

Isıl Enerji Tahrikli Soğutma Sistemleri

Mükrimin Şevket GÜNEY^{1*}, Birkut GÜLER²

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

²Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

Geliş Tarihi: 12.04.2017

Kabul Tarihi: 17.05.2017

*Sorumlu Yazar: guney80@gmail.com

Özet

Buhar sıkıştırırmalı soğutma makineleri performans katsayıları yüksek olmalarına rağmen hem elektrik enerjisine yoğun bağlı olmalarından, hem de kullanılan aracı akışkan olan muhtelif Freon gazlarının çevreye olumsuz etkilerinden dolayı alternatif soğutma sistemlerine ilgi artmaktadır. Bu manada absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri öne çıkmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin ikili ve üçlü kojenerasyon sistemlerinde soğutma enerjisi elde edilme yöntemi olarak kullanılması rahatlıkla mümkündür. Bu çalışmada ısıl enerji kaynaklı soğutma sistemleri olan absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri üzerinde kapsamlı sınıflandırmayı içeren, yerine göre kıyaslamalı ve kullanım yerlerini de belirten bilgiler verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma, Isıl enerji, Absorpsiyon, Adsorpsiyon.

Heat Energy Driven Cooling Systems

Abstract

Although vapor compressed cooling machines have a high performance coefficient, since both they are heavily dependent on electrical energy and the Freon gases, used as working fluid, have negative effects on environment, there is an increase in alternative cooling systems. In this sense, absorption and adsorption cooling stand out among other cooling systems. It is possible that these systems are used as methods for obtaining cooling energy in double and triple cogeneration systems. In this study, the extensive categorization of absorption and adsorption cooling systems, which are thermal energy sourced cooling systems, the comparison of them and the information on their area of use are provided.

Keywords: Cooling, thermal energy, absorption, adsorption.

1. Giriş

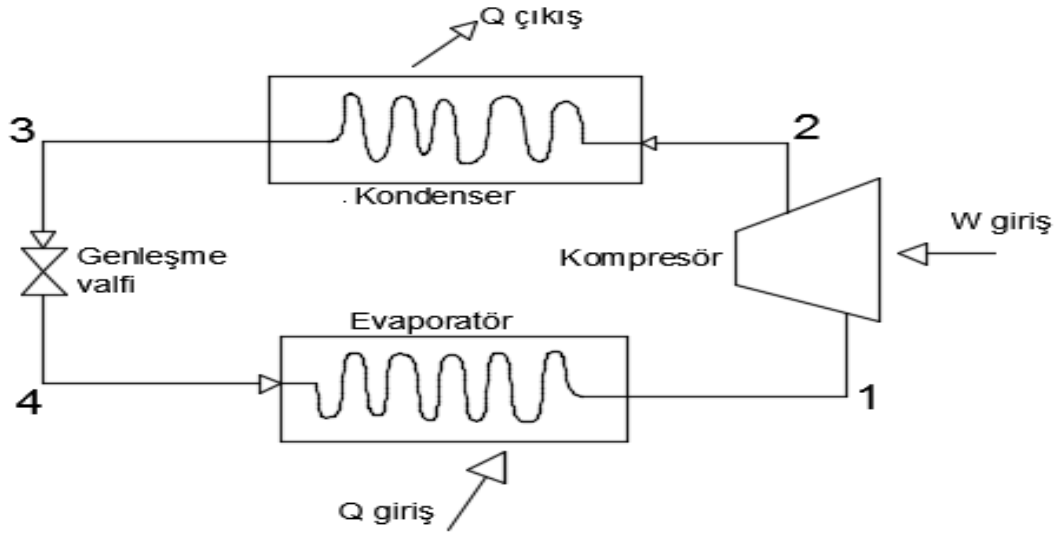
Soğutma teknik anlamda, cisimlerin veya akışkanların buldukları çevre ortamlarına bağlı olarak oluşan sıcaklıklarından, daha düşük sıcaklıklara getirilmesi sürecidir. Soğutma yiyecekleri koruma, içecekleri soğutma, buz eldesi, konfor kliması gereksinimleri, proses soğutması, gazların ayrıştırılması vb. amaçlarla yapılmaktadır. Bu amaçlarla genellikle su veya hidrolik yağlar gibi sıvı veya hava gibi gaz materyallerin soğutulması söz konusu olmaktadır. Uygulamada çoğunlukla karşımıza proses veya konfor soğutması gereksinimleri çıkmaktadır. Kullanılan yöntemler bakımından incelendiğinde soğutma enerji sarfiyatı yoğun bir süreçtir. Buhar sıkıştırılmalı elektrik motoru tahrikli mekanik kompresörlü soğutma makineleri bilinen ve en sık uygulanan soğutma çevrimi ve yöntemidir. Ancak bu yöntem yüksek elektrik tüketim değerlerine sahiptir. Atık ısı veya güneş enerjisi kaynaklı çalışabilen ve elektrik sarfiyatları çok daha düşük olan absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri buhar sıkıştırılmalı mekanik kompresörlü sistemlere önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Anonymous 1, 1997; Liao, 2004; Abed ve ark. 2017).

Birleşik ısı ve güç üreten kojenerasyon sistemleri enerjiyi daha etkin kullanabilmek bakımından önem arz etmektedir. Bileşik ikili (elektriksel güç ve ısı) ve bileşik üçlü (elektriksel güç, ısı ve soğutma) sistemler hem teşvik edilmekte ve hem de kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Isı tahrikli soğutma sistemleri de kojenerasyon sistemlerinin bir parçası olabildiğinden giderek daha önem kazanmaktadır. Ayrıca atık ısı enerjinin bulunduğu durumlarda kullanılmaları önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Bu çalışmada absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinin özellikleri, tanıtılması, sınıflandırılması ve ilgili konudaki son gelişmeler ve eğilimler verilmeye çalışılacaktır.

