

# JEOTERMAL ENERJİ İLE HACİM SOĞUTMA

Hüseyin GÜNERHAN  
Özüm ÇALLI

## ÖZET

Hacim soğutmada kullanılan absorpsiyon çevrimi, soğutma etkisinin buhar sıkıştırma çevrimlerinde olduğu gibi elektrik girdisinden değil, iki akışkan ve bir miktar ısı girişi ile sağlandığı bir işlemdir. Gerek buhar sıkıştırma çevriminde gerekse absorpsiyonlu soğutma çevriminde ortamdan ısının çekilmesi düşük basınçtaki soğutkanın buharlaşması ile sağlanırken, ısının dışarı atılması yüksek basınçtaki soğutkanın yoğunlaşması ile sağlanır. Basınç farkı oluşturma ve soğutkanın sirkülasyonunu sağlama yöntemi iki çevrim arasındaki başlıca farklılıktır. Buhar sıkıştırma çevrimlerinde soğutkanın sirkülasyonu için gerekli olan basınç farkı mekanik bir kompresörle sağlanır. Absorpsiyon çevriminde ise bu amaçla ikinci bir akışkan veya soğurucu kullanılır. Çevrim için gerekli sıcaklık aralığı buhar sıkıştırma çevrimlerine göre daha düşük olduğu ve elektrik enerjisi tasarrufu için önemli bir potansiyel söz konusu olduğundan dolayı ilk bakışta absorpsiyonlu soğutma, jeotermal uygulamalar için iyi bir uygulama sahası olarak görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal enerji, absorpsiyonlu soğutma

## ABSTRACT

Space cooling can be accomplished from geothermal energy by means of an absorption cycle in which the refrigeration effect is achieved through the use of two fluids and some quantity of heat input, rather than electrical input as in the more familiar vapour compression cycle. The vapour compression and absorption refrigeration cycles both accomplish the removal of heat through the evaporation of a refrigerant at a low pressure and the rejection of heat through the condensation of the refrigerant at a higher pressure. The method of creating the pressure difference and circulating the refrigerant is the primary difference between the two cycles. The vapour compression cycle employs a mechanical compressor to create the pressure differences necessary to circulate the refrigerant. In the absorption system, a secondary fluid or absorbent is used to circulate the refrigerant. Because the temperature requirements for the cycle fall the low to moderate temperature range, and there is significant potential for electrical energy saving, absorption would seem to be a good prospect for geothermal application.

