

ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ; VERİMLERİNİ ARTIRMAK İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇEVİRİMLER

Özay AKDEMİR
Ali GÜNGÖR

ÖZET

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılarak, hem çevre koruması hemde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Sistemin yapısı diğer soğutma sistemlerine göre daha karmaşık ve soğutma etki katsayısı daha küçüktür; fakat atık enerjilerin ve yenilenebilir enerjilerin değerlendirilmesinde en uygun sistemlerdir. Sıkıştırma işlemi diğer sistemlerde kompresörle yapılmasına rağmen, absorpsiyonlu sistemlerde bu işlem absorber ve generatörden oluşan bir sistemle gerçekleştirilir.

Bu çalışmada absorpsiyonlu sistemlerinin genel kavramları, kullanılan akışkan çiftleri, mekanik soğutma sistemleriyle kıyaslamaları yapılacaktır. Absorpsiyonlu sistemlerde soğutma etki katsayılarını geliştirme uygulamaları: Yoğuşurma ısısı geri kazanımı, absorpsiyonlu (soğurma) ısısı geri kazanımı, yoğuşma-absorpsiyon ısısı geri kazanımı olarak ele alınacaktır. Ayrıca absorpsiyonlu sistemlerde kullanılan çok etkili ve çok kademeli çevrim uygulamaları incelenecektir. Sistem verimini artırmak için yapılabilecek iyileştirmeler ve tasarım, imalat aşamasında önemli olan parametreler incelenecektir.

1. GİRİŞ

Güneş enerjisiyle soğutma özellikle de iklimlendirme, güneş enerjisinin en yüksek olduğu mevsimlerde gereksinim duyulan proseslerdendir. Güneş enerjisi ülkemizde de gerek potansiyel gerekse uygulama olarak daha çok sıcak su ısıtmada değerlendirilmektedir. Bu sistemlerin ısıtmanın yanında soğutmada yapabilecek şekilde geliştirilmeleri çevre ve enerji tasarrufunda önemli rol oynamaktadır.

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde akışkan çifti olarak absorbent ve soğutucu akışkan kullanılmaktadır. Soğutma sistemlerinde en uygun ve en çok kullanılan akışkan çifti $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ve $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ 'dir [1][2]. Sistemin yapısı diğer soğutma sistemlerine göre daha karmaşık ve soğutma etki katsayısı daha küçüktür; fakat atık enerjilerin değerlendirilmesinde en uygun olanıdır.

Son yıllarda yapılan her ne kadar güneş enerjili soğutma sistemleri üzerine önemli makaleler olsa da içeriği ve kontürksiyonundaki karmaşıklıklar sebebiyle güneş enerjisi ile soğutma, kullanım ve ticari yararlanma açısından diğer uygulamalar kadar yaygın değildir. Yapılacak çalışmalarla sistemi daha uygulanabilir hale getirilebilecektir.

Absorpsiyonlu soğutma sistemi Fransız Ferdinand Carre tarafından ilk kez icat edilmiş ve 1860 yılında Amerika'da kendisi tarafından patenti alınmıştır [3]. İngiltere'de Pontifex ve Wood firmaları tarafından 1887 yılında absorpsiyonlu soğutma makinası imal edilerek bu sahadaki gelişmeler hız kazanmıştır.

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 teknolojsi

konusunda çalışmalar ve uygulamalar başarıyla sürdürülmüştür. Bu tarihlerde imal edilmiş olan en büyük absorpsiyonlu soğutma tesisi 4190 kW'lık soğutma kapasitesine sahiptir. 1950'li yıllardan sonra elektriğin ucuza gelmesi ve değişik boyut ve kapasitedeki kompresörlerin kullanıma geçmesiyle buhar sıkıştırılmalı mekanik sistemler öncelik kazanmıştır

19 yy'da birçok kimya ve proses sanayide kullanılan buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin yerini NH₃-H₂O çiftli absorpsiyonlu soğutma sistemi aldı. H₂O-LiBr sistemleri 1940 ve 1950 yıllarda su soğutmalı olarak büyük binaların iklimlendirilmesinde ticari olarak kullanılmaya başladı. Sistemin çalışabilmesi için generatöre verilmesi gereken ısı enerjisi, doğal gaz veya fuel-oil yakıtlarını kullanan kazanlardan elde edilen buhar veya sıcak sudan sağlanmaktaydı. 1970 yıllarda gerekli ısı enerjisinin sağlanmasında değişik yöntemler arandı ve güneş enerjisi kısa bir sürede kendini gösterdi.

Yakıt maliyetlerinin artması ve kimya sanayisinde olduğu gibi birçok proseste düşük sıcaklıktaki (90-100°C) ısı enerjileri atmosfere atılmaktaydı. Bu nedenle düşük sıcaklıkla soğutma yükü sağlayabilen absorpsiyonlu sistemlerin kurulması atılan ısıdan ihtiyacın karşılanması gibi çok büyük bir avantaj sağlamaktadır.

2. ABSORPSİYONLU SOĞUTMA ÇEVİRİMİNİN İLKELERİ

Absorpsiyonlu soğutma çevrimleri iki akışkan çiftiyle çalışan sistemlerdir. Generatörde buharlaşarak soğutma işlemini yapan soğutucu akışkan ve absorberde soğurma işlemini yapan absorbentten oluşmaktadır. Tablo 1'de üzerinde çalışmalar yapılan akışkan çiftleri verilmektedir [1][2][3][4].

Tablo 1. Üzerinde çalışma yapılan akışkan çiftleri

SOĞUTUCU AKIŞKAN	ABSORBENT
Amonyak	Kalsiyumklorür (CaCl ₂)
Amonyak	Stronsiyumklorür (SrCl ₂)
Amonyak	Heptanol
Amonyak	Trietanol amin
Amonyak	Gliserol
Amonyak	Silikon yağ
Amonyak	Lidyum nitrat (LiNO ₃)
Amonyak	Lidyum bromid (LiBr ₂)
Amonyak	Çinko bromid (ZnBr)
Amonyak	Sodyumtiosiyanat (NaSCN)
Amonyak	Lidyumtiosiyanat (LiSCN)
Amonyak	N Metil 2 pirrolidon (NMP)
Amonyak	Metil ε kaprolactan (MCL)
Amonyak	Dimetil metil fosfonat (DMMP)
Amonyak	Tetraetilen glikol dimetil eter (DMETEG)
Amonyak	Dimetil formamid (DMF)
Su	Lidyum bromür (LiBr)
Metil amin	Su
Metil klorid	Tetraetil glikol
R 12	Dimetilsitamid
R 12	Siklohexanon
R 21	Dimetil etil ester
R 22	Dimetil formamid
R 22	Siklohexanon
R 22	Dimetil asit amid

Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde, yüksek basınçtaki soğutucu akışkan buharı yoğunlaştırıcuda sıvı faza dönüştürüldükten sonra düşük buharlaştırıcı basıncına kısılır. Buharlaştırıcı vasıtasıyla ortamdan ısı çekilerek soğutma yükü sağlanır. H₂O-LiBr akışkan çiftli sistemlerde absorptent de herhangi bir buharlaşma olmadığından basit bir distilasyon yeterli olmaktadır; fakat NH₃-H₂O akışkan çiftli sistemlerde absorptentin buharlaşabilen bir madde olması daha kompleks bir distilasyon ünitesinin kullanılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, soğutucu akışkan buharının tam olarak ayrılabilmesi için bu sistemlerde zenginleştirme kolonu kullanılmaktadır. Zenginleştirme kolonun da generatör üstüyle direkt temaslı üst üste akışkan havuzlarından oluşmuş analizör denilen bir kısım bulunur. Zengin çözelti bu tepilerden aşağı doğru taşarak süzülürken generatörden yükselen buharı soğutur. Böylece soğutucu akışkanla (NH₃) birlikte buharlaşan absorptentin (H₂O) yoğunlaşması sağlanır. NH₃-H₂O'lu sistemlerde zenginleştirme kolonunun kullanılması zorunludur çünkü; amonyakla beraber suyun buharlaştırıcıya girmesi suyun donmasını ve sistemde istenmeyen durumların oluşmasına neden olur.

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri buhar sıkıştırma sistemlerine genel olarak benzetmekle beraber bu sistemlerde kompresörün yerini absorber, generatör, genleşme valfi ve solüsyon pompası almaktadır.

3. ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİYLE MEKANİK BUHAR SIKIŞTIRMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

1. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde hareketli parçaların az olmasından dolayı sessiz çalışabilmektedirler.
2. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarında avantajlıdır. Bunun nedeni buhar sıkıştırma sistemdeki kompresördeki sürtünmelerden dolayı güç kayıplarının ve aşırı kızdırma problemleri bu sistemlerde söz konusu değildir.
3. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri kolay ayarlanabilir, kontrol edilebilir ve uzun ömürlüdür.
4. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri % 0-100 arasında değişebilen soğutma yükü sağlayabilir.
5. Sıcaklık değişimleri, genleşme valfindeki küçük değişimlerle korunabilir.
6. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde buharlaştırıcı basınç ve sıcaklıklarında azalma olduğunda soğutma kapasitesinde çok az bir düşme olur.
7. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde hızlı bir soğutma yükü sağlanır.
8. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde buhar sıkıştırma sistemlerinde kullanılan elektrik enerjisinin % 2-9 kullanılmaktadır.
9. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin farklı elemanlarının küçük bir alana yerleştirme gerekliliğinde simetrik olarak yerleşimle etkili bir çalışma sağlanabilmektedir.
10. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen bakım gerektirmemesi ve arızalanmanın az olması sistemi avantajlı kılmaktadır.

4. ABSORPSİYON ÇEVİRİMLERİ ve TERMİNOLOJİSİ

Absorpsiyon çevrimleri terminolojilerine göre Tablo 2'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir. Bu çalışmada absorpsiyonlu sistemlerin kademe sayılarına, kullanılan akışkan çiftlerine ve etkilerine göre incelemeleri yapılmıştır. Çok etkili soğutma sistemlerinin soğutma etki katsayıları ideal çevrimlerine eşit olmaktadır. Çevrimlerin kademe sayıları sistemde bulunan absorber sayısına göre değişimi göstermektedir.

Geliştirilen absorpsiyon çevrimleri Tablo 3'de verildiği gibi temel amaçlarına göre üç temel kategoride toplamak mümkündür. Buradaki performans geliştirme kategorisi yoğunlaştırma ısı geri kazanımını, absorpsiyon ısı geri kazanımını, absorpsiyon/yoğuşma ısı geri kazanımını ve buharlaştırıcı ısı

miktarının artırılmasını içermektedir. Geliştirilmiş olan çevrimler basınç-çözelti sıcaklık diyagramlarında gösterilerek çalışma prensipleri açıklanmaya çalışılmıştır [5][14].

Tablo 2. Absorpsiyon çevrimlerinde kullanılan terminolojiler

TERMİNOLOJİ	TANIM
Etki Sayısı	Soğutma sağlayan kısım sayısı
Kademe Sayısı	Buharlaştırıcı ve absorber kısımlarındaki çözelti devrelerinin sayısı
Akışkan Çiftinin Sayısı	Birbiriyle karışmayan faklı akışkan çiftlerinin sayısı
Temel Çevrim	Tek kademeli çevrim
Isı Aktarma Ünitesi	Isı değiştirici kısmı
Zengin Çözelti	Soğutucu akışkanca zengin
Fakir Çözelti	Soğutucu akışkanca fakir
Sıcaklık Artışı	Isı çekilen ve atılan ortamlar arasındaki sıcaklık farkı
Resorpsiyon	Düşük sıcaklıklı generatörle sağlanan soğutma yükünün yüksek sıcaklıklı absorber tarafından kullanıldığı ikili çevrimler
İkili Çevrim	Isı alışverişinde bulunan ikili çevrim
Hibrid	Absorpsiyon ve sıkıştırma proseslerini içeren çevrim

Tablo 3. Geliştirilen absorpsiyon çevrimlerin temel amaçlarına göre sınıflandırılması

TEMEL AMAÇ	ISI KAZANIMI	TEK AKIŞKAN ÇİFTİ			İKİ AKIŞKAN ÇİFTİ	ÜÇ AKIŞKAN ÇİFTİ	
		Tek Kademeli	Çift Kademeli	Üç Kademeli			
Performans Geliştirme	Absorpsiyon ısı geri kazanımı	GAX	İki etkili GAX	Üç etkili			
		RA	Geliştirilmiş RA				
	Yoğuşma ısı geri kazanımı	Çift etkili	Üç etkili		İki etkili		
		Üç etkili					
		Dört etkili					
		Altı etkili					
	Absorpsiyon yoğuşma ısı geri kazanımı				Resorpsiyon	Üç etkili	Üç etkili
						İki etkili	Yedi etkili
						Üç etkili	
						Dört etkili	
					Beş etkili		
Buharlaştırma ısı geri kazanımı	İlave soğutma çevrimi						