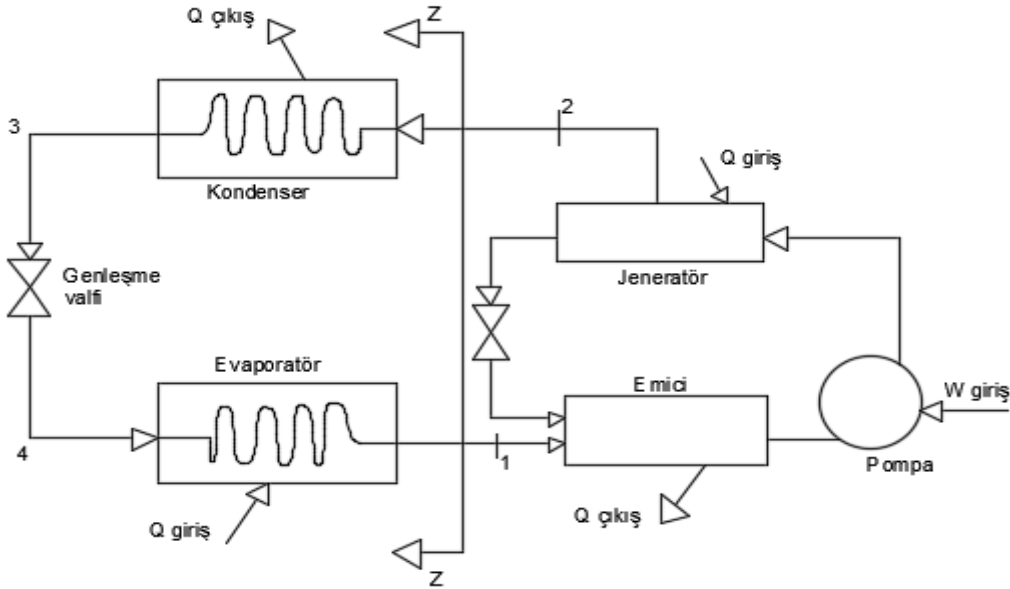
2. Materyal ve Metot

2.1. Absorpsiyonlu ve Adsorpsiyonlu Soğutma Çevrimleri

Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinde kullanılan ve Şekil 1'de (Anonymous 2, 2017) görülen ve sistemin ana elektrik sarfiyatını oluşturan elektrik motoru tahrikli mekanik kompresörlerin yerini termik kompresör olarak adlandırılan ve absorber, kaynaticı, eriyik pompası, kısma vanası ve gerektiğinde kullanılan ısı değiştiriciden oluşan ekipman grubu almaktadır, (Şekil 2) (Anonymous 2, 2017). Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin en önemli avantajı ise soğutma kapasitelerinin yaklaşık % 5' i kadar bir elektrik enerjisine gereksinim duymalarıdır (Abed ve ark. 2017).



Şekil 1. Buhar sıkıştırımlı mekanik kompresörlü soğutma sistemi prensip şeması (Anonymous 2, 2017).



Şekil 2. Absorpsiyonlu soğutma sistemi prensip şeması (Anonymous 2, 2017).

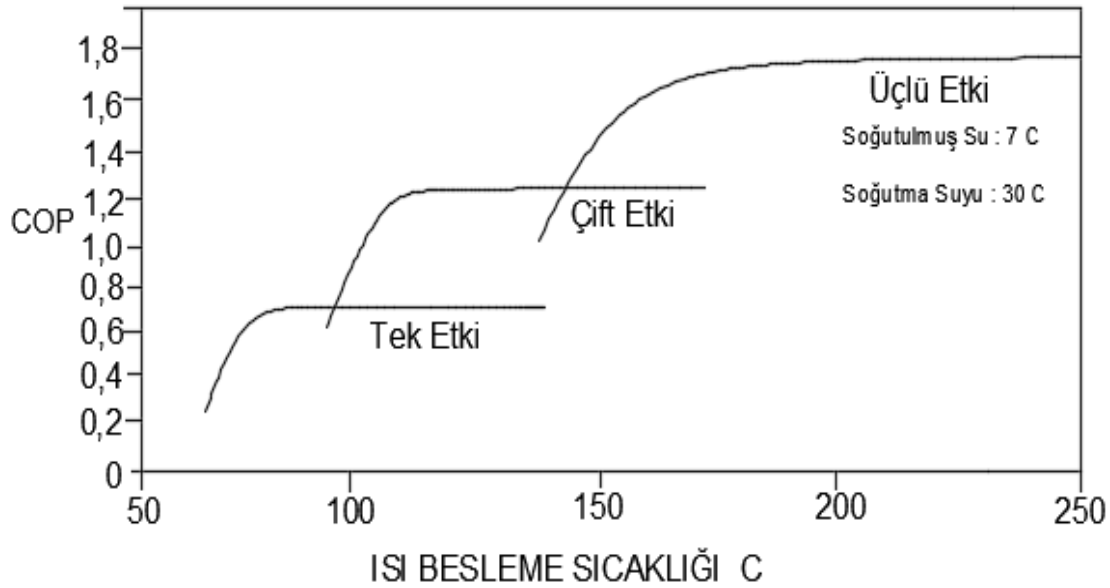
2.2. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri

Absorpsiyonlu soğutma makinelerinde (ASM) biri soğutucu akışkan diğeri ise absorbent olarak işlev gören ikili eriyik kullanılmaktadır. Farklı ikili eriyik çiftleri mümkün olmasına rağmen, ticari uygulamalarda elde edilmek istenen soğutma sıcaklığına göre daha ziyade amonyak-su veya lityum bromür-su ikili eriyikleri tercih edilmektedir (Martinez ve ark. 2010).