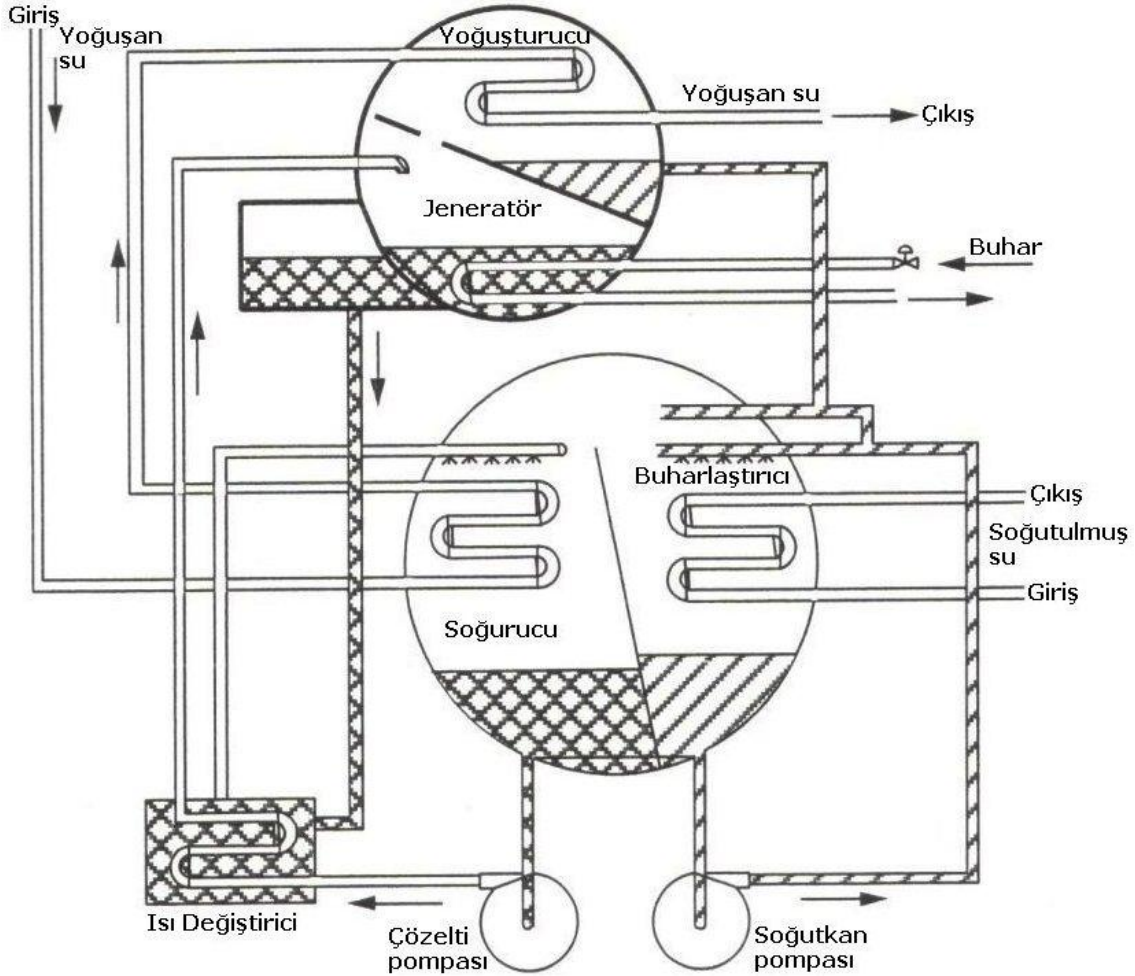
**Key Words:** Geothermal energy, Absorption cooling.

## 1.GİRİŞ

Absorpsiyonlu soğutma makinaları ticari olarak iki şekilde ele alınabilir. 0°C sıcaklığın üzerindeki uygulamalarda (özellikle iklimlendirme uygulamalarında) çevrimde soğurucu olarak lityum bromit ve soğutkan olarak su kullanılır. 0°C sıcaklığın altındaki uygulamalarda ise soğutkan olarak amonyak kullanılırken su soğurucu olarak kullanılır.

Şekil 1 ile bir lityum bromit (LiBr) / su (H<sub>2</sub>O) çevrimi verilmiştir. Bu çevrimde işlem iki tank veya gövde içerisinde gerçekleşir. Üstteki gövde jeneratör ve yoğunlaştırıcı kısımlarını, alttaki gövde ise soğurucu

ve buharlaştırıcı kısımlarını içerir. Jeneratör kısmında elde edilen ısı, lityum bromit/su çözeltisine verilir. Bu ısı soğutkanın (suyun) kaynarak bir damıtma işlemi ile çözeltiden ayrılmasına neden olur. Oluşan su buharı yoğuşturucuya geçer. Daha sonra sıvı haldeki su, soğutulacak olan akışkanın içinde dolaştığı boruların bulunduğu buharlaştırıcı kısmına geçer. Soğurucu-buharlaştırıcı tankı çok düşük bir basınçta tutularak suyun çok düşük bir sıcaklıkta kaynaması sağlanır. Bu kaynama, suyun soğutulacak ortamdan ısı almasına ve böylece ortamın sıcaklığının düşmesine neden olur. Buharlaşan su daha sonra çok az su içeren lityum bromit/su çözeltisi ile karıştırılacağı yer olan soğurucu kısmına geçer. Bu lityum bromitçe zengin çözelti, daha zayıf bir çözelti oluşturmak için buharlaştırıcı kısmından buhar soğurmaya eğilimlidir. Bu soğurma işlemi çevrime ismini verir. Zayıf çözelti daha sonra çevrimi tekrarlamak üzere jeneratör kısmına pompa ile gönderilir [2]