5. TEK ETKİLİ SOĞUK SU ÜRETİCİLER (Chillers)

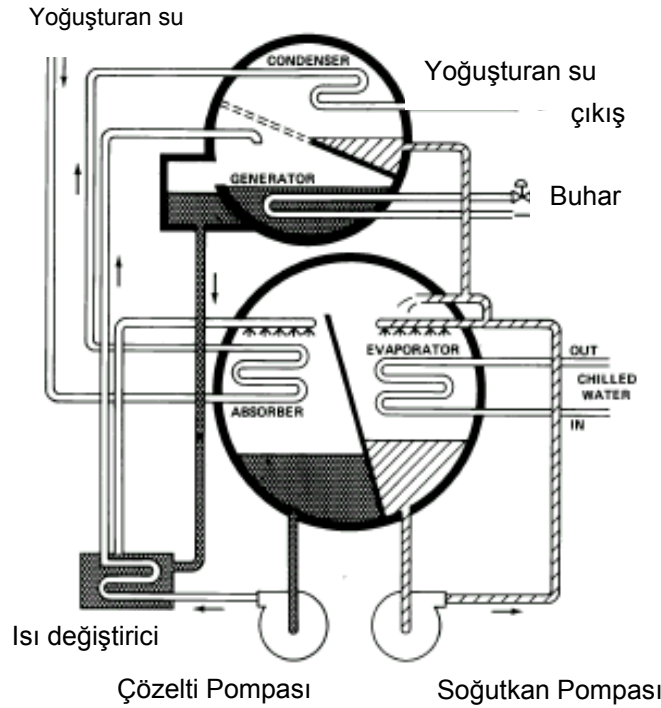
Şekil 1.'de ticari olarak bulunabilecek, tek etkili indirekt yakma sistemli sıvı soğutucu gösterilmektedir. Tablo 4.'te ise bu tür bir soğutucunun tipik özellikleri verilmektedir[15].

Büyük kapasiteli tek-etkili makinaların ARI (Air Conditioning and Refrigeration Institute) deneme koşullarında soğutma etkinliği katsayısı (COP) 0.7 – 0.8 değerlerindedir.

Bu performansı artırmak için geliştirilen ve üzerinde çalışılan bazı çevrimler sonraki bölümlerde ele alınmıştır.

Tablo 4. Tipik tek etkili indirekt-yakma sistemli su-lityum bromid absorpsiyonlu soğutucunun (chiller) özellikleri[15].

Verimlilik Özellikleri	
Buhar giriş basıncı	60-80 kPa (Manometrik)
Buhar gereksinimi (Her kW soğutma için)	1.48-1.51 kW
Sıcak akışkan giriş sıcaklığı	115-132 °C aralığında. Atık ısı uygulamaları için 88°C gibi mümkün olduğunca küçük (Örneğin güneş enerjisi uygulamaları için).
Gerekli ısı kapasitesi (Her kW soğutma için)	1.51 – 1.54 kW
Soğutma suyu giriş sıcaklığı	30 °C
Soğutma suyu debisi (Her kW soğutma için)	65 mL/s - 115 mL/s
Soğutulmuş su sıcaklığı	6.7 °C
Soğutulmuş su debisi (Her kW soğutma için)	43 mL/s (bazı küçük makinalar için 47 mL/s)
Elektriksel güç gereksinimi (Her kW soğutma için)	3 ile 11 W, Bazı küçük makinalarda minimum 1 W
Fiziksel Özellikler	
Nominal kapasiteler	180 – 5800 kW, bazı küçük makinalarda 18 –35 kW kapasitelerde
Uzunluk	3.3 – 10 m, bazı küçük makinalarda 0.9 m kadar düşük boyutlarda.
Genişlik	1.5 – 3.0 m, bazı küçük makinalarda 0.9 m kadar minimum değerlerde
Yükseklik	2.1 – 4.3 m, bazı küçük makinalarda 1.8 m kadar.
Çalışır durumda kütlesi	5 – 50 ton, bazı küçük makinalarda 320 kg kadar.

**Şekil 1.** İki-gövdeli Su-Lityum bromid çevrim akışkanlı absorpsiyonlu su soğutucu.

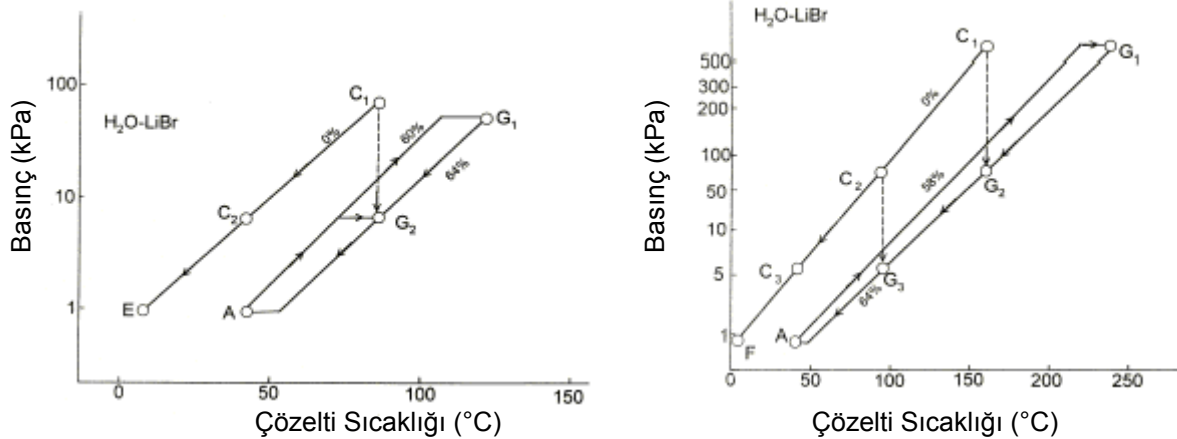
6. PERFORMANSI ARTIRMAK İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇEVİMLER [5]

6.1. Yoğuşma Isısı Geri Kazanım Çevrimleri

6.1.1. İki ve Üç Etkili Çevrimler

Şekil 2(a)'da iki etkili H₂O-LiBr çevrimi gösterilmektedir. Generatördeki (G1) soğutucu akışkan buharı yoğuşturucuda (C1) yoğuşmakta ve buharlaştırıcıya (E) gelmektedir. Yoğuşturucuda (C1) atılan yoğuşma ısı generatör (G2) ısı için kullanılmaktadır. Generatördeki (G2) soğutucu akışkan buharı yoğuşturucuda (C2) yoğuşmakta ve C1'deki soğutucuyla birleşerek buharlaştırıcıya (E) girmektedir. Generatörlerdeki (G1 ve G2) fakir çözelti absorberde (A) karışarak buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkanı absorblamaktadır. Paralel tip iki etkili çevrimlerde absorberdeki (A) fakir çözelti generatörlere (G1 ve G2) seri olarak girmektedir. Sistemde sadece bir generatöre (G1) dışarıdan ısı verilmesine rağmen diğer iki generatörde de soğutucu akışkan absorbenkten ayrılmaktadır. Bu çevrimlerde buharlaştırıcı (E) kısmında iki kat daha fazla soğutucu akışkan buharlaştığından, ideal soğutma etki katsayıları 2'den büyük olmaktadır. İki etkili çevrimler absorpsiyonlu çevrimlerin geliştirilmesinde temel oluşturmakta ve ticari olarak da kullanılmaktadır.