Derin soğutma gereksinimleri söz konusu olduğunda çoğunlukla amonyak-su çifti kullanılmaktadır (Anonymous 4, 2012). Burada amonyak soğutucu akışkan görevini yerine getirirken su ise absorbent madde işlevini görmektedir. Konfor soğutması ve proses soğutması gereksinimleri

için ise çoğunlukla LiBr-su ikili eriyiği kullanılmaktadır. Burada su soğutucu akışkan lityum bromür ise absorbent madde olmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma iki farklı basınç seviyesinde çalışmaktadır, bunlar sırasıyla kaynatıcı ve kondenserdeki yüksek basınç ve evaporator ile absorberdeki alçak basınç seviyeleridir. Çalışma prensibi ise soğutucu akışkan ile absorbent arasındaki farklı buharlaşma sıcaklıklarına dayanmaktadır. Aslında termik kompresör evaporatörden kondensere soğutucu akışkan buharını sevk edebilmek için ısıyla tahrik edilen konsantrasyon farklılığını kullanmaktadır.

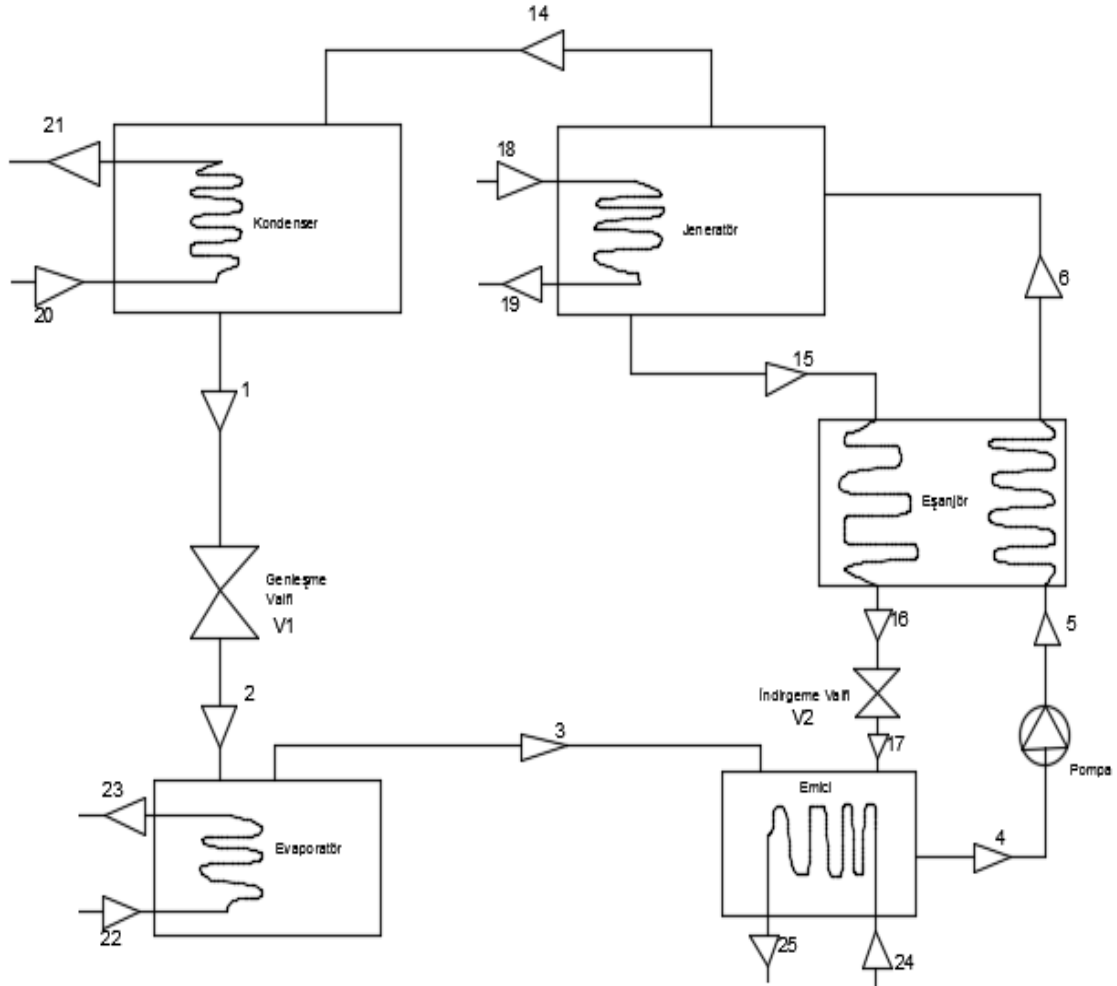
Absorpsiyonlu soğutma makineleri tek etkili, çift etkili ve üç etkili sistemler olarak sınıflandırılabilir (Anonymous 4, 2012). Etki sayıları arttıkça soğutma performans katsayıları (COP) artmaktadır, ancak sistem yapısal olarak daha komplike hale gelmekte, ayrıca sistemin gereksinim duyduğu ısı kaynak sıcaklıkları da yükselmektedir. Bu ise etki sayıları artarken, sistem oluşturma ilk yatırım maliyetleri de yükselmektedir. Üç etkili ASM tek veya çift döngülü sistemler olarak ayrılmaktadır. (Ullah ve ark. 2013). Üç etkili makineler özel araştırma amaçlı olarak henüz deneme aşamasındadır. Etki sayılarına göre sistem performans katsayıları Şekil 3'te verilmiştir (Bataineh ve Taamneh 2016).