**Şekil 1.** İki gövdeli lityum bromit çevrimli su soğutucunun şematik gösterimi [1].

Şekil 1 ile verildiği gibi, çevrimde dış bağlantıları olan üç akış devresi vardır: jeneratör ısı girdisi, soğutma suyu ve soğutulan su. Bu üç akış devresi için belirli sıcaklık değeri vardır. Bu değerlere göre makineler kademelendirilir. Tek kademeli birimler için, bu sıcaklıklar jeneratöre giren 82.7 kPa buhar (veya eş değeri sıcak su), 29°C soğutma suyu ve birimden ayrılan soğutulmuş 7°C su olarak verilebilir [1]. Bu koşullar altında, soğutma etki katsayısının (COP) yaklaşık olarak 0.65-0.7 değerleri arasında olması beklenir [1].

COP değeri, makinanın verimi olarak ele alınabilir. Bu değer soğutma kapasitesinin, ısı ihtiyacına bölünmesi ile hesaplanır. Örneğin, COP değeri 0.7 olan 1.76 MW kapasiteli bir absorpsiyonlu soğutucunun ihtiyaç duyduğu ısı miktarı,  $(1.76 \times 3600 \text{ MJ} = 6336 \text{ MJ})$  değerinin 0.7 değerine bölünmesiyle 0050 MJ olarak bulunur. Bu ısı ihtiyacını karşılamak için 4100 kg/saat debide 82.7 kPa buhar veya 63.6 litre/s debide 116°C ( $\Delta T = 9.5^\circ\text{C}$ ) su gerekmektedir.

İki kademeli makinalar ile daha yüksek COP değerleri elde etmek mümkündür ([1]). Bununla beraber bu makinalar için gerekli sıcaklık değerleri elektrik üretiminde kullanılan sıcaklık aralığına (177°C) düşmektedir. Bu nedenle, iki kademeli makinalar genellikle jeotermal uygulamalarda kullanılmaz [2]

## 2.ETKİNLİK

Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma makinalarında, sıcak su giriş sıcaklığının 104°C sıcaklığının altında olması durumunda soğutma kapasitesi önemli derecede düşmektedir. Sıcaklık ile birlikte kapasitenin de düşmesinin nedeni absorpsiyon çevrimine olan ısı girdisinin doğası ile ilgilidir. Isı girdisi jeneratörde soğurucu/soğutucu karışımında kaynama oluşumuna neden olur. Jeneratörde basıncın sabit olması kaynama sıcaklığının da sabit kalmasını sağlar. Bunun sonucu olarak, sıcak su giriş sıcaklığının azalması kaynamakta olan karışım ile sıcak su arasındaki sıcaklık farkının da azalmasına neden olur. Isı transferi doğrudan sıcaklık farkına bağlı olduğu için absorpsiyonlu soğutmada sıcak su giriş sıcaklığı ile kapasite arasında doğrusal bir ilişki vardır. COP değeri, soğutma kapasitesi, yoğuşturucu sıcaklığı, soğutulan suyun sıcaklığı ve debi gibi değişkenlere bağlı olmasına karşın jeneratördeki ısı girişi koşulları performans üzerinde en büyük etkiye sahiptir. *Bu durum absorpsiyonlu soğutmada jeotermal enerjinin kullanımını son derece önemli bir hale getirmiştir.*

Birçok durumda 116°C ve üzerindeki sıcaklıklardaki jeotermal kaynakların, organik Rankine çevriminin (ORC) kullanıldığı elektrik santrallerinde kullanılması nedeni ile hacimlerin iklimlendirilmesinde 116°C sıcaklığın altındaki jeotermal kaynaklar kullanılabilir. Sonuç olarak, 82°C-110°C sıcaklık aralığında çalışan soğutucuların belirli bir uygulama için kaynak sıcaklığına bağlı olarak %20-400 oranlarından daha büyük kapasiteli seçilmesi gerekir. Bu durum, yatırım maliyetlerinin geleneksel sistemlere göre daha yüksek olmasına ve geri ödeme süresinin daha uzun olmasına neden olmaktadır.