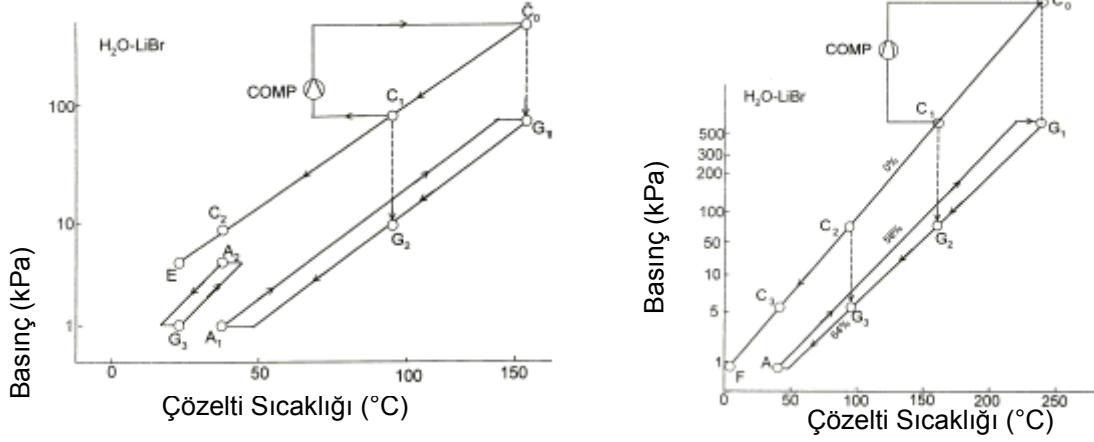
Şekil 2(b)'de üç etkili H₂O-LiBr çevrimi gösterilmektedir. Burada absorberdeki fakir çözelti generatörlere (G1, G2 ve G3) seri olarak dağıtılmaktadır. Bu çevrimde sadece bir generatöre (G1) ısı verilmesine rağmen üç generatörde soğutucu akışkan absorbenkten ayrılmaktadır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 3'den büyük olmalarına rağmen halen ticari olarak üretilmemektedir [6].



Şekil 2.(a) İki etkili çevrimin P-T diyagramı
(b) Üç etkili çevrimin P-T diyagramı

6.1.2. Üç ve Dört Etkili Hibrid Çevrimler

Şekil 3(a)'da soğutma etki katsayısının artırılmasının yanında sıcaklık artışı da sağlayan üç etkili resorpsiyonlu hibrid bir çevrim gösterilmektedir. Bu sistem iki etkili çevrimi, resorpsiyon çevrimi ve yüksek basınç kısmındaki kompresörü içermektedir. Generatördeki (G1) soğutucu akışkan buharı yoğuşturucuda (C1) yoğuşmakta ve yoğuşmayan soğutucu akışkan buharı kompresör tarafından sıkıştırıldıktan sonra yoğuşmaktadır (C0). Yoğuşturucularından (C0 ve C1) atılan ısı sırasıyla generatörlerde (G1 ve G2) kullanılmaktadır. G2 generatöründeki soğutucu akışkan buharı C2 yoğuşturucusunda yoğuşarak C1'deki soğutucu akışkanla karışarak buharlaştırıcıya (E) girer. Buharlaştırıcıdan çıkan akışkan buharı absorber (A2) tarafından soğularak düşük sıcaklık generatörüne (G3) girer. Absorberden atılan ısı (A2) generatör (G3) için kullanılır ve karışım solüsyon pompası tarafından generatörlere (G1 ve G2) pompalanır. Bu iki çevrimde soğutma etkisi buharlaştırıcıyla (E) ve generatörle (G3) sağlanır. Generatör (G1) ısısının bir kısmının yoğuşturucudan (C0) sağlanması durumunda ideal soğutma etki katsayısı 3'den büyük olmaktadır.



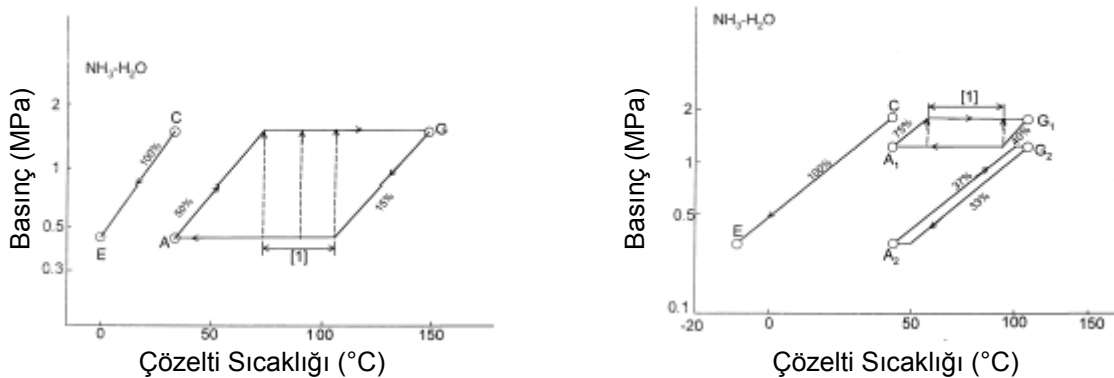
Şekil 3.(a) Üç etkili resorpsiyonlu hibrid bir çevrimin P-T diyagramı
(b) Dört etkili hibrid bir çevrimin P-T diyagramı

Şekil 3(b)'de Şekil 2(b)'de gösterilen üç etkili sisteme kompresör eklenerek oluşturulan dört etkili hibrid bir çevrim gösterilmektedir. Bu çevrimde generatöre (G1) gereken ısının yoğunlaştırıcıdan (C0) sağlanmasıyla ideal soğutma etki katsayısı 3'den büyük olmaktadır. Çevrimlerin etki ve kademe sayıları artırılarak sistem performansı artırılmaktadır; fakat çok etkili sistemlerde akışkan çiftlerinin kritik sıcaklıkları sınırlayıcı rol oynamaktadır.