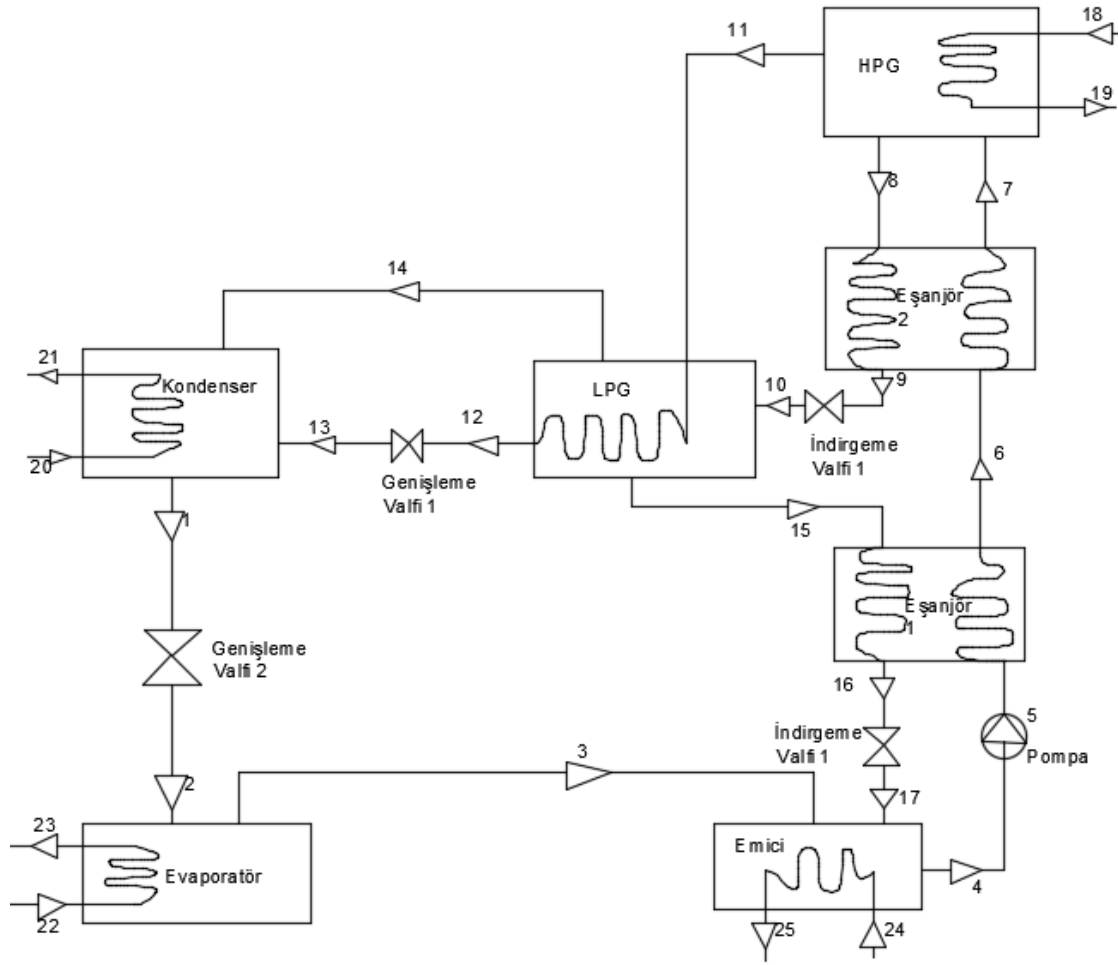
Şekil 3. Farklı etkili absorpsiyonlu su soğutma makinelerinin performans katsayıları (Bataineh ve Taamneh 2016).

Tek etkili absorpsiyonlu soğutma makinelerinde gerekli olan ısı kaynak sıcaklıkları minimum 70 °C ve üzeri olurken, çift etkili sistemlerde 100 °C ve üzeri sıcaklıklar gerekmektedir, ancak diğer yandan gerekli kaynak sıcaklıklarının düşürülmesine yönelik araştırmalarda sürmektedir. Şekil 4 de ısı kaynak olarak sıcak su kullanan tek etkili, Şekil 5 de çift etkili ve Şekil 6 da üç etkili ASM çalışma prensip resimleri verilmektedir (Gomri 2010). Söz konusu sistemler incelendiğinde etki sayısı kadar