Ayrıca absorpsiyonlu soğutucuların COP değerlerinin düşük olması daha büyük soğutma kulesi seçilmesini gerektirir. Bu da yatırım maliyetini arttıran ek bir giderdir. Tek kademeli absorpsiyonlu soğutucuların COP değeri yaklaşık 0.7 civarındadır. Aynı koşullar altındaki bir buhar sıkıştırımlı soğutucunun COP değeri ise 3 veya daha fazladır. Sonuç olarak, buhar sıkıştırımlı sistemlerde her bir birimlik soğutma için soğutma kulesinde 1.33 birim ısı çekilmesi gerekir. Absorpsiyonlu sistemlerde ise her bir birim soğutma için 2.43 birim ısı çekilmesi gerekmektedir. Bu durum absorpsiyonlu sistemlere (soğutma kulesi ve donanımları nedeni ile önemli bir ekonomik dezavantaj getirmektedir.

Jeneratör kısmında iyi bir ısı transferi sağlamak için, sıcak suyun jeneratöre girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkını küçük tutmak gerekir. Bunun nedeni soğutucunun gerçekte jeneratöre buhar olarak gireceği düşünülerek tasarlanmış olmasıdır. Yoğuşan buhardan olan ısı transferi bir sabit sıcaklık işlemidir. Sonuç olarak eşit bir performans için sıcak suyun, buhar basıncına (tasarım koşullarına göre jeneratöre girmesi gereken) karşılık gelen doyma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta jeneratöre girmesi gerekmektedir. Bu durum sıcak su sirkülasyonunda bir miktar sıcaklık farkına izin verir. Bununla beraber, sıcaklık farkı doğrudan debiyi ve dolayısı ile de pompalama enerjisini etkilediği için bu konu jeotermal uygulamalarda üzerinde dikkatle durulması gereken bir konudur.

COP değeri 0.54 olan bir soğutma makinası ve burada kullanılacak 8°C sıcaklık farkına sahip jeotermal suyun 750 kPa basma basıncı ve %65 verime sahip bir kuyu içi pompa ile çekilmesi için 60 W/kW pompa gücüne ihtiyaç vardır. Buna karşılık buhar sıkıştırımlı bir sistemde sadece kompresörün tükettiği enerji 140 ile 170 W/kW arasındadır [2]

## 3.KULLANILAN DONANIMLARIN MALİYETİ

Absorpsiyonlu ve buhar sıkıştırımlı soğutma donanımlarının yatırım maliyetleri iki şekilde incelenebilir: sadece soğutucu ve soğutucu-soğutma kulesi-soğutma suyu pompası ve boru tesisatı. Sadece

soğutucu maliyeti ile soğutucu-soğutma kulesi ve donanımların maliyeti arasında buhar sıkıştırımlı sistemlere göre daha büyük fark olmaktadır. Bunun nedeni, absorpsiyonlu çevrimin COP değerinin çok daha düşük olmasıdır.

Kapasitesi 70 kW değerinden küçük olan sistemlere bakıldığında, 4.6, 7.0, 10.5, 17.6, 26.3 ve 35.2 kW kapasiteli sistemlerin üretildikleri görülmektedir. Bu sistemler çeşitli şekillerde birleştirilerek 175 kW kapasiteye kadar çıkartılabilmektedir.