6.2. Absorpsiyon Isısı Geri Kazanım Çevrimleri

6.2.1. Generatör Absorber Isı Değişim Çevrimleri (GAX)

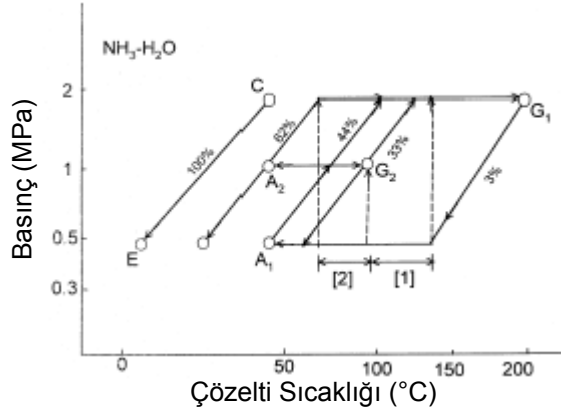
Bu çevrimler tek kademeli sistemlere uygulanabilmektedir. Generatör ve absorberde çakışan sıcaklık miktarlarına göre soğutma etki katsayıları artmaktadır. Şekil 3(a)'da generatör absorber ısı değişim çevrimi gösterilmektedir. Çevrimde absorberden generatöre transfer edilen ısı miktarına göre soğutma etki katsayısı 1'den büyük olmaktadır. $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ akışkan çifti kullanılan GAX çevrimlerinde transfer edilebilecek ısı miktarları fazladır. Bu çevrimlerin iki kademeli olarak tasarlanmasıyla performansları artırılabilir. Şekil 4(b)'de yüksek basınç devresi (G1 ve A1) ve düşük basınç devresinden (G2 ve A2) oluşan generatör absorber ısı değişim çevrimi gösterilmektedir [7][8].



Şekil 4.(a) Generatör absorber ısı değişim çevriminin P-T diyagramı
(b) İki kademeli generatör absorber ısı değişim çevriminin P-T diyagramı

6.2.2. Rejeneratif Absorpsiyonlu Çevrimler (RA)

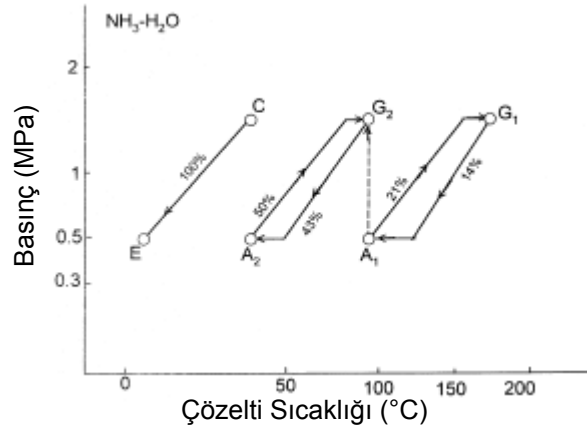
Şekil 5'de gösterildiği gibi rejeneratif absorpsiyonlu çevrimlerde GAI çevrimlerinden daha fazla sıcaklık aralıkları çakışmaktadır. Düşük basınçtaki absorberinden (A1) atılan ısı generatör (G1) ısı olarak kullanılmaktadır. Absorberden (A1) çıkan çözelti sıkıştırılarak bir kısmı generatörlere (G1 ve G2) diğer kısmı da orta basınç absorberine (A2) gider. Sonuç olarak generatör (G1) ve absorberde (A1) çakışan sıcaklık aralıkları artmıştır. Şekil 7'de gösterilen [1] kısmı GAX çevriminde çakışan sıcaklık aralığını ve [1][2] kısmı rejeneratif absorpsiyonlu çevrimde çakışan sıcaklık aralığını göstermektedir. Rejeneratif absorpsiyonlu çevrimlerin soğutma etki katsayıları GAX çevrimlerinin yaklaşık 1,3 katıdır.



Şekil 5. Rejeneratif absorpsiyonlu çevrimin P-T diyagramı

6.2.3. İki Etkili Orta Basınç Çevrimleri

Şekil 6'de absorpsiyon ısısının kullanıldığı iki etkili orta basınç çevrimleri gösterilmektedir. Bu çevrimlerde absorber ısı (A1) generatörde (G2) kullanılmaktadır. Dolayısıyla yüksek basınç tek etkili çevrimlerle aynı seviyede tutulabilir. İdeal soğutma etki katsayısı bu sistemlerde yaklaşık 2'dir.

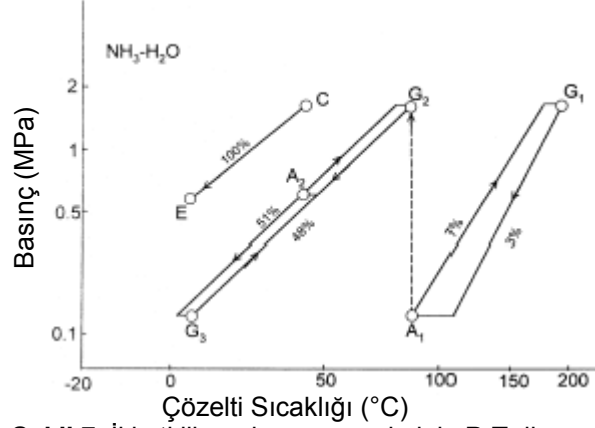


Şekil 6. İki etkili ara basınç çevrimin P-T diyagramı

6.2.4. Resorpsiyonlu Üç Etkili Düşük Basınç Çevrimleri

Şekil 7'de iki etkili orta basınç çevrimini içeren iki etkili resorpsiyonlu çevrimin diyagramı gösterilmektedir. Generatördeki (G1) soğutucu akışkan buharı yoğunlaştırıcıdan sonra diğer generatörlerden (G2 ve G3) gelen çözeltilerle absorberde (A2) karışır. Absorberden (A2) ayrılan çözelti ikiye ayrılarak generatörlere (G1 ve G2) gider. Isısı absorberdeki (A1) absorpsiyon ısı tarafından karşılanan generatördeki (G2) soğutucu akışkan buharı diğer generatörden (G1) gelenle

karışarak yoğuşturucuya girer. Generatördeki (G3) soğutucu akışkan buharı absorber (A1) tarafından soğrulur. Bu çevrimde soğutma yükü buharlaştırıcıdan ve generatörden (G3) sağlanır. Çevrimin soğutma etki katsayısı yaklaşık 3'dür.

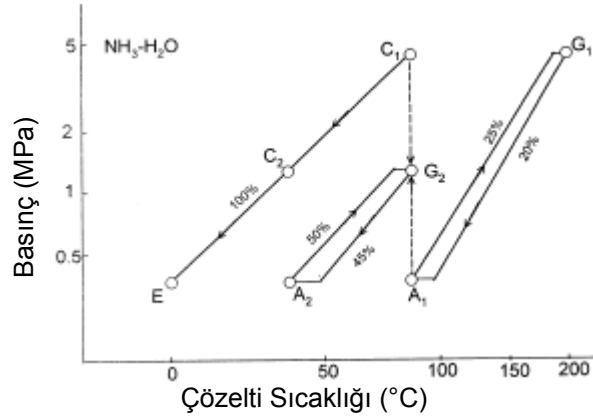


Şekil 7. İki etkili ara basınç çevriminin P-T diyagramı

6.3. Absorpsiyon-Yoğuşma Isısı Geri Kazanım Çevrimleri

6.3.1. Tek Akışkan Çiftli İki Kademeli Üç Etkili Çevrimler

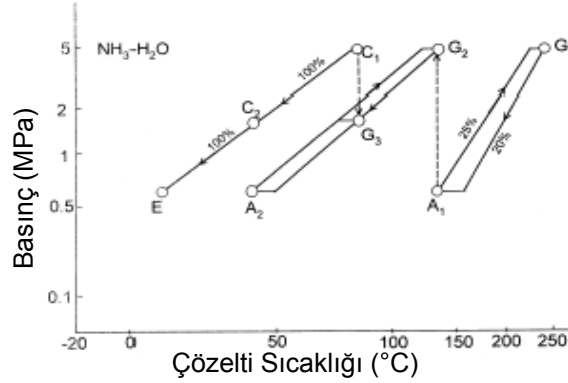
Şekil 8'de yüksek ve düşük sıcaklık kademelerinden oluşan tek akışkan çiftli iki kademeli üç etkili bir çevrim gösterilmektedir. Generatördeki (G1) soğutucu akışkan buharı yoğuşturucuda (C1) yoğuştuğundan sonra diğer yoğuşan (C2) soğutucu akışkanla karışarak buharlaştırıcıya (E) gider. Yoğuşturucu (C1) ve absorberden (A1) atılan ısı generatör (G2) ısısı olarak kullanılır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 3'e eşittir [9].



Şekil 8. Tek akışkan çiftli iki kademeli üç etkili bir çevrimin P-T diyagramı

6.3.2. İki Kademeli Dört Etkili Çevrimler

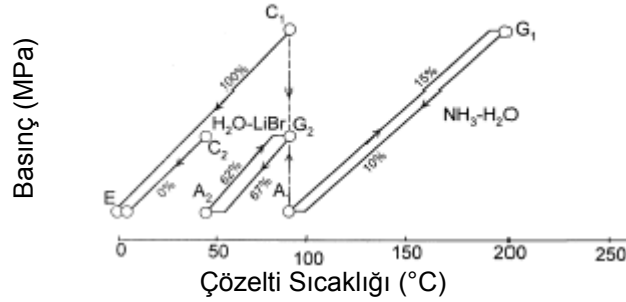
Şekil 9'da yüksek sıcaklıkta tek etkili (G1 ve A1) ve düşük sıcaklıkta iki etkili (G2, G3 ve A2) çevrimlerden oluşan iki kademeli dört etkili bir çevrimin diyagramı gösterilmektedir. Absorberden (A1) ve yoğuşturucudan (C1) atılan ısılar generatörlerdeki (G2 ve G3) soğutucu akışkanın buharlaştırılması için kullanılmaktadır. Bu çevrimlerde dışarıdan G1 generatörüne bir birim ısı verilmesine karşın buharlaştırıcıda dört birim soğutucu akışkan buharlaşmaktadır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 4'e eşittir [9].



Şekil 9. İki kademeli dört etkili bir çevrimin P-T diyagramı

6.3.3. İki Akışkan Çiftli İki Kademeli Üç Etkili Çevrimler

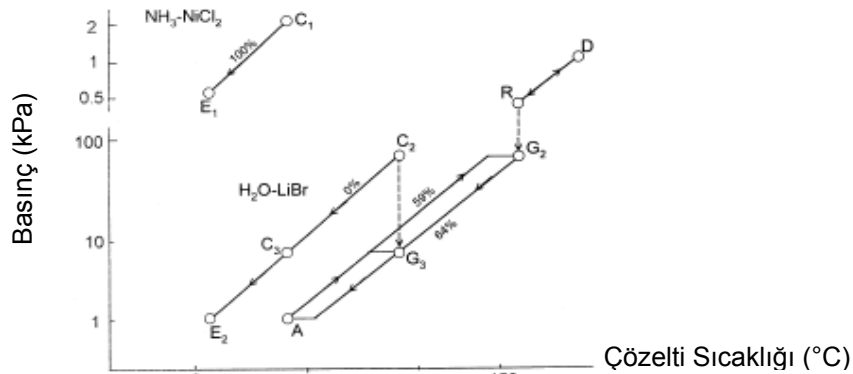
Şekil 10'da yüksek sıcaklıkta $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ akışkan çifti kullanılan tek etkili (G_1 , C_1 , E ve A_1) ve düşük sıcaklıkta $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ akışkan çifti kullanılan tek etkili (G_2 , C_2 , E ve A_2) çevrimden oluşan iki akışkan çiftli iki kademeli üç etkili çevrim gösterilmektedir. Generatördeki (G_2) soğutucu akışkanın buharlaşması için gereken ısı absorber ve yoğuşturucudan (A_1 ve C_1) sağlanmaktadır. Bu çevrimlerde üç birim soğutucu akışkan buharlaştırıcıda buharlaşmaktadır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 3'e eşittir [10][11].



Şekil 10. İki akışkan çiftli iki kademeli üç etkili çevrimin P-T diyagramı

6.3.4. Adsorpsiyonlu Üç Etkili Çevrimler

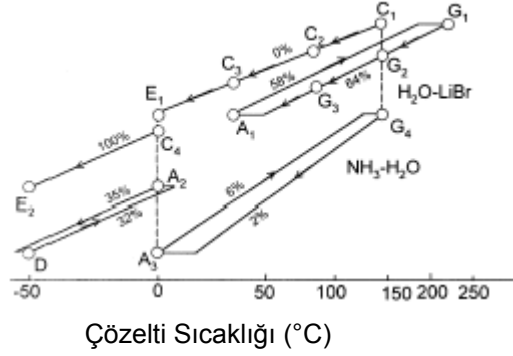
Şekil 11'da yüksek sıcaklıkta $\text{NH}_3\text{-NiCl}_2$ adsorpsiyon (D , C_1 , E_1 ve R) ve düşük sıcaklıkta iki etkili $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ çevriminden (G_2 , C_2 , G_3 , C_3 , E_2 ve A) oluşan adsorpsiyonlu üç etkili çevrim gösterilmektedir. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları yaklaşık 3'dür [12].



