

SİĞ JEOTERMAL SİSTEMLER

Ayşegül Çetin*

GİRİŞ

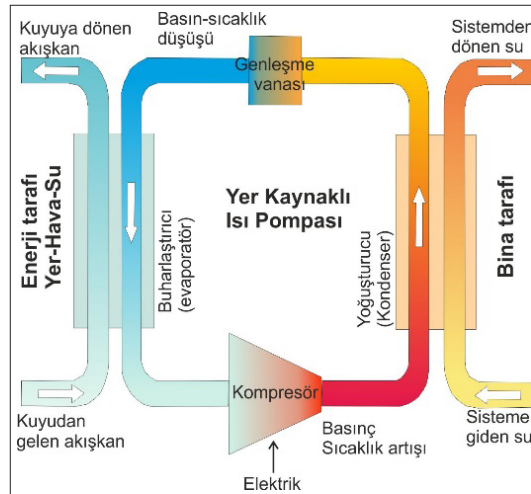
Son yıllarda çok yakından tanık olduğumuz aşırı yağış, sel, kuraklık vb. gibi iklim değişikliğine neden olan petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ve enerjide arz güvenliğinin sağlanması için Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına olan ilgi tüm dünyada giderek artmaktadır. Bu kapsamda ülkemiz enerji politikalarında milli ve yerli enerji kaynağımız olan güneş, rüzgâr, biokütle ve jeotermal enerjiden oluşan yenilenebilir enerji kaynak kullanımının artırılması hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda birçok yasa ve yönetmelik gündeme alınarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda önemli düzenlemeler yapılmıştır. Sığ jeotermal sistemler yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olup, yerin yaklaşık 20-200 metre derinliğinde biriken ısı enerjisinin ısı pompası cihazı ile ya da ısı pompasız kullanılabilir hale getirerek ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının karşılandığı sistemlerdir. Sığ jeotermal sistemler genel olarak “Yer Kaynaklı Isı Pompası”, “Yeraltında Termal Enerji Depolama” ve “Yerden Havaya Isı Değiştiricisi” olmak üzere farklı uygulamalara sahiptir. Yer Kaynaklı Isı Pompası sistemleri ülkemizde 2000 yıllarının başlarında ilk olarak

villa tipi konut binalarında kullanılmıştır. Son yıllarda alışveriş merkezleri, otel, okul, ofis binalarında uygulanmakta ve sayısı da giderek artmaktadır. Yeraltında Termal Enerji Depolama ile ilgili sistemler Ar-Ge çalışmaları ile başlamış olup alışveriş merkezi ve tarım sektöründe uygulamaları bulunmaktadır. Kamu binalarında bir ilk olarak “İller Bankası-İstanbul Bölge Müdürlüğü Ataşehir Binası”nda yer kaynaklı ısı pompası sistemi kullanılmış ve Belediyelerimize örnek olması hedeflenmiştir. Söz konusu yer kaynaklı ısı pompası sistemi Mayıs 2015 - Nisan 2016 dönemi arasında %48 oranında bu sistemden elde edilmiştir.

Bu makalede sığ jeotermal sistemleri oluşturan “Yer Kaynaklı Isı Pompası”, “Yeraltında Termal Enerji Depolama” yöntemleri ile “Yerden Havaya Isı Değiştiricisi” sistemlerinin tanıtımı yapılarak, Dünya ve ülkemizdeki mevcut uygulamalar ile bu konudaki uluslararası çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

ISI POMPASI

Isı Pompası bina ile enerji kaynağı arasında köprü görevi üstlenen bir cihaz olup, çevresindeki enerji kaynağından aldığı enerjiyi ısıtma veya soğutmada kullanılabilir sıcaklık seviyesine getirmektedir. Çevrede bulunan enerji kaynağı hava, su veya yeraltı olabilmektedir. Kullandığı enerji kaynaklarına göre ısı pompası tipleri “hava”, “su” ve “yer kaynaklı” olarak başlıca üç ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 1). Binalarımızda soğutma amaçlı olarak kullandığımız klimalar



Şekil 1- Isı Pompası çalışma prensibi (ASHRAE, 2016).

* İller Bankası A.Ş. Üstyapı Uygulama Dairesi Başkanlığı, ANKARA. aysegulcetin32@gmail.com

aslında birer hava kaynaklı ısı pompasıdır. Sığ jeotermal sistemlerde enerji kaynağı yer veya yeraltı suyu olduğu için ısı pompası cihazı “yer kaynaklı ısı pompası” olarak adlandırılmaktadır.