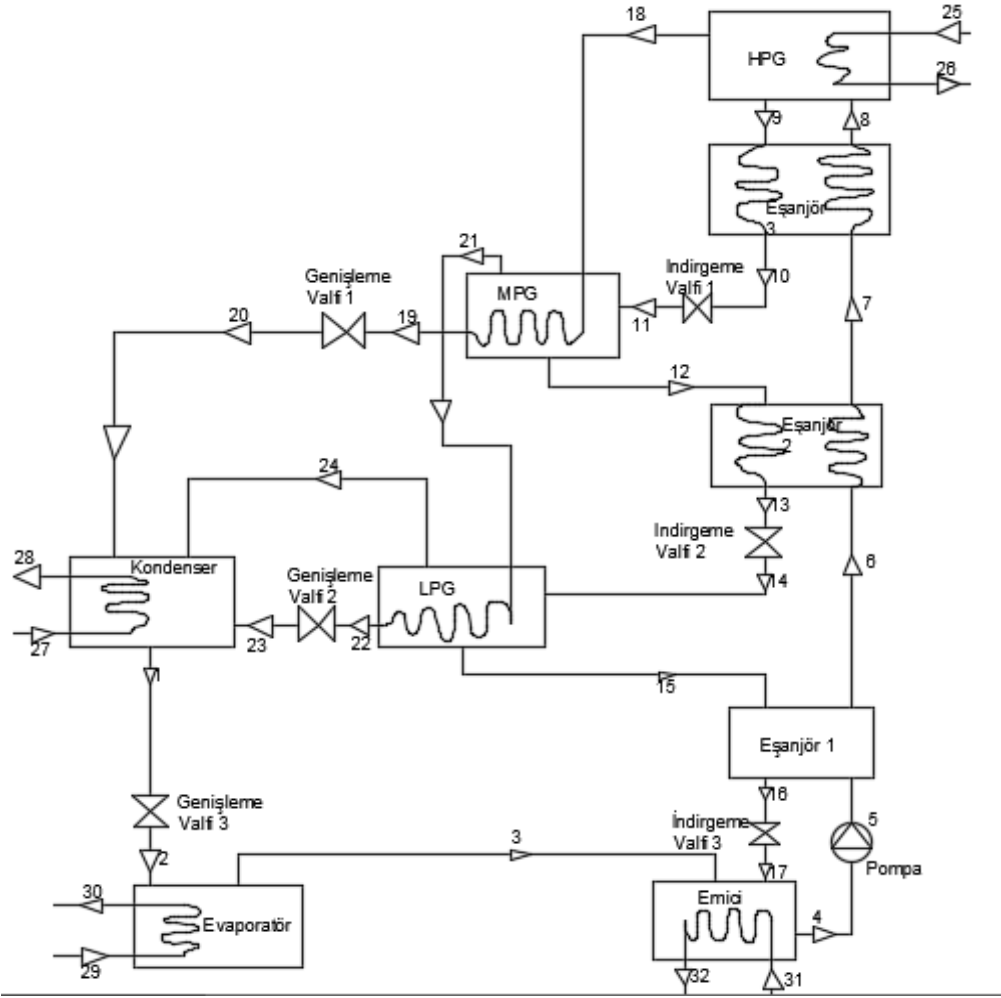
kaynatıcı sayısı olduğu görülmektedir. Kaynatıcılar düşük, orta ve yüksek basınç kaynatıcılar olarak ayrılmaktadır. Ayrıca etki sayısı ile birlikte sistemde gereksinim duyulan ısı değiştiricilerde artmaktadır.



Şekil 4. Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik görünüşü (Gomri 2010).

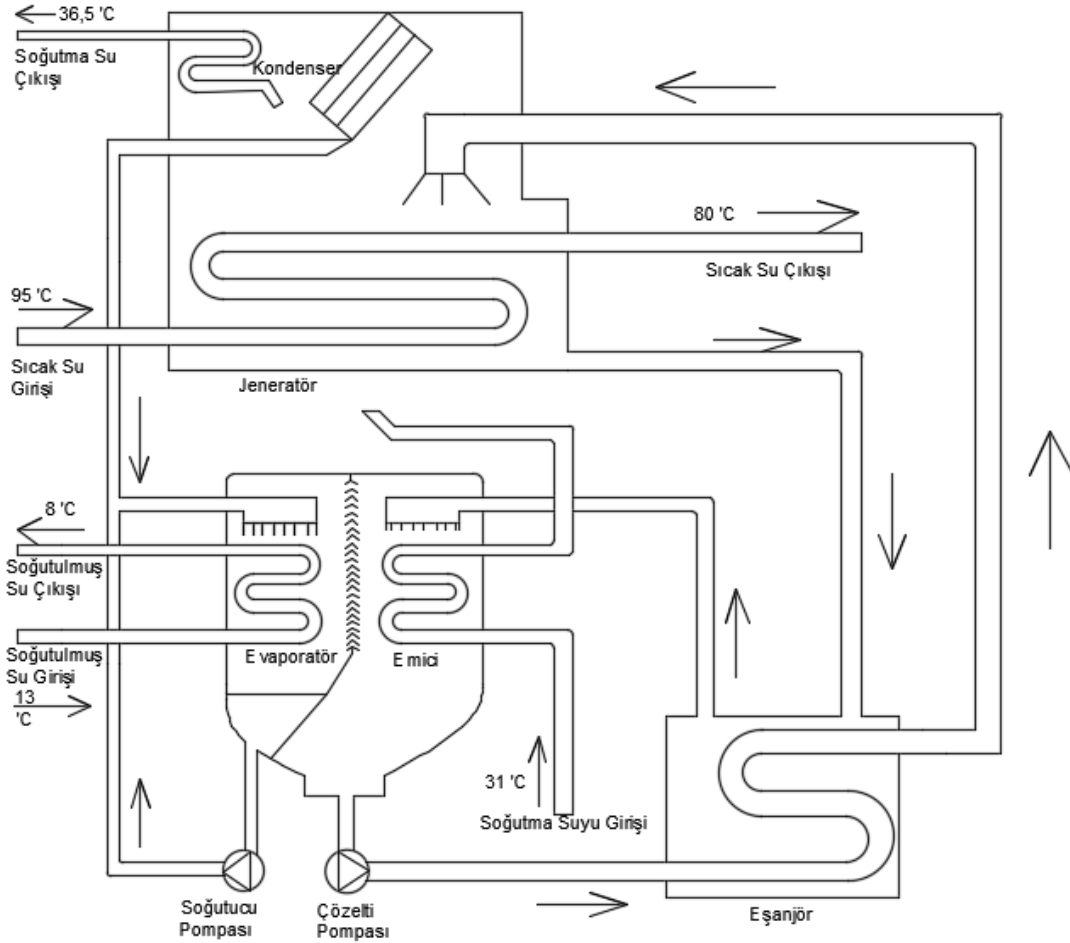


Şekil 5. Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik görünüşü (Gomri 2010).



Şekil 6. Üç etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik görünümü (Gomri 2010).