Şekil 11. Adsorpsiyonlu üç etkili çevrimin P-T diyagramı

6.3.5. Resorpsiyonlu Üç Kademeli Çevrimler

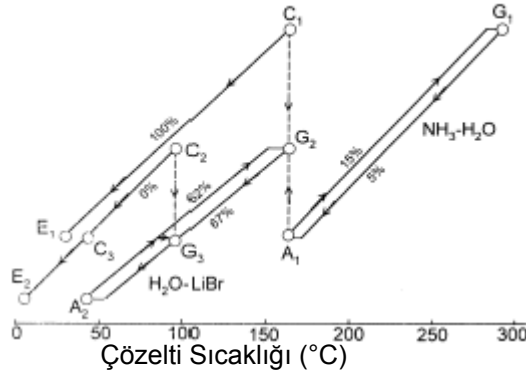
Şekil 12'de üç etkili $H_2O-LiBr$ (G1, G2, G3, C1, C2, C3, E1 ve A1) ve tek etkili resorpsiyonlu NH_3-H_2O (G4, C4, E2, A2, A3 ve D) çevrimlerinden oluşan resorpsiyonlu üç kademeli çevrim gösterilmektedir. NH_3-H_2O çevrimindeki yoğuşma ve absorpsiyon ısı $H_2O-LiBr$ çevriminin buharlaşma ısını karşılamaktadır. Üç etkili çevrimdeki generatörlerin (G2 ve G3) ısıları yoğuşturuculardan (C1 ve C2) sağlanmaktadır. Absorber ve yoğuşturucudan (C4, A2, A3) atılacak ısı miktarı yoğuşturucu (E1) tarafından sağlanmaktadır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 1,2 civarındadır.



Şekil 12. Resorpsiyonlu üç kademeli çevrimin P-T diyagramı

6.3.6. Dört Etkili Çevrimler

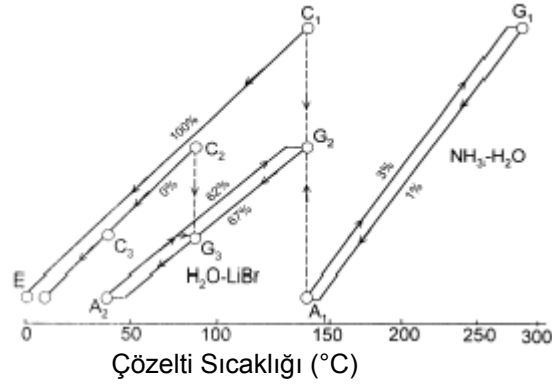
Şekil 13'de yüksek sıcaklıkta NH_3-H_2O akışkan çifti kullanılan tek etkili (G1, C1, E1 ve A1) ve düşük sıcaklıkta $H_2O-LiBr$ akışkan çifti kullanılan iki etkili (G2, G3, C2, C3, E2 ve A2) çevrimden oluşan dört etkili çevrim gösterilmektedir. Generatör (G2 ve G3) ısıları sırasıyla yoğuşturucular (C1 ve C2) tarafından sağlanmaktadır. Çevrimdeki E1 buharlaştırıcısı C3 yoğuşturucusunu ve A2 absorberini soğutmak için kullanılmaktadır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 4'e eşittir [9].



Şekil 13. Dört etkili çevrimin P-T diyagramı

6.3.7. Beş Etkili Çevrimler

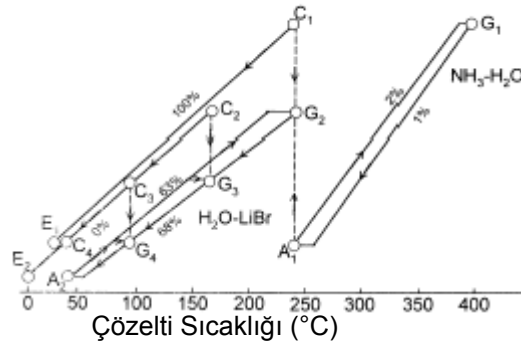
Şekil 14'de yüksek sıcaklıkta NH_3-H_2O akışkan çifti kullanılan tek etkili (G1, C1, E ve A1) ve düşük sıcaklıkta $H_2O-LiBr$ akışkan çifti kullanılan iki etkili (G2, G3, C2, C3, E ve A2) çevrimden oluşan beş etkili çevrim gösterilmektedir. Bu çevrimde soğutma yükü hem NH_3-H_2O hem de $H_2O-LiBr$ çevrimlerinde sağlandığından dolayı ideal soğutma etki katsayıları 5 olmaktadır [9].



Şekil 14. Beş etkili çevrimin P-T diyagramı

6.3.8. Altı Etkili Çevrimler

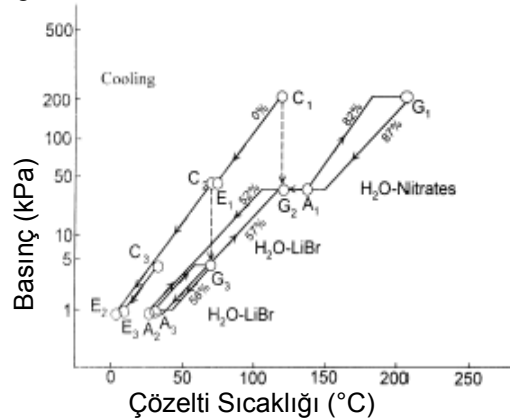
Şekil 15'de yüksek sıcaklıkta tek etkili $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ (G_1 , C_1 , E ve A_1) ve düşük sıcaklıkta üç etkili $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ (G_2 , G_3 , G_4 , C_2 , C_3 , C_4 , E_2 ve A_2) çevrimlerinden oluşan altı etkili çevrim gösterilmektedir. E_1 buharlaştırıcının sıcaklığı E_2 'den büyük olduğundan yoğunlaştırıcı ve absorber (C_4 , A_2) ısılarının çekilmesi için kullanılmaktadır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 6 olmaktadır [9].



Şekil 15. Altı etkili çevrimin P-T diyagramı

6.3.9. Üç Akışkan Çiftli Üç Kademeli Üç Etkili Çevrimler

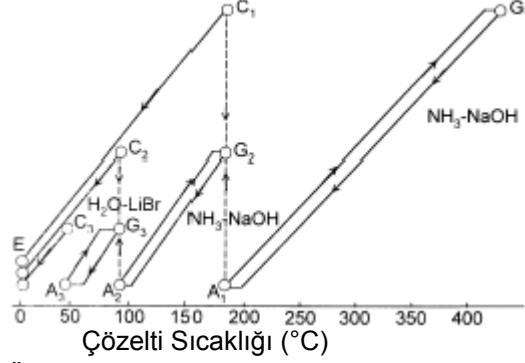
Şekil 16'da yüksek sıcaklıkta tek etkili $\text{H}_2\text{O-Nitrat}$ (G_1 , C_1 , E_1 ve A_1), orta sıcaklıkta tek etkili $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ (G_2 , C_2 , E_2 ve A_2) ve düşük sıcaklıkta tek etkili $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ (G_3 , C_3 , E_3 ve A_3) çevrimlerden oluşan üç akışkan çiftli üç kademeli üç etkili çevrim gösterilmektedir. G_2 generatörü için gereken ısı C_1 yoğunlaştırıcısından ve A_1 absorberinden, G_3 generatörü için gerekli olan ısı ise C_2 yoğunlaştırıcısından sağlanmaktadır. Bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 3'dür.



Şekil 16. Üç akışkan çiftli üç kademeli üç etkili çevrimin P-T diyagramı

6.3.10. Üç Akışkan Çiftli Yedi Etkili Çevrimler

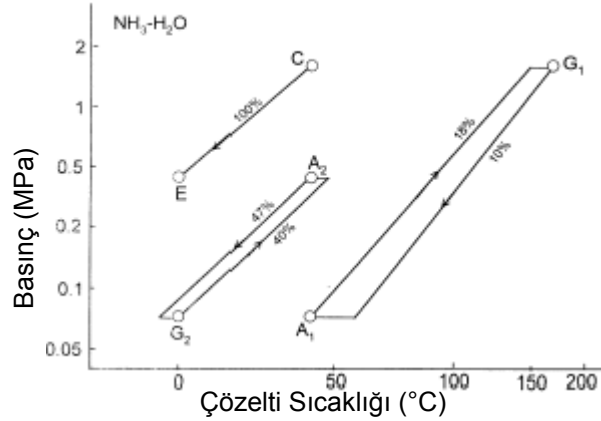
Şekil 17’de yüksek sıcaklıkta (G1, C1, E ve A1) ve orta sıcaklıkta (G2, C2, E ve A2) iki tane H₂O-NaOH ve düşük sıcaklıkta H₂O-LiBr (G3, C3, E ve A3) çevrimlerinden oluşan üç akışkan çiftli yedi etkili çevrim gösterilmektedir. Geliştirilen en fazla etki sayısına sahip olan bu çevrimlerin ideal soğutma etki katsayıları 7’dir.



Şekil 17. Üç akışkan çiftli yedi etkili çevrimin P-T diyagramı

6.4. Buharlaşma Isısı Geri Kazanım Çevrimleri

Şekil 18’de buharlaşma ısısının kullanıldığı resorpsiyonlu çevrim gösterilmektedir. Bu çevrimlerde soğutma yükü buharlaştırıcının çektiği buharlaşma ısı ve generatöre verilmesi gereken gizli ısı miktarı kadar olmaktadır. İdeal soğutma etki katsayısı bu çevrimlerde 1’den büyük olmaktadır [13].



Şekil 18. Resorpsiyonlu çevrimin P-T diyagramı

SONUÇ

Bu çalışmada absorpsiyonlu sistemlerinin genel kavramları, kullanılan akışkan çiftleri, mekanik soğutma sistemleriyle kıyaslamaları yapılmıştır. Geliştirilmiş olan absorpsiyonlu çevrimler sınıflandırılarak incelenmiştir. Absorpsiyonlu sistemlerde soğutma etki katsayılarını geliştirme uygulamaları: Yoğuşurma ısı geri kazanımı, absorpsiyonlu (soğurma) ısı geri kazanımı, yoğuşma-absorpsiyon ısı geri kazanımı olarak ele alınmıştır. Sistemlerin çalışmaları P-T diyagramlarında gösterilerek çalışma şekilleri anlatılmaya çalışılmıştır. Absorpsiyonlu makinaların bunlar ve benzeri çevrimlerle soğutma etkinliklerinin artırılması çalışmaları sürdürülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Mansoori, G.A., Patel, V., "Thermodynamic basis for the choice of working fluids for solar absorption cooling systems", *Solar Energy*, 22:483-491, 1979.
- [2] Gomez, A.L., Mansoori, G.A., "Thermodynamic equation of state approach for the choice of working fluids of absorption cooling cycles", *Solar Energy*, 31(6):557-566, 1983.
- [3] Dinçer, İ., Erdallı, Y., "Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin rolü ve etkinliği", *Termodinamik*, 5:31-37, 1993.
- [4] Durgunov, N.C., Maksudov, T.M. and Vakhidov A.T., "Choice of coolants & absorbents for absorption-type solar refrigerators", *Geliotekhnika*, 17(1):36-39, 1981.
- [5] Kang, Y.T., Kunugi, Y., Kashiwagi, T., "Review of advanced absorption cycles: performance improvement and temperature lift enhancement", *International Journal of Refrigeration*, 23(2000):388-401, 2000.
- [6] Grossman, G., Wilk, M., DeVault, R.C., "Simulation and performance analysis of triple-effect absorption cycles", *ASHRAE Transactions*, 100(1):452-458, 1994.
- [7] Kang, Y.T., Chen, W., Christensen, R.N., "Development of design model for a rectifier in GAX absorption heat pump systems", *ASHRAE Transactions*, 102(1):963-972, 1996.
- [8] Grossman, G., DeVault, R.C., Creswick, F., "Simulation and performance analysis of an ammonia-water absorption heat pump based on the generator-absorber heat exchanger GAX cycle", *ASHRAE Transactions*, 101(1):1313-1320, 1995.
- [9] Cheung, K., Hwang, Y., Judge, J.F., Kolos, K., Singh, A., Randermacher, R., "Performance assessment of multistage absorption cycles", *International Journal of Refrigeration*, 19(7):473-480, 1996.
- [10] Ziegler, F., Alefeld, G., "Coefficient of performance of multistage absorption cycles", *International Journal of Refrigeration*, 10:285-291, 1987.
- [11] DeVault, R.C., Marsala, J., "Ammonia-water triple-effect absorption cycles", *ASHRAE Transactions*, 96(1), 1990.
- [12] Satzer, P., Ziegler, F., Stitou, D., Spinner, B., Alefeld, G., "Advanced sorption chillers for gas cooling", *ASHRAE Transactions*, 102(1), 1996.
- [13] Pande, M., Herold, K.E., "The resorption cycle using ammonia and water", *ASHRAE Transactions*, 102(1), 1996.
- [14] Li, Z.F., Sumathy, K., "Technology development in the solar absorption air-conditioning systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2000):267-293, 2000.
- [15] ASHRAE Refrigeration Handbook, Bölüm (Chapter) 41. "Absorption cooling, heating, and refrigeration equipment", 1998.

ÖZGEÇMİŞLER

Özay AKDEMİR

1975 yılı Ankara doğumludur. 1997 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Yüksek lisans öğrenimini Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Termodinamik bölümünde 2001 yılında tamamlamıştır ve halen aynı üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsünde doktora yapmaktadır. 1998 yılından itibaren Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Termodinamik, enerji, ısı transferi, ısı tekniği konularında çalışmaktadır.

Ali GÜNGÖR

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör ünvanını aldı. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanı ve Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.