Binalarda ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının karşılanması, havuz ısıtma, kullanma sıcak suyu, sebze meyve kurutma, kimyasal endüstri vb. gibi birçok alanda kullanılan ısı pompaları son zamanlarda bilgi işlem ve telekomünikasyon merkezleri ile nükleer tesislerde soğutma ihtiyacının karşılanması için de kullanılmaktadır. Uygulama alanlarına göre kapasiteleri 7 kW ile 44MW arasında değişmektedir. Isı pompası ile teknolojisindeki son gelişmeler kullanılarak su sıcaklığı 105 °C ye kadar yükseltilebilmektedir. Isı pompası ya elektrikle ya da doğalgazla çalışmakta olup, içerisinde çok düşük sıcaklıkta buharlaşan soğutucu gazlar bulunmaktadır. Isı pompası, içerisindeki kompresör, buharlaştırıcı (evaporatör), genleşme valfi, yoğuşturucu (kondenser) gibi soğutucu akışkan basıncını ve sıcaklığını değiştiren ekipmanlar yardımıyla enerji kaynağından alınan sıcaklığı yükselterek veya düşürerek diğer bir ortama ileten cihazlardır. Isı pompasının çalışma prensibi Carnot çevrimine dayanmaktadır. Isı pompası sistemi tersinir bir işletim prensibine sahiptir, soğutucu akışkanın akım yönü değiştirilerek hem ısıtma hem de soğutma çevriminde kullanılmaktadır (ASHRAE, 2016).

Isı pompalarının enerji etkinliği *COP*, *SPF*, *EER*, *SEER* ve *HSPR* ile belirlenmektedir. Cihazların özelliklerine göre standartlara (EN 14511) uygun olarak yapılan testler sonucunda enerji etkinlik etiketi ile etiketlenmektedir. Gelişen teknolojiye göre çok farklı türde ısı pompası mevcut olduğundan her ısı pompası üreticisinin teknik kataloğu incelenmelidir.

COP-Performans Faktörü

Isı Pompasının enerji etkinliğini göstermektedir. Isı pompasına verilen bir birim enerji karşılığında elde edilen enerjinin oranıdır. ($COP = PH/PE$, $PE =$ ısı pompasını çalıştırmak için harcanan elektrik enerji kW), $PH =$ ısı pompasından elde edilen ısı enerji (kW)

SPF - Mevsimsel Performans Faktörü

Isı pompasının tüm bir yıl çalışması için harcanan enerji ile ısı pompasından tüm yıl boyunca elde edilen enerjinin oranıdır.

SEER - Mevsimsel Enerji Etkinliği Oranı

Yıl boyunca ısı pompasının soğutması için kullandığı elektriğin ısı pompasından elde edilen soğutma enerjisine oranıdır. 2013'te Avrupa Enerji Programı çerçevesinde kullanılmaya başlanmıştır. EN14511-2'de tanımlanmıştır ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

EER - Toplam Soğutma Kapasitesi

Enerji Etkinlik Oranının ifadesidir ve soğutma için kullanılmaktadır. Soğutma sırasında ısı pompasını çalıştırmak için gerekli elektrik enerjisi ile elde edilen soğutma enerjisinin birbirine oranı olarak tanımlanmaktadır.

HSPF - Mevsimsel Isıtma Performans Faktörü

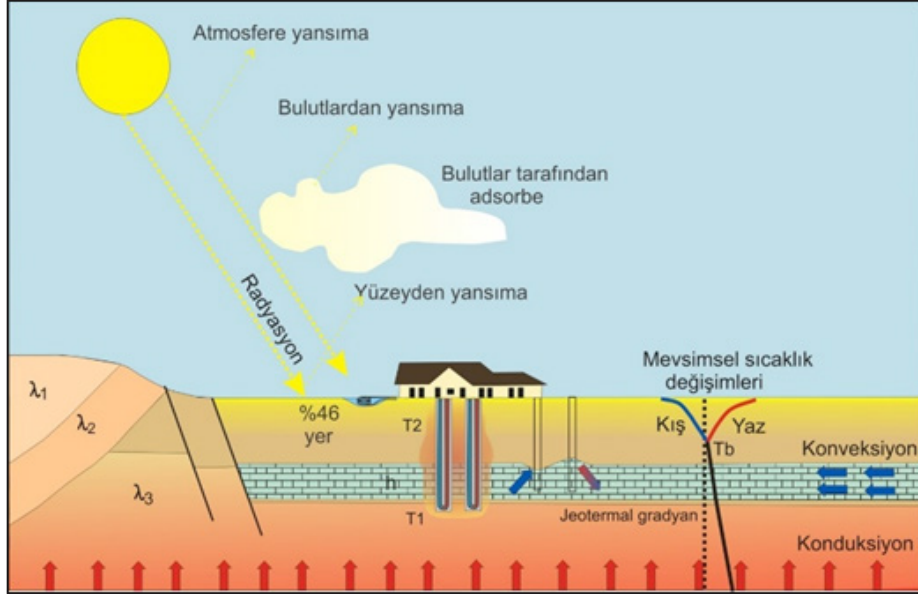
HSPF ısı pompasının toplam ısıtma etkinliğinin bir ölçüsüdür. Yüksek HSPF sayısı ısı pompasının bir evi ısıtma etkinliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

SIĞ JEOTERMAL SİSTEMLER

Jeotermal enerji kavramı ülkemizde genel olarak yeraltından gelen sıcak akışkan olarak anlaşılmaktadır. “*Siğ Jeotermal Sistem*” ise sıcak jeotermal akışkandan bağımsız ve farklı olarak her yere kurulabilen, hem ısıtma hem de soğutma ihtiyaçlarının karşılanabildiği sistemlerdir. Yol ve köprülerdeki buzlanmanın giderilmesi, tarımsal-sera uygulamalarında ürün çeşitliliği ve üretim süresinin artırılması gibi çok değişik alanlarda kullanılabilir. Çok yüksek sıcaklıklara ve herhangi bir akışkana gerek duyulmadan sadece yer yüzeyinin yaklaşık 200 metre gibi siğ derinliklerinde biriken ısı enerjinin kullanılabilir hale getirildiği sistemlerdir (Şekil 2). *Siğ Jeotermal Sistemler* başlıca “Yer Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri”, “Yeraltında Termal Enerji Depolama” sistemleri ve “Yerden Havaya Isı Değiştiricileri” olmak üzere üç ana grup altında uygulanmaktadır. Projenin amacına bağlı olarak, bulunulan yerin coğrafik, iklim ve jeolojik-hidrojeolojik özellikleri uygun ise ısı pompası kullanılmaksızın da ısıtma ve soğutma ihtiyaçları karşılanabilmektedir.

Yer Kaynaklı Isı Pompası (YKIP) Sistemleri

Siğ jeotermal sistemlerde uygulanan “Yer Kaynaklı Isı Pompası”nda enerji kaynağı

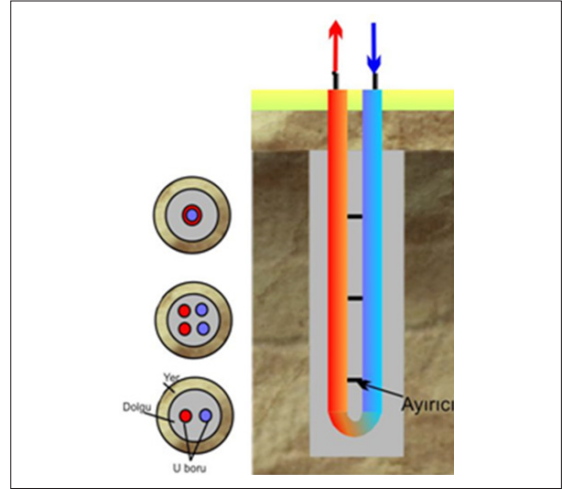


Şekil 2- Sığ jeotermal enerji sistemi şematik gösterim (Grc engineering'den değiştirilerek çizilmiştir).

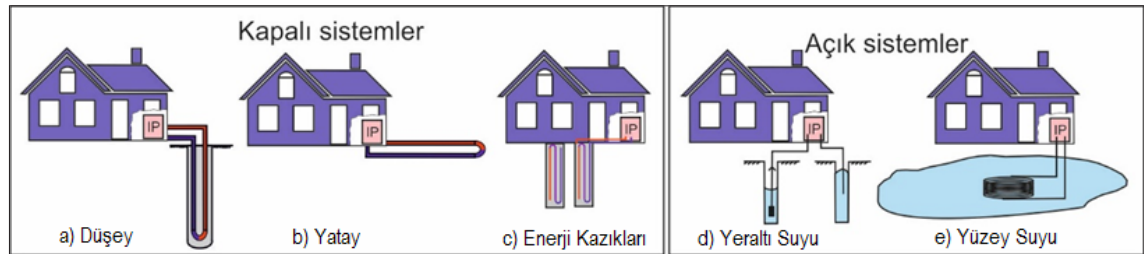
tarafını yer/yeraltı suyu ya da göl, akarsu vb. yüzey suları oluşturmaktadır. Söz konusu uygulamalar, sisteme dışardan kütle girişi olup olmama durumuna göre "açık" ve "kapalı" sistem olarak gruplandırılmaktadır (Sanner, 2001).

Açık sistemlerde enerji kaynağı; yeraltı suyu, göl, akarsu veya deniz suyu olmaktadır. Yeraltı suyu kaynaklı sistemlerde açılan kuyular yeraltı kaya tabakaları içerisinde bulunan suyun çekilerek ısı enerjisinin ısı pompasına aktarıldığı sistemlerdir. Derinlikleri 10-250 m arasında değişmektedir. Su kütlelerinin belli derinliklerdeki sabit sıcaklığından faydalanmak üzere tasarlanan sistemlerdir. Kapalı sistemlerde ise kuyu ısı değiştiricileri (Şekil 3) farklı bir teknikte açıldığı ve dışardan herhangi bir kütle alışverişi olmadığı için atmosferik değişiklikler gibi sistem verimliliğine etki eden dış faktörler en

aza indirilmiştir. Kapalı sistemler düşey, yatay, enerji kazığı ve ısı kuyusu olarak değişik türde uygulanabilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3- Kapalı sistem-Düşey kuyu ısı değiştiricisi şematik görünüm.



Şekil 4- Yer Kaynaklı Isı Pompası sistemleri şematik gösterim a) düşey, b) yatay, c) enerji kazıkları d) yeraltı suyu, e) yüzey suyu (göl, akarsu, deniz vb.) (Lund ve Boyd, 2015'den değiştirilerek çizilmiştir).

Her iki sistemde de enerji kaynağı sistemin verimliliğini belirleyen en önemli etken olduğu için tasarım aşaması önem taşımaktadır. Projenin kurulacağı yerdeki enerji kaynağı niteliğindeki kuyu ısı değiştiricilerinin, bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önüne alınarak doğru tasarlanması gerekmektedir.

Yeraltında Termal Enerji Depolama (YTED) Sistemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasında karşılaşılan en önemli sorun enerji arz – talep arasında boşluk oluşmasıdır. Enerjiye talep olduğu zaman, sunulan enerji talebi karşılayamamakta ya da enerji arzı olduğunda talep olmayabilmektedir. Bu boşluğun giderilmesi açısından enerji depolama yöntemleri iyi bir seçenek sunmaktadır. Isı Enerjisi Depolama tekniklerinden biri olan “Yeraltında Termal Enerji Depolama Sistemleri” (YTED) uzun süreli mevsimsel depolama yöntemleridir. Isıtmanın yanı sıra son zamanlarda daha çok ihtiyaç duyulan soğutma talebinin karşılanmasında kullanılan bu yöntemler iklim değişikliği etkilerinin azaltılması, enerji arz ve talebinin arasındaki boşluğu gidermesi ve enerjinin verimli kullanılması açısından oldukça önem taşımaktadır.

Yeraltında Termal Enerji Depolama (YTED) Teknikleri başlıca: a) *Akifer Termal Enerji Depolama (ATED)*, b) *Kuyularda Termal Enerji Depolama (KTED)*, c) *Boşluk, çukur ve Tank Termal Enerji Depolama (BTED)* olmak üzere üç ana grupta uygulanan sistemlerdir (Şekil 5). Yeraltında ısı enerjisi depolamada kullanılan sıcak kaynaklar başlıca; güneş enerjisi, proses atığı ısı, yazın ortam hava sıcaklığı, soğuk kaynaklar ise; kışın ortam soğukluğu, kar ve buz depolama, kışın soğuk yüzey suları olmaktadır.

Özellikle İsveç, Hollanda, Almanya ve Kanada gibi kuzey bölgelerde yer alan ülkelerde yaygın olarak uygulanan bu sistemler henüz ülkemizde yaygın değildir. Kuzey bölgelerde yer alan ülkelerin güneşlenme olanakları ve yer ısı akıları ülkemize oranla daha az olmasına rağmen sistem uygulamaları çok fazladır. Ülkemiz hem güneşlenme hem de yüksek yer ısı akısına sahip bir bölgede yer almaktadır, bu nedenle diğer ülkelere oranla daha fazla termal enerji depolama potansiyeline sahiptir.

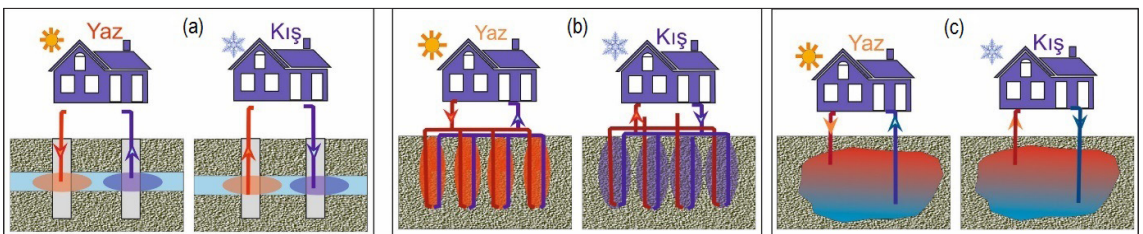
Yeraltında Isı Enerjisi Depolama tekniklerinin uygulama yöntemleri kısaca özetlenmek gerekirse:

a) *Akifer Termal Enerji Depolama Sistemi (ATED)*

Bir ısı kaynağından alınan ısı enerjisinin yeraltı suyu taşıyan tabakalar (akifer) içine açılan kuyular yardımıyla yeraltı suyuna depolanmasıdır. Genelde kuyular sıcak ve soğuk olmak üzere iki grup olarak tasarlanırlar. Bir grupta sıcak depolama yapılırken diğerinde soğuk depolama gerçekleştirilir. Yaz boyunca elde edilen sıcak ısı enerjisi sıcak depolama yapılan kuyuya aktarılır ve izleyen kış mevsiminde çekilerek kullanılır. Kış döneminde kış ortam soğukluğu soğuk depolama yapılan kuyuya aktarılır ve izleyen yaz mevsiminde soğutma talebinin karşılanması için çekilerek kullanılır. Sistemin kurulacağı alandaki kayaçların hidrojeolojik özellikleri önem taşımaktadır.

b) *Kuyularda Termal Enerji Depolama sistemleri (KTED)*

Her yere kurulabilen, herhangi bir ısı kaynağından alınan sıcak veya soğuk enerjiyi depolamak için kullanılan, yer kaynaklı ısı pompası sistemlerindeki kuyulara benzer olarak tasarlanan kapalı sistemlerdir.