Tek etkili ASM çalışma prensiplerini daha detaylı incelenebildiği fonksiyon şematığı Şekil 7 de verilmiştir (Anonymous 3, 2016). ASM kaynatıcı kısmına 95 °C de giren sıcak su kaynatıcıyı 80 °C de terk etmektedir. Sıcak su giriş sıcaklığı teknolojideki gelişmelerle birlikte 70 °C ye kadar olabilmektedir. Bu seviyedeki sıcaklıkları hem düzlem güneş kolektörleriyle hem de atık ısılarla kazanabilmek rahatlıkla mümkündür. Sistemde soğutma suyu gereksinimi de mevcuttur. Bu amaçla şekil 7 de görüldüğü gibi 31 °C de soğutma suyu olarak sisteme absorberden giren su burada etkin bir soğutmayı sağladıktan sonra kondensere geçmekte ve buradaki ısı çekme işlevini de yerine getirdikten sonra 36,5 °C da sistemi terk etmektedir. Soğutma suyu kapalı devre su veya hava soğutmalı ikincil kondenser veya soğutma kulesi üzerinden tekrar soğutulularak sisteme yeniden gönderilebilmektedir.



Şekil 7. Sıcak su kaynaklı tek etkili ASM fonksiyon şematığı (Anonymous 3, 2016).

Absorpsiyonlu soğutma makineleri çalışma mekanizması ve etkinlikleri dış ısı kaynağı ve beslenme biçimine ve ayrıca sistem içi (ikili eriyik elemanları arasında vb) ısı ve kütle transferleri oran ve etkinlikleri gibi faktörlere bağlıdır (Bataineh ve Alrifai 2015).

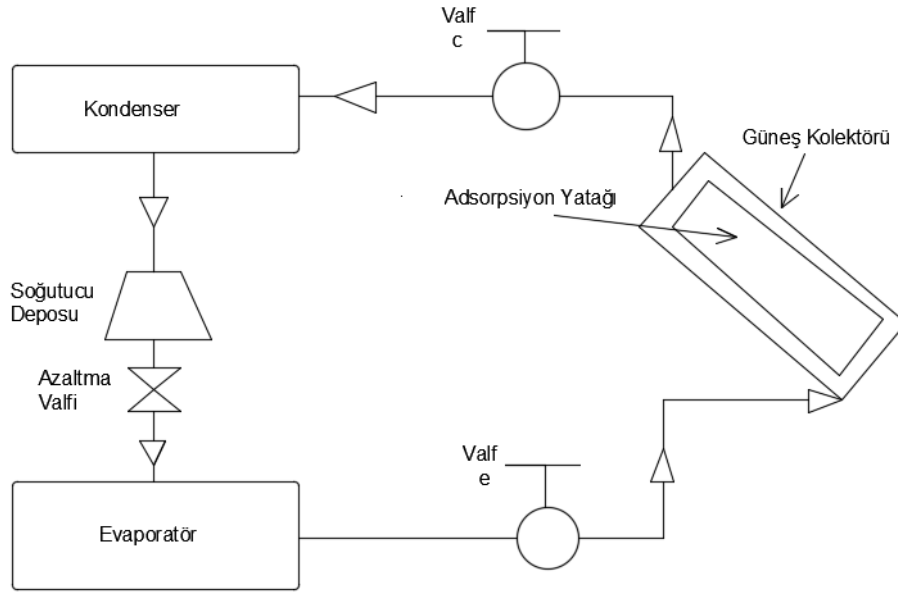
Sistem içindeki ısı ve kütle transferinin iyileştirilmesine yönelik olarak gözenekli hidrofobik membran kullanımı çalışmaları yapılmaktadır (Anonymous 5 2017).

2.3. Adsorpsiyonlu Soğutma Sistemleri

Adsorpsiyonlu soğutma yöntemleri temelinde fizyosorpsiyon ve kimyasal sorpsiyon olarak sınıflanabilmektedir. Fizyosorpsiyona dayalı su soğutma grupları kompakt üniteler olarak geliştirilmişlerdir ve ticari kabul görmektedirler (Hassan ve Mohamad 2012). Adsorpsiyonlu soğutma sistemleri (AdSS) soğutucu akışkanın katı madde yüzeylerinde adsorbe edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu sistemlerde adsorpsiyon çifti söz konusu olmaktadır. Aktif karbon-metanol, aktif karbon-etanol, aktif karbon-amonyak, zeolit-su ve silikajel-su gibi uygulamada birçok farklı adsorpsiyon çiftleri olabilmektedir, ancak sık karşılaşılan ticari başarılı olanları Silikajel-su ve Zeolit-

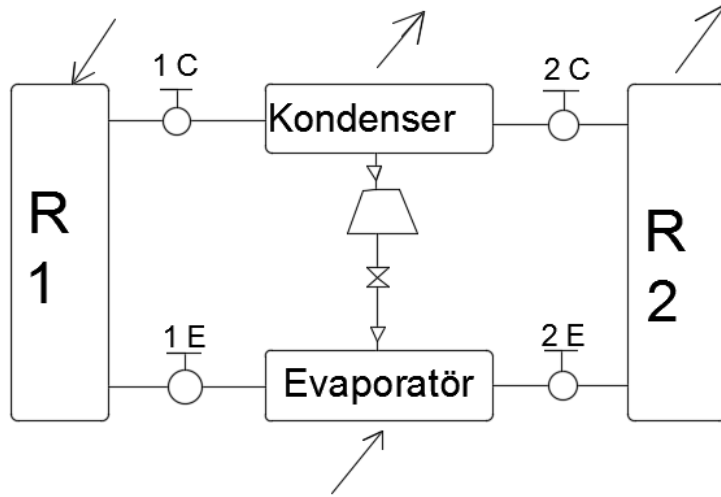
su çiftleridir (Anyanwu ve Ogueke 2005). Sistem etkinlikleri ısı kaynak sıcaklıkları (55-300 °C) ve adsorpsiyon çiftlerinin nevine bağlıdır (Bataineh ve Alrifai 2015).