Bu ünitelerin jeotermal projelerde geniş çaplı uygulamalarını görmek pek mümkün değildir. Absorpsiyonlu sistemlerde geleneksel buhar sıkıştırımlı sistemlere göre daha fazla mekanik donanıma ihtiyaç vardır. Absorpsiyonlu soğutucunun kendisi bir soğutma kulesi gerektirir. Ayrıca, dışarıya yerleştirilen bu soğutma kulesinin yanında boru tesisatı ve bir dolaşım pompası da gerekmektedir. Absorpsiyonlu makina soğuk su üretir ve hacmi soğutmak için bir soğutma serpantini ve fan gereklidir. Ayrıca, makina soğutma serpantinine bağlamak için yalıtımlı bir boru tesisatı ve soğutulan suyun dolaşımı için ikinci bir pompa gereklidir. Son olarak, absorpsiyonlu makinaya sıcak su sağlanmalıdır. Bunun için üçüncü bir boru devresi daha gerekmektedir [2]

#### 4. TİCARİ SOĞUTMA

Çoğu ticari ve endüstriyel soğutma uygulaması 0°C sıcaklığın altındaki (genellikle -18°C) sıcaklıkları gerektirir. Soğutucu olarak su kullanıldığı için lityum bromit/su çevrimi bu soğutma ihtiyacını karşılayamaz. Bu sıcaklıklarda donmaya maruz kalmayan bir akışkanın kullanılması gerekir. Böyle durumlarda en yaygın olarak kullanılan absorpsiyonlu çevrim tipi su/amonyak çevrimidir. Bu çevrimde soğurucu olarak su ve soğutucu olarak amonyak kullanılır.

Ticari soğutma uygulamalarında su/amonyak çevriminin jeotermal kaynaklar ile birlikte kullanımı için yine hacim soğutması uygulamalarında göz önüne alınan esasların dikkate alınması gerekmektedir. Soğutma sıcaklığı azalırken gerekli sıcak su giriş sıcaklığı artmaktadır. Çoğu ticari ve endüstriyel soğutma uygulamalarında gerekli sıcaklık 0°C sıcaklığının altında olduğu için, sıcak su giriş sıcaklığı en az 110°C olmalıdır. Gerekli buharlaşma sıcaklığının proses sıcaklığının 6-8°C altında olması gerektiği unutulmamalıdır. Örneğin, -7°C sıcaklığında bir soğu deposu uygulaması için buharlaşma sıcaklığı -15°C olmalıdır.

Bir çok uygulama için COP, 0.55 değerinden azdır. Önemli miktarda sıcak su ve aynı kapasiteli bir buhar sıkıştırımlı sisteme göre çok daha büyük bir soğutma kulesi gerekmektedir [2].

#### 5. ABSORBSİYONLU ÇEVİRİM ARAŞTIRMASI

Lawrence Berkeley Laboratuvarında yapılan bir çalışma ile absorpsiyonlu çevrimlerin performansının önemli derecede artması sağlanmıştır. Güneş enerjisi uygulamaları için absorpsiyonlu çevrimleri geliştirmeye çalışan laboratuvardaki araştırmacılar amonyak/su makinasının ileri versiyonlarını geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, olası bir ısı pompası operasyonu için bir hava soğutmalı yoğuşturucunun kullanımına izin vermek amacıyla akışkan çifti olarak amonyak ve su seçilmiştir.

Geliştirilen iki çevrim, tek etkili rejeneratif çevrim ve çift etkili rejeneratif çevrim olarak tasarlanmıştır. Bu iki çevrim, lityum/bromit çevrimine göre çok daha yüksek bir COP değerine ve jeneratöre giren sıcak suyun sıcaklığı çok daha geniş bir aralığa sahiptir. Bu üstün performans soğutucu kısmının sabit sıcaklıkta çalıştırılmasıyla sağlanmıştır. Böylece absorpsiyonlu çevrimdeki termodinamik tersinmezlikler azaltılmıştır [2].

## 6.MALZEMELER

Jeneratör kısmı, absorpsiyonlu makinanın jeotermal akışkanla karşılaşacağı tek yerdir. Bu kısımda, ısıtıcı akışkan gövdedeki soğutucu/soğurucu karışımına ısı vermek üzere bir boru demeti içerisinden geçer. Bu boru demeti genellikle bakır veya bakır alaşımından yapılır. Bu alaşımlar özellikle hidrojen sülfür, amonyak veya oksijen içeren jeotermal kaynaklar için uygun değildir. Jeotermal kaynakların çoğu çözünmemiş gaz içerdiği için, soğutucunun bu akışkana maruz kısımlarında standart malzemelerin kullanılması önerilmez. Bunun yerine, korozyona dirençli borulara sahip özel sipariş bir soğutucu veya yalıtımlı ısı değiştirgeci ve temiz su devresi önerilir.

Büyük kapasiteli absorpsiyonlu makina üreticileri ilk önerinin ekonomik olarak daha uygun olduğunu vurgulamaktadır. Paslanmaz çelik malzeme maliyet açısından daha uygun görünse de, titanyumun kullanılması önerilir. Titanyum boruların genellikle bu tip uygulamalarda genişletilmiş yüzeyler için daha elverişli olması nedeniyle, fiyatları paslanmaz çelik boruların maliyetine oldukça yakındır. Üreticiye göre, genişletilmemiş yüzeyli paslanmaz çelik boruların kullanılması durumunda soğutucunun boyutları büyüyecektir. Bunun nedeni ise ısı transferinin daha az olmasıdır.

Titanyum boruların kullanılması durumunda makinanın yatırım maliyeti %10-15 arasında bir artış göstermektedir. Bununla beraber, birçok durumda bu fark ısı değiştirgeci, dolaşım pompası, boru tesisatı ve yalıtım için gerekli kontrol donanımları ile ilgili maliyetlerden çok daha azdır. Diğer bir avantaj ise jeneratör kontrüksiyonunun ısı değiştirgeci ile ilgili kayıplara engel olmasıdır [2]

## SONUÇ

Bir hacmin soğutulmasında jeotermal/absorpsiyon soğutma sistemlerinin kullanılması düşünülürken aşağıda belirtilen etkenlerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

- Kaynak sıcaklığı: 104°C sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda donanım kapasitesi artırılmalıdır. Çok düşük sıcaklıklı soğutma gerekiyorsa bunun için çok yüksek kaynak sıcaklığı veya iki kademeli bir sistem gereklidir.
- Hacim ısıtması için gereken debi ile absorpsiyonlu makinanın sıcak su ihtiyacının karşılaştırılması: Absorpsiyonlu makinanın yatırım maliyeti hesaplanırken kuyu ve pompalama maliyetindeki artış da hesaba katılmalıdır.
- Gerekli soğutma kapasitesi: Büyük kapasiteli makinalar yatırım maliyeti açısından TL/kW bazında daha az bir artış göstermektedirler. Böylece ekonomik açıdan daha pozitif bir görüntü verirler.
- Beklenmedik derecede düşük statik su seviyesine sahip kaynaklar için gerekli pompa gücü: Pompa gücü, yüksek verimlilikteki bir elektrikli soğutucunun tükettiği enerjinin yaklaşık %50'si kadardır.
- Kullanım miktarı: Yüksek kullanım miktarı hem tüketim hem talep açısından daha iyi bir sistem ekonomisi getirir [2]

## KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE, 1983. American Society of Heating-Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1983 Handbook of Fundamentals, Atlanta, Ga., pp. 14.1-14.8.  
[2] Rafferty, K.D., 2003. Space Cooling, Geothermal Energy Utilization and Technology, Earthscan.

## ÖZGEÇMİŞ

### Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012 yılından itibaren aynı bölümde doçent doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

### Özüm ÇALLI

2007 yılında Konak Anadolu Lisesinden ve 2012 yılında Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2012 yılından beri Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrencisidir.