum altındaki reaktör ile kondenser arasındaki yönlendirme vanası açıldığında kondenserdeki su üzerinden buharlaşan moleküller, reaktördeki maksimum

higroskopik özellikteki tuz tarafından hızla çekilerek absorbe edilmeye başlar. Bu esnada kondenserdeki su hızla soğumaya, reaktördeki tuz ise hızla ısınmaya başlar. Reaktörde açığa çıkan yüksek ısı, çevresinden geçen borular içindeki su tarafından alınarak soğutma kulesine yönlendirilir. Kondenserde oluşan düşük ısı (soğukluk) ile kondenser çevresinden geçen borular içindeki suyun sıcaklığı düşürülerek, soğutma amacıyla kullanılabilir soğuk su elde edilmiş olur.

ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN TARIMSAL AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİ

Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla işletme giderlerinin azalması, fosil yakıtlara olan bağımlılığın ve çevre kirliliğinin azalması sağlanabileceğini ifade eden Öztürk (2005), uygulama alanı ve teknolojilerine bağlı olarak tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını sınıflandırmış ve bir çizelge halinde vermiştir (Çizelge 2).

Tarımsal üretim işlemlerinde yararlanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojisinin seçimi; gerekli enerjinin çeşidi, yenilenebilir enerji kaynağı ile tarımsal yapı ve işlemlerin tasarımına bağlıdır. Tarımsal üretim işlemleri arasında, sulama, sera ve hayvan barınakları gibi tarımsal yapıların ısıtılması ve soğutulması, tarımsal ürünlerin kurutulması ve istenen sıcaklık değerlerinde muhafaza edilmesi, toprak ısıtma ve süt soğutma gibi uygulamalarda önemli düzeyde enerji tüketimleri gerçekleşmektedir. Bu nedenle tarımsal alanda da güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan yararlanma üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir.



Şekil 9. LiCl-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi

Çizelge 2. Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması (Öztürk, 2005)

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Teknoloji	Uygulama Alanı	Gereksinimler	Yararları
Güneş Enerjisi	Aydınlatma	Doğal Aydınlatma	Tarımsal yapılar doğal aydınlatmaya uygun olarak tasarlanmalıdır.	Aydınlatma giderleri azalır. Üretim artışı sağlanır
	Fotovoltaik	Elektrik üretimi	Güneş ışınımı engellenmemelidir.	Elektrik gereksinimi karşılanır. Bina tasarımına veya çatıya yerleştirilebilir.
	Ortam Isıtma	Ortam ısıtma	Zeminden ısıtma yapmak gereklidir.	Yaşam koşulları iyileşir.
	Ortam Isıtma/toplaç	Ön ısıtma ve ısıtma	Duvarların güneş görmesi gerekir.	Hava kalitesi iyileşir.
	Su ısıtma	Sıcak su	Güneş ışınımı engellenmemelidir.	Sıcak su gereksinimi karşılanır.
Jeotermal Enerji	Jeotermal ısı pompası	Sera ısıtma Hayvan barınakları Balık çiftlikleri Toprak ısıtma Ürün kurutma Mantar üretimi Toprak ıslahı	Yatay veya düşey kuyular için yer gereklidir. Jeotermal akışkanın kimyasal yapısı önemlidir.	Isı değiştiriciler ile yapılan ısıtma ve soğutma uygulamalarında yaşam koşulları iyileşir.
Biyokütle Enerjisi	Biyoenerji yakıtları	Elektrik üretimi Ortam ısıtma ve soğutma Su ısıtma ve soğutma Biyodizel yakıtı	Tarım ve orman atıklarından sürekli olarak sağlanan organik materyal gereklidir.	Atık kontrolü sağlanır. Çevreye olan olumsuz etkileri önlenir. İşletme giderleri azalır. Yedek güç sağlanır.
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar türbini	Elektrik üretimi Mekanik güç	Belirli hızda esen rüzgar gereklidir.	Gelişen teknoloji ile birlikte enerji birim maliyetleri düşmektedir. Dışa bağımlı değildir. Çevre dostudur.
Hidrolik Enerji	Hidroelektrik	Elektrik üretimi	Güvenilir su akımı gereklidir.	Yapılan yatırım sadece enerji için değil sulama ve taşkın amaçlı kullanılabilir.

Güneş enerjisi ülkemizde de gerek potansiyel gerekse uygulama olarak daha çok sıcak su ısıtmada değerlendirilmektedir. Bu sistemlerin ısıtmanın yanında soğutmada da yapabilecek şekilde geliştirilmeleri çevre ve enerji tasarrufunda önemli rol oynamaktadır (Akdemir ve Güngör, 2001). Çizelge 2'de de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynakları ısıtma ve soğutma amaçlı olarak tarımın farklı alanlarında

kullanılabilmektedir. Bu alanlarda absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımıyla ilgili mevcut uygulamalar bulunmamasına karşın, özellikle son yıllarda bu konuya ilgi duyulmaya başlanmıştır. Güneş enerjisiyle soğutma özellikle de iklimlendirme, güneş enerjisinin en yüksek olduğu mevsimlerde ihtiyaç duyulan tarımsal gereksinimlerden birisidir.

Absorpsiyonlu sistemlerde soğutma işleminin elektrik enerjisi yerine, bir termal mekanizma yardımıyla gerçekleştirilmesi, özellikle güneş enerjisi ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin yüksek olduğu ülkemizde, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinden yararlanarak önemli düzeyde enerji tasarrufları sağlamak mümkün olabilecektir. Benzer soğutma uygulamalarının tarımsal üretim zinciri içinde yer alan tarımsal yapıların gereksinim duyulan aylarda soğutulması, tohum ve fide üretim odaları, kuluçkahane, civciv üretim tesisleri gibi özel yapıların iklimlendirilmesi, süt soğutma prosesinde kullanım gibi soğutma amaçlı kullanımı, kış aylarında söz konusu yatırımlar aracılığıyla tesislerin ısıtma gereksinimlerinin karşılanması veya desteklenmesi yanında, kurutma gibi diğer tarımsal faaliyetlerde de kullanımı düşünülebilecektir.

Küçük kapasiteli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımına yönelik olarak yurt dışında (Jakob, 2008) çeşitli bina ve oda soğutma uygulamaları olmasına karşın ülkemizde az sayıda büyük ölçekli sistemlerin uygulandığı, son yıllarda ise küçük kapasiteli sistemlerin seri/paralel bağlantılarla bazı bina/otel soğutmalarında kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Bunun yanında yapılan bilimsel çalışmalar yoğunlukla sistemlerin teorik analizi üzerinde kalmış olup deneysel olarak gerçekleştirilen az sayıdaki çalışmadan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Şencan (2004), 1 kW'lık soğutma kapasitesine sahip LiBr-H₂O akışkan çifti ile çalışan bir absorpsiyonlu soğutma sistemi tasarlayarak, imal edilen sistemde deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Farklı çalışma şartları altında, soğutma ve ısıtma uygulamaları için LiBr-H₂O akışkan çiftli absorpsiyonlu sistemin performans katsayıları (COP) ve ekserji verimlerini hesaplamıştır. Ayrıca sistem parametrelerinin, sistemin performans katsayısı ve ekserji verimi üzerine olan etkilerini incelemiştir. Çalışmasında, deneysel olarak bulunan değerler ile teorik olarak hesaplanan değerleri karşılaştırmıştır. Teorik olarak evaporatör çıkış sıcaklığını 6 °C ve COP değerini 0.743 hesaplamıştır. Sistemdeki deneysel sonuçlar da evaporatör çıkış sıcaklığının 10 °C ve COP değerinin 0.556 olduğunu belirtmiştir.

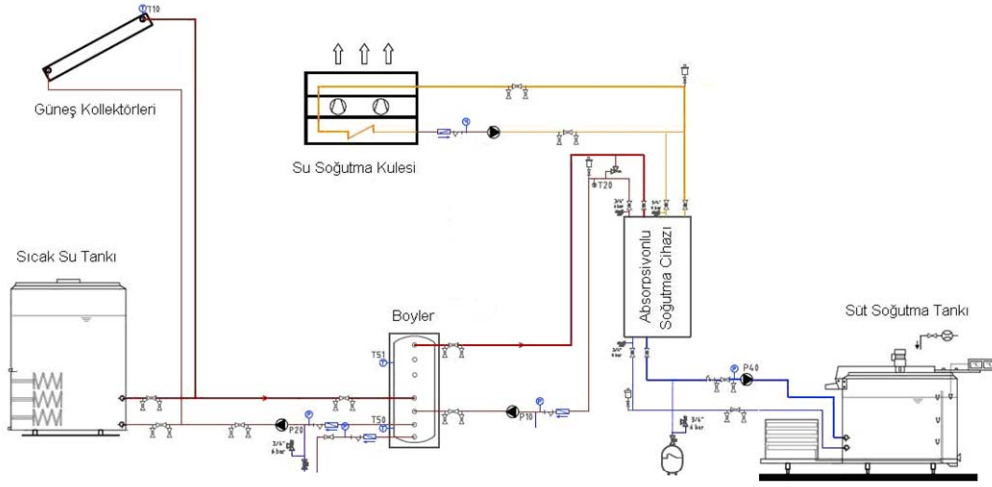
Hilali ve ark. (2005), Mersin ilinde tek katlı bir binanın soğutma yükünü hesaplayarak bu yükün güneş enerjisi kaynaklı ve LiBr-H₂O çiftiyle çalışan tek kademeli bir absorpsiyonlu soğutma sistemiyle karşılanması durumunda gerekli optimum kolektör

alanını tespit etmişlerdir. Yapılan termodinamik analizlerde evaporatör kapasitesi olarak binanın aylara göre soğutma yükü kabul edilmiştir. Maksimum 14.7 kW soğutma yükünün olduğu binada alüminyum panelli, tek camlı ve 2 m² brüt alanlı optimum kolektör sayısı 50 ve geri ödeme süresi 2 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, soğutma yükünün tamamının absorpsiyonlu sistemle sağlanmasının yüksek maliyet gerektirdiğini, ancak çevre bilinci açısından bunların önem taşıdığını belirtmişlerdir.

Pastakkaya ve ark., (2011), Bursa Uludağ Üniversitesi'nde kurulan güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu ısı pompası sistemi ile yaptıkları çalışmada, bir odanın soğutma uygulamasını deneysel olarak incelemişlerdir. Deney tesisatında yer alan LiCl-H₂O akışkan çifti ile çalışan, içsel enerji depolamalı absorpsiyonlu soğutma sistemi, 30 m² taban alanına sahip bir test odasının günlük soğutma yükünü karşılamak için kullanılmıştır. Absorpsiyonlu sistemin çalışması için gereken termal enerji her biri 2.5 m² yüzey alanına sahip 16 adet düz güneş kolektör sistemi ile sağlanmıştır. Güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda kullanılmak üzere yardımcı sistem olarak elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, absorpsiyonlu ısı pompasının, içsel enerji depolama özelliği sayesinde, ek bir enerji depolama sistemine ihtiyaç duymadan, gece saatlerinde de çalışmasını sürdürerek, odanın günlük tüm soğutma yükünü karşıladığını tespit etmişlerdir.

Yukarıda açıklanan küçük kapasiteli uygulamalar ile tarımsal alanda küçük kapasiteli soğutma uygulamalarını örneğin tarımsal amaçlı kullanılan tohum ve fide üretim odaları, kuluçkahane, civciv üretim tesisleri gibi özel yapıların iklimlendirilmesinde, atık ısı veya güneş enerjisi destekli olarak kullanmak mümkün olabilir. Bunun yanında tarımsal amaçlı özel uygulamalardan bir tanesi de sütün soğutulmasıdır.

Süt soğutma amacıyla absorpsiyonlu soğutma sisteminin kullanımına yönelik teorik çalışma Pilatowsky ve ark. (2004) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada vakum tüplü güneş kolektörleriyle gerekli ısının sağlandığı ve monometilamin-su akışkan çiftinin kullanıldığı absorpsiyonlu soğutma sisteminin teorik olarak termodinamik simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin Meksika'nın kırsal kesimlerinde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada, eriyik ısı değiştiricisi ve süt ön soğutucusu kullanımının termodinamik etkinliği arttırdığını belirtmişlerdir.



Şekil 10. Güneş enerjisi destekli LiCl-H₂O akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi ile sütün soğutulması

Sonuç olarak, monometilamin-su çiftinin güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemi için iyi bir seçim olduğu, vakum borulu kolektörlerin gerekli alan değerini azalttığı ve Meksika'da günlük süt üretiminde soğutma amacıyla ihtiyaç duyulan ısı yükünü üretebildiği belirlenmiştir.

Tarımsal amaçlı uygulamaya yönelik diğer bir çalışma alanı olarak, süt soğutma amacıyla absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımına yönelik olarak Alvares ve Trepp (1987) ile Pilatowsky ve ark'nın (2004) yapmış olduğu simülasyon çalışmalarıyla sınırlanan konunun, deneysel bir çalışmayı da kapsayarak araştırılması ve geliştirilmesi, bu çalışma ile gerçekleştirilecektir.

Ülkemizde güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin, süt soğutma amacıyla kullanılabilirliğini deneysel olarak belirlemek amacıyla Tübitak destekli yürütülen çalışma kapsamında LiCl-H₂O akışkan çiftiyle çalışan ticari ve LiBr-H₂O akışkan çiftiyle çalışan imalatı gerçekleştirilecek iki absorpsiyonlu soğutma sisteminin kullanımı planlanmıştır. Planlaması yapılan sistem, Şekil 10'da şematik olarak verilmiştir.

Sütün sağıldığı ve soğutulma gereksiniminin yani enerji ihtiyacının en yüksek olduğu sabah ve akşam saatlerinde (sabah gün doğarken ve akşam gün batarken) güneş enerjisinin olmaması veya yoğunluğunun az olması nedeniyle, enerjiyi içsel depolama özelliğindeki LiCl-H₂O akışkan çiftiyle çalışan sistem seçilmiş olup bu gereksinimin karşılanabilirliği

üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. Sistemin her bir ünitesinin ayrı ayrı içsel enerjiyi depolama özelliğinin bulunması, sütün soğutulma gereksiniminin olduğu sabah ve akşam saatlerinde sistemde bulunan depolama ünitelerinden birinde depolanan enerji ile akşam sağımı gerçekleştirilen sütün soğutulması, diğer üniteye depolanan enerji ile de sabah sağılan sütün soğutulmasında daha etkin bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Fosil yakıtların doğrudan veya dolaylı olarak kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunların önlenmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması son derece önemlidir. Konu tarım sektörü açısından değerlendirildiğinde, tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara bağlı olarak değişir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve rüzgar enerjisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarımsal üretim işlemlerinde de enerji kullanım etkinliğine önem verilerek özellikle ısıtma, soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında ısı transferi açısından etkinlik artırılması son derece önemli olmaktadır.

Soğutma amacıyla tarımsal amaçlı yararlanılabilecek sistemlerden olan "absorpsiyonlu sistemler", güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir ve endüstriyel tesislerden atılan atık ısı gibi ısı enerjisi kaynakları ile çalışabilirler. Bu tür ısı

enerji kaynaklarının kullanıldığı absorpsiyonlu sistemler, özellikle enerji ihtiyacının arttığı son yıllarda oldukça cazip hale gelmiştir. Ayrıca, absorpsiyonlu sistemlerde çalışma akışkanı olarak ozon tabakasına zarar vermeyen doğal akışkan çiftleri kullanılmaktadır. Bu yüzden absorpsiyonlu sistemler, çevreyle dost sistemler olarak da tanımlanmaktadır. Bu yönleriyle söz konusu sistemler tarımsal amaçlı soğutma (iklimlendirme) uygulamalarında kullanılabilir bir alternatif olarak değerlendirilmelidir.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Akdemir, Ö., Güngör, A., 2001. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri; Verimlerini Artırmak için Geliştirilen Çevrimler, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir. s: 97-113.
- Alvares S. G., Trepp, Ch., 1987. Simulation of a Solar Driven Aqua-Ammonia Absorption Refrigeration System Part 2: Viability For Milk Cooling at Remote Brazilian Dairy Farms, International Journal of Refrigeration, Vol. 10, I. 2, pp. 70-77.
- ASHRAE, 1997. Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta
- Bales, C., S. Nordlander, 2005. TCA Evaluation-lab Measurements, Modelling and System Simulations. Borlange, Sweden: Hogskolan Dalarna; 2005, www.serc.se.
- Bereche, R. P., R. G. Palomino, S. A. Nebra, 2009. Thermo-economic Analysis of a Single and Double-effect LiBr/H₂O Absorption Refrigeration System Int. J. of Thermodynamics Vol. 12 (No. 2), pp. 89-96, June 2009 ISSN 1301-9724 www.icatweb.org/journal.htm
- Daliang, H., C. Guangming, T. Limin, H. Yijian, 2011. A Novel Ejector-absorption Combined Refrigeration Cycle. International Journal of Refrigeration, 34. 1596-1603.
- Demir, H., M. Mobedi, S. Ülkü, 2005. Adsorpsiyonlu Isı Pompaları. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 23-26 Kasım, 2005
- Florides, G. A., S. A. Kalogirou, S. A. Tassou, L. C. Wrobel, 2003. Design and Construction of a LiBr-Water Absorption Machine, Energy Conversion and Management, 44: 2483-2508.
- Grossman, G., 2002, Solar-powered Systems for Cooling, Dehumidification and Air-conditioning, Solar Energy, 72, pp. 53- 62.
- Günhan, T., V. Demir, H. Bilgen, 2006. Çiftlik Tipi Süt Soğutma Tanklarının Performans Değerlerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi. 2 (4) s: 369-379.
- Herold, K. E., R. Radermacher, S. A. Klein, 1996. Absorption Chillers and Heat Pumps. CRC Press
- Hilali, İ., H. Bulut, R. Karadağ, 2005. Güneş Enerjisi ile Çalışan Tek Kademeli LiBr/H₂O'lu Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi için Optimum Kolektör Alanının Tespiti, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi. s : 10-17.
- Jakob, U., 2008. New Concepts And Promising Technologies, Proceedings of the International Conference Sustainable Cooling Systems: Solar Cooling, TECHbase Vienna, Austria, pp. 70-75.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen TOVAG-1100148 nolu "Güneş Enerjisi Kaynaklı Bir Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Süt Soğutma Amacıyla Kullanılabilirliği" başlıklı proje kapsamında yürütülen çalışma çerçevesinde hazırlanmıştır. Projeyi destekleyen TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

- Meyer, J., 2008. What Solar Cooling Costs. Sun and Wind Energy 1:82-84.
- Mittal, V., K. S. Kasana, N. S. Thakur, 2006. Modelling and Simulation of a Solar Absorption Cooling System for India, Journal of Energy in Southern Africa, Vol : 17, No : 3, pp. 65-70. (2006).
- Mugnier, D., M. Hamadi, A. Le Denn, 2008. Water Chillers-closed Systems for Chilled Wwater Production (small and large capacities). Int Seminar on Solar Air-Conditioning, Munich, pp. 31-37.
- Öztürk, H. H., 2005. Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin. <http://www.solar-academy.com/menus/tarimda-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-kullanimi.021520.pdf> & <http://www.solar-academy.com/menus/tarimda-enerji-kullanimi-ve-yenilenebilir-enerji-kaynaklari.021348.pdf>
- Pastakkaya, B., N. Yamankaradeniz, S. Coşkun, 2011. Binaların Soğutulmasında Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorpsiyonlu Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi Mersin
- Pilatowsky, I., W. Rivera, J. R. Romero, 2004. Performance Evaluation of a Monomethylamine-Water Solar Absorption Refrigeration System for Milk Cooling Purposes, Applied Thermal Engineering 24:1103-1115.
- Pilatowsky, I., R. J. Romero, C. A. Isaza, S.A. Gamboa, P.J. Sebastian, W. Rivera, 2011. Cogeneration Fuel Cell-Sorption Air Conditioning Systems Chapter 4 State of the Art of Sorption Refrigeration Systems. Springer- Verlag London Ltd.
- Sanjuan, C., S. Soutullo, M. R. Heras, 2010. Optimization of a Solar Cooling System with Interior Energy Storage. Solar Energy 84 (2010) 1244-1254.
- Şencan, A., 2004. Atık Isı ile Çalışan Absorpsiyonlu Sistemlerin Modellenmesi, Ekserji Analizi ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 152 s.
- Şencan, A., 2006. Performance Of Ammonia-Water Refrigeration Systems Using Artificial Neural Networks, Renewable Energy, 32 : 314-328.
- Troi, A., Napolitano, A., Sparber, W., 2008. Overview of Solar Cooling Systems for Commercial Buildings. Int. Seminar on Solar Air-Conditioning, Munich, pp. 81-91.
- Weber, R.V.D., 2008. Long-term heat storage with NaOH. Vacuum. 82(7):708-16.