Adsorpsiyonlu soğutma sistemini kesikli veya sürekli soğutma üretecek biçimde tasarlanabilmektedir (Bataineh ve Alrifai 2015). Kesikli çalışma tek yataklı ve sürekli çalışma ise çift veya daha çok yataklı sistemler olarak gerçekleştirilebilmektedir. Tek yataklı böyle bir sistem Şekil 8 de görüldüğü gibi dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla güneş kolektörü veya başka ısı kaynak ile irtibatlı adsorpsiyon reaktörü (yatağı), kondenser, evaporatör ve kısma vanasıdır. Soğutucu akışkanın sıvı fazda kısma vanasına girmesini temin etmeye yönelik olarak bir ara depo genellikle sistemde bulunmaktadır. Ancak tek yataklı olmasında dolayı kesikli çalışan bir yapıya sahiptir ve çevriminin ancak yarısında soğutma etkisi elde edebilmek mümkündür. Çevrimin tamamında ve kesiksiz olarak soğutma etkisi elde edebilmek için iki veya daha fazla yataklı yapı oluşturulmaktadır (Hassan ve Mohamad 2012).



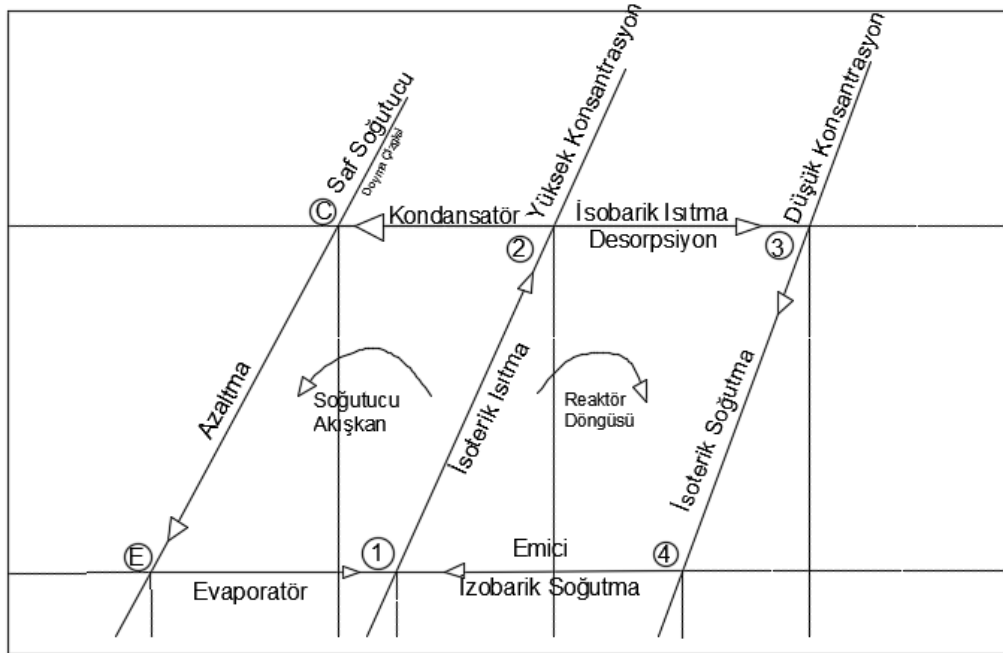
Şekil 8. Tek yataklı adsorpsiyonlu soğutma sistemi şematığı (Hassan ve Mohamad 2012).

Sürekli çalışmaya yönelik olarak Şekil 9 da görüldüğü gibi çift yataklı AdSS geliştirilmiştir (Hassan ve Mohamad 2012).



Şekil 9. Çift yataklı adsorpsiyonlu soğutma sistemi şematığı (Hassan ve Mohamad 2012).

Fizyoadsorpsiyona dayalı soğutma sistemi termodinamik çevrimi Şekil 10 daki Clapeyron diyagramıyla şematik olarak gösterilebilmektedir (Hassan ve Mohammad 2012).



Şekil 10. Tek yataklı fizyo adsorpsiyon çevrimli Clapeyron diyagramı.

Uygulamada karşımıza çoğunlukla iki yataklı yapı çıkmaktadır. İki yataklı adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde sıcak ve soğuk bölmelerdeki soğutucu akışkan suyun yoğunlaşma ve buharlaşması iki yatak arasında ısı ve basınç değişimlerine yol açmaktadır.