Şekil 5- Yeraltında Isı Enerjisi Depolama Teknikleri şematik gösterim. a) ATED, b) KTED, c) BTED

c) *Boşluk Tank ve Çukurlarda Termal Enerji Depolama (BTED)*

Bu yöntemde ise yeraltında var olan ya da ikincil olarak oluşturulan boşluklar içerisine su doldurularak, ısı kaynağından alınan ısı enerjisi doldurulan bu su kütlelerinde depolanmaktadır. Uygulama sayısı çok az olan bu sistemlerde inşaat maliyet ve zorlukları yüksektir.

Söz konusu tekniklerin kullanım alanları; konut sektöründe bölgesel ısıtma ve soğutma, sanayi sektöründe proses suyu soğutma, ulaşım sektöründe havalimanı pistleri ve yollardaki buzlanmanın giderilmesi, tarım sektöründe seraların iklimlendirilmesi gibi oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir.

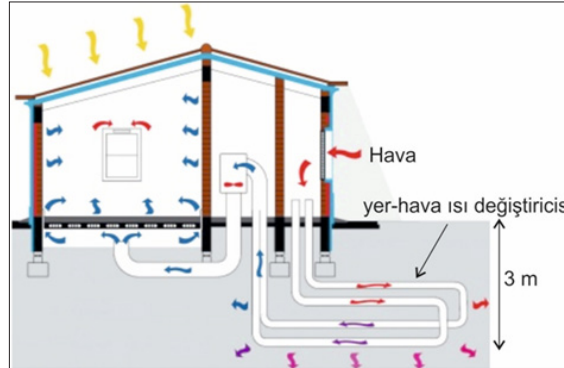
Yerden Havaya Isı Değiştiricileri

Bu sistemde dış ortamdan alınan hava toprak sıcaklığının atmosferik sıcaklıklardan etkilenmediği 3 m derinliğe gömülen borulardan geçirilir ve toprak sıcaklığı ile dengeye gelmesi sağlanarak bina ön ısıtması ve soğutulmasında kullanılır (Şekil 6). Boru uzunluğu gerçekleşecek

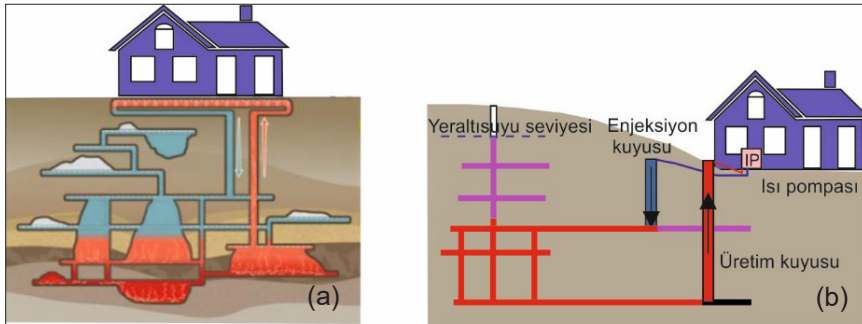
hava akım hızı ve boru çaplarına bağlı olarak değişmektedir. Sistem tasarımında toprak sıcaklığı ve ısı iletkenliğinin araştırılması gerekmektedir. Söz konusu sistemler ile ilgili çalışmalar 2010 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerji Enstitüsü kampüsünde kurulan 45 m² alana sahip seranın iklimlendirilmesine yönelik deneysel bir çalışmayla başlamıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda sera iklimlendirilmesinde geleneksel fosil yakıtların kullanımına alternatif olacak şekilde COP değerleri 4,74 olarak bulunmuştur (Özgener ve Özgenç, 2010).

Diğer Uygulama yöntemleri

Sığ jeotermal sistemler kapsamında projenin yer aldığı bölgeye ve amacına göre de değişik uygulamalar mevcuttur. Örnek olarak; projenin bulunduğu alanda terk edilmiş eski maden galerileri var ise, maden galerilerinin içerisine dolan suya ısı enerjisi depolama ya da maden galerisinde biriken suyun ısı enerjisini bir kuyu aracılığı ile ısı pompasına aktarma verilebilir (Şekil 7).

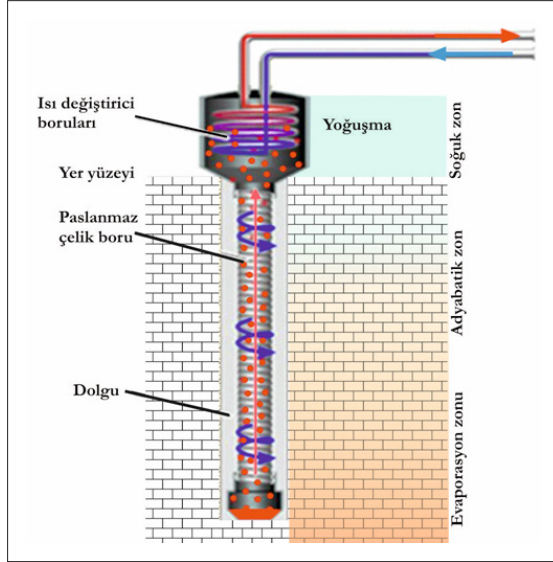


Şekil 6- Yerden havaya ısı değiştiricileri şematik görünüm (Designingbuilding,2018).



Şekil 7- Sığ jeotermal sistemlerin terk edilmiş maden galerilerinde a) ısı enerjisi depolama b) ısı pompası ile kullanımı (Sanner, 2001'den yeniden çizilmiştir).

Son zamanlarda yeni geliştirilen teknolojilerden biri "ısı borusu" olarak adlandırılan sistemlerdir. Isı borusu (Şekil 8); yerin sabit sıcaklığında buharlaşabilen gazların kuyu içinde yükselerek yoğuşması ile içine aldığı enerjiyi dışarıya aktarması prensibine dayalı sistemlerdir.



Şekil 8- Isı borusu şematik gösterim (Sass vd., 2016'dan yeniden çizilmiştir).

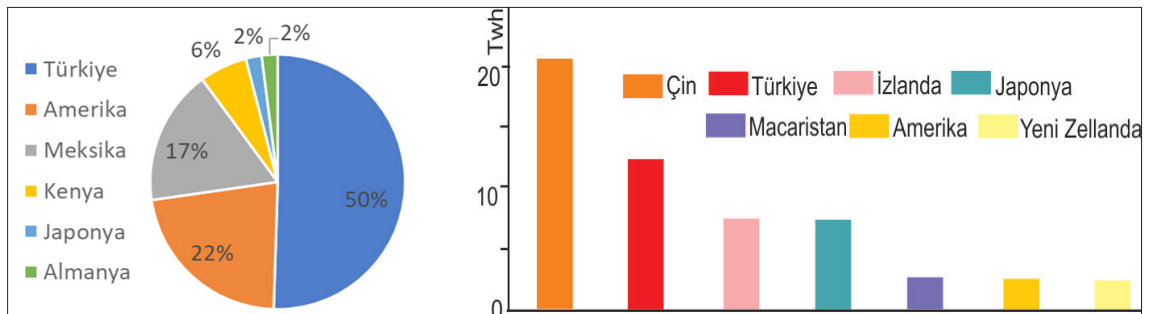
DÜNYADA ve TÜRKİYE MEVCUT DURUM

Enerjinin verimli kullanılması ve iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtların kullanılmasının azaltılması için iyi bir seçenek oluşturarak enerji depolama tekniklerinin önemi giderek artmaktadır. Bu kapsamda birçok ülkede ısı enerjisi depolama ve yer kaynaklı ısı pompası sistem uygulamaları konusunda çalışmalar yürütülmektedir. Dünyada jeotermal enerji doğrudan kullanım kurulu kapasitesi yaklaşık 70 GW (Lund ve Boyd, 2017) olup, bunun %71 ini 50 GW oranında Yer Kaynaklı Isı Pompası oluşturmaktadır (Gehlin, 2018).

Türkiye jeotermal enerji potansiyeli açısından %50'lik oranda dünyada ilk sırada yer almaktadır (World Geothermal Council, 2016). Yine jeotermal akışkandan doğrudan kullanım kurulu kapasitesi açısından Çin'den sonra ikinci sırada yer almaktadır (Şekil 9).

Türkiye'de ısı pompası ya da yer kaynaklı ısı pompası kavramı yeni değildir. İlk deneysel uygulama 1986 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesinde 0,95 kW kapasiteli ısı pompası ile yatay ısı değiştiriciler kullanılarak yapılmıştır. Deneysel uygulamalar araştırma amaçlı olarak Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Atatürk Üniversitesi (Erzurum) ve İzmir Üniversitesi olmak üzere üç üniversitede gerçekleştirilmiştir. Yer kaynaklı ısı pompası sisteminin ilk konut uygulaması ise 1998 yılında sadece ısıtma amaçlı olarak 26 kW kapasitede uygulanmıştır. Yer Kaynaklı Isı Pompası sistemleri 2000'li yılların başlarında villa tipi uygulamalar ile başlamıştır (Hepbaşlı vd, 2001). Son zamanlarda alışveriş merkezleri, otel, ofis, okul ve kamu binalarında da uygulama sayısı giderek artmıştır.

Türkiye'de Yer Kaynaklı Isı pompası sistemleri kurulum kapasitesi 2015 yılı verileri ile 99 MW'a ulaşmıştır. Deniz, göl ve yeraltısuyu kaynaklı uygulamalar YKIP sistemlerinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Açık sistemlerden deniz kaynaklı uygulama sayısı %15 gibi bir oranda olmasına rağmen kurulu kapasitenin yaklaşık %58,53'ünü, yeraltısuyu kaynaklı sistemler ise toplam sistem sayısının %18'ini, kurulu kapasitenin ise %30'unu oluşturmaktadır. Düşey, yatay ve enerji kazığı olarak üçe ayrılan kapalı sistem uygulamaları toplam sistem sayısının %64,3'ünü kapsamına rağmen toplam kurulu kapasitesi 7,3 MW civarındadır (Çetin vd, 2018). Ülkemizde Yeraltında Isı Enerjisi



Şekil 9- a) Ülkeler jeotermal potansiyel b) Doğrudan jeotermal kullanım kurulum kapasitesi (World Geothermal Council, 2016).

Depolama yöntemleri konusundaki çalışmalar 2000'li yıllarda araştırma ve geliştirme çalışmaları ile başlamıştır. Yeraltında depolama yöntemlerinin uygulanabileceği potansiyel alanlar hakkında genel bir fikir vermek amaçlı harita hazırlanmıştır (Paksoy, 1999). Sistem ve teknoloji seçimi yapılmadan önce bölgenin coğrafik, iklim, jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri belirlenmelidir.

Dünya Uygulama Örnekleri

Siğ jeotermal sistemler konusunda çok sayıda uygulama mevcut olup, bu uygulamalardan sistem ve kullanım alanı açısından uygulama örneklerinden bazıları aşağıda yer almaktadır:

KTED-Brædstrup SolPark Bölgesel Isıtma-Danimarka

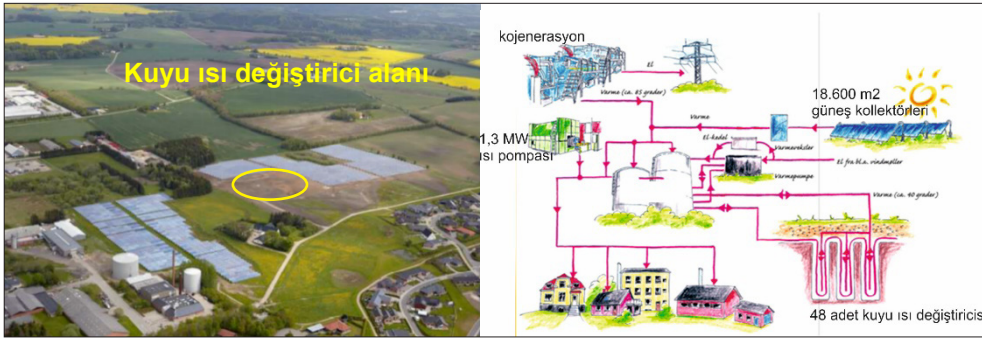
Bölgesel ısıtma amaçlı olarak uygulanan bu sistemde rüzgar enerji santrallerinden elde edilen elektrik ve güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisinin birlikte kullanımı ile doğal gaz fiyat dalgalanmalarının etkisinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 10).

Danimarka iklim şartlarında yaz boyunca 1-2 aylık bir sürede mevcut olan güneş enerjisi güneş kolektörleri ile toplanarak açılan 45 metre derinliğindeki 48 adet kuyuya ısı enerjisi depolanmaktadır.

Toplam alanı 18.500 m² olan güneş toplayıcılarından yıllık ısı enerjisi üretimi 8.700.000 KWh/yıl olmakta ve 1400 konut ısıtılabilir. Bu örnekte, 1487 adet güneş toplayıcısı, 1.3 MW kapasiteye sahip ısı pompası, 10 MW lık elektrik ısıtıcısı ile 5500 m³ ve 2000 m³ lük 2 adet depolama tankı kullanılmıştır (Şekil 10).

YKIP-Rye Kraftvarmeværk Uygulama Projesi

Bu uygulamada, yeraltısuyu kaynaklı ısı pompası ve güneş ısı enerjisi birlikte kullanarak optimum bir bölgesel ısıtma ile yaklaşık 200 konutun ısıtılması sağlanmıştır. Güneş toplayıcıları alanı 2400 m² dir ve 2 MW lık yeni tip su kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır (Şekil 11). Sistemin enerji etkinliğinin yüksek olması nedeniyle üç bölgesel ısıtma sistemi planlanmaktadır.



Şekil 10- Brædstrup SolPark sistem kurulum şematik görünümü.



Şekil 11- a) Su kaynaklı ısı pompası b) Güneş toplayıcıları ve ısı merkezi genel görünüm.

Isı Borusu-Demiryolları Makas Bölümündeki Buzlanmanın Giderilmesi-Almanya

Almanya'da çok yaygın olarak yer alan demiryollarında kış mevsimi boyunca makas yerlerindeki buzlanmanın giderilmesi amacıyla ısı kuyuları uygulaması yapılmıştır. Kuyuların tasarımı başlangıçta AR-GE merkezinde oluşturulan simülasyon odasında gerçekleştirilmiştir. Isı kuyularında herhangi bir ısı pompası kullanılmadan açılan 120 metre derinliğindeki kuyudan elde edilen yerin sabit sıcaklığı, düşük sıcaklıkta buharlaşan CO₂ gazları kullanılarak makas bölümünde yoğunlaşması ile ısı enerjisinin aktarılması sağlanmıştır (Şekil 12). Şu ana kadar 3 pilot uygulaması bulunan sistemlerin yaygınlaştırılmasına çalışılmaktadır (Staudacher, 2015).

ATED-Berlin Parlamento Binası

Berlin parlamento binasının ısıtma ve elektrik enerjisi sistemi biyoyakıt kullanılan kojenerasyon sisteminden elde edilmekte olup, elektrik enerjisinden atılan atık ısı 300 metre derinliğinde bulunan altakifere, kış dönemi ortam

soğukluğu ise 60 metre derinliğinde bulunan üst akifere depolanmıştır. Soğuk depolama için 5'er adet kuyu içeren iki kuyu grubu, sıcak depolama için iki kuyu kullanılmaktadır (Şekil 13). Yaz dönemi kojenerasyondan sisteminden atılan atık ısının yaklaşık %60'ı akiferde depolanmış ve izleyen kış mevsiminde ısıtma ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılmıştır. Kojenerasyon sistemi depolanan yıllık sıcak enerji 2650 MWh, geri kazanılan 2050 MWh; kış ortam soğukluğundan depolanan 4250 MWh, geri kazanılan soğuk enerji ise 3950 MWh olmaktadır (Seibt ve Kabus, 2006). Sistem 1999 yılında devreye alınmış olup halen çalışmaktadır (Kabus ve Seibt, 2000).

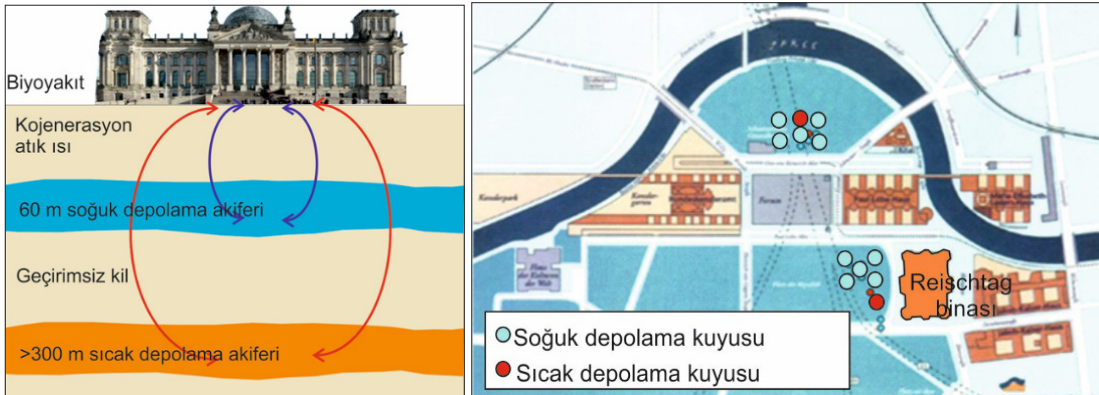
Türkiye Uygulama Örnekleri

ATED - Sera Uygulaması - Çukurova Üniversitesi - Adana

Çukurova Üniversitesi-Sera uygulaması en önemli uygulamalardan biridir. Söz konusu uygulamada Adana iklim şartlarında yaz boyunca sera içerisine biriken sıcak havanın



Şekil 12- Uygulama örneği ve ZAE-Bayern-AR-GE Merkezi Demiryolu buzlanmanın giderilmesi simülasyon odası (Staudacher, 2015).



Şekil 13- Berlin Parlamento binası ATED sistemi şematik gösterim (Sanner 2005'ten değiştirilerek çizilmiştir).

ısı enerjisi ile kış boyunca dış ortam soğukluğu akifer sistemine depolanmıştır. Sera alanı 360 m² olup domates ve patlıcan üretimi yapılmıştır. Sıcak ve soğuk termal enerji depolaması için iki ayrı kuyu kullanılmıştır (Şekil 14). Derinlikleri 80 m olan kuyular termal olarak birbirini etkilemeyecek mesafeye yerleştirilmişlerdir. Enerji verimliliği açısından yapılan hesaplamalarda %70 oranında enerji tasarrufu sağlanmış, %20-40 oranında ürün artışı elde edilmiş ve geri ödeme süresi 1 yıl olarak gerçekleşmiştir (Turgut vd., 2008).

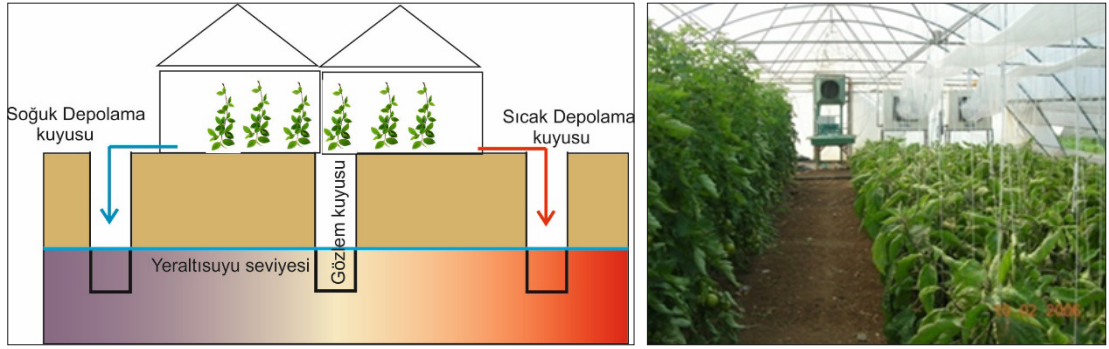
ATED-Yoncalı Alışveriş Merkezi-Mersin

Diğer bir yeraltında termal enerji depolama sistemi Mersin ili Yonca alışveriş merkezinde ısı pompası ile birlikte uygulanmıştır. Sistem