3. Tartışmalar ve Sonuç

Günümüzde önde gelen araştırma konuları arasında, enerjiyi daha etkin kullanmak ve dolayısıyla oluşturulan sistemlerin toplam verimlerini artırmak öne çıkmaktadır. Konfor ve proses soğutma ihtiyaçlarına yönelik enerji sarfiyatı toplam enerji tüketiminde önemli yekün tutmaktadır. Soğutma enerjisi geleneksel olarak ve çoğunlukla mekanik kompresörlü buhar sıkıştırımlı soğutma makineleri ile elde edilmektedir. Bu tarz makineler ise nitelikli enerji olarak tanımlanan elektrik enerjisine yoğun gereksinim duymaktadır. Elektrik enerjisi ise elde edilme yöntemlerine bağlı olarak muhtelif enerji dönüştürme verimlerine sahiptir. Diğer yandan kullanılmayan büyük oranlarda atık ısı mevcuttur. Ayrıca güneş enerjisiyle sıcak su veya buhar elde etmek günümüzde karmaşık olmayan yöntem ve ekipmanlarla rahatlıkla mümkündür. Gelişen teknolojiye bağlı olarak absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde 70 °C ve üzeri, adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ise 55 °C ve üzeri sıcaklıklara sahip ısı kaynaklarıyla soğutma enerjisi temin edebilmek mümkündür. Bu sistemlerin elektrik enerjisi gereksinimleri ise buhar sıkıştırımlı mekanik kompresörlü sistemlere nazaran çok daha düşüktür. Bu vesilelerle ısı enerji kaynaklı soğutma sistemlerinin kullanımlarının yaygınlaşması önem arz eden konular arasında öne çıkmaktadır. Buhar sıkıştırımlı soğutma makinelerinin performans katsayıları ısı enerji kaynaklı soğutma makinelerine göre daha yüksektir. Ancak bu sistemlerin atık ısı veya ısı kaynağın bulunduğu durumlarda hem ayrı sistemler olarak, hem de bileşik üçlü sistemlerin bir parçası olarak kullanılabilmesi rahatlıkla mümkündür. Bu manada hem atık ısının değerlendirilmesi ile çevre etkilerini kısmen bertaraf edilebilecek, hem de sistem toplam verimlerinin artırılması yönünde ek önlemler alınabilecektir. Absorpsiyonlu soğutma makinelerinin performans katsayıları etki sayıları ve kaynak sıcaklıklarıyla değişmektedir ve 0,7 ile 1,4 arasında olabilmektedir. COP değerleri kısmen daha yüksek gibi görünmesine rağmen uygulamada absorpsiyonlu sistemlerde kristalleşme gibi problemler ortaya çıkabilmektedir ve sistem tasarımında ek önlemler alınması gerekebilmektedir. Absorpsiyonlu sistemler 40 kW ve daha büyük soğutma kapasite değerleri için tasarlanmaktadır ve tek bir ünite ile MW seviyelerinde çok yüksek kapasitelere ulaşabilmek mümkündür. Adsorpsiyonlu soğutma sistemleri ise daha az bakım gerektiren yapıdadır, ancak tek bir cihazla 10 kW ile 90 kW arasında soğutma kapasitelerine ulaşabilmek mümkündür. 800 C 'lik standart işletme koşullarında adsorpsiyonlu soğutma makinelerinin performans katsayıları 0,6-0,7 seviyelerinde olabilmekte fakat yaklaşık 55-60 0 C sıcaklıklarda da çalışması mümkün olmaktadır. Diğer yandan birden fazla cihazın paralel bağlanarak sistem kapasitelerinin artırılması mümkündür. Adsorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin basit mekanik yapısı ve beklenen sağlamlığı ve sıcaklık sınırının olmayışı avantaj olarak gözükmektedir. Yine iç yapıda pompanın olmayışı ve düşük elektrik tüketimi diğer avantajları olarak sayılabilir. Nispeten büyük hacim ve ağırlıkta olması ve henüz yaygınlaşmamış olması nedeniyle halen pahalı olması

dezavantajları olarak gösterilebilir. Gelecekte adsorbe bölmelerindeki ısı eşanjörlerinde olabilecek gelişmelerin adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinin hacim ve ağırlığını azaltarak; bu dezavantajını ortadan kalkacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Abed, A. M., Alghoul, M. A., Sopian, K., Majdi, H. S., Al-Shamani, A. N., & Muftah, A. F. (2017). Enhancement aspects of single stage absorption cooling cycle: a detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.231>
- Anonymous 1, (1997). Protocol K. United Nations framework convention on climate change. Kyoto: Kyoto Protocol.
- Anonymous 2, (2017). <http://www.cibse.org/getmedia/5c9a9e1551034b708aa11b7456fdf9a5/Datasheet-7Absorption-Cooling.pdf.aspx>
- Anonymous 3, (2016). <http://goldman.com.au/energy/company-news/how-does-an-absorption-chiller-work/08.02.2016>.
- Anonymous 4, (2012). Absorption cooling, CIPSE datasheet, <http://www.cibse.org/getmedia/5c9a9e15-5103-4b70-8aa1-1b7456fdf9a5/Datasheet-7-Absorption-Cooling.pdf.aspx>
- Anonymous 5, (2017). University of Florida, http://technologylicensing.research.ufl.edu/technologies/13948_smaller-more-efficient-refrigerationequipment-that-uses-available-heat-to-power-cooling
- Anyanwu, E. E., Ogueke, N. V., (2005). Thermodynamic design procedure for solid adsorption solar refrigerator. *Renewable Energy*, 30(1), 81–96.
- Bataineh, K., Taamneh, Y., (2016). Review and recent improvements of solar sorption cooling systems. *Energy and Buildings*, 128, 22-37.
- Bataineh, K. M., Alrifai, S., (2015). Recent trends in solar thermal sorption cooling system technology. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(5), 1687814015586120.
- Gomri, R., (2010). Investigation of the potential of application of single effect and multiple effect absorption cooling systems. *Energy Conversion and Management*, 51(8), 1629-1636.
- Hassan, H. Z., Mohamad, A. A., (2012). A review on solar-powered closed physisorption cooling systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2516-2538.
- Liao X., (2004). *The development of an air-cooled absorption chiller concept and its integration in CHP systems*. Doctoral dissertation, Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park.
- Martinez, D. E., Bruno, J. C., Bagajewicz, M. J., Coronas, A., (2010). Performance Analysis of Absorption Chillers Using Data Reconciliation. In *ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis* (pp. 41-50). American Society of Mechanical Engineers.
- Ullah, K. R., Saidur, R., Ping, H. W., Akikur, R. K., Shuvo, N. H., (2013). A review of solar thermal refrigeration and cooling methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 499-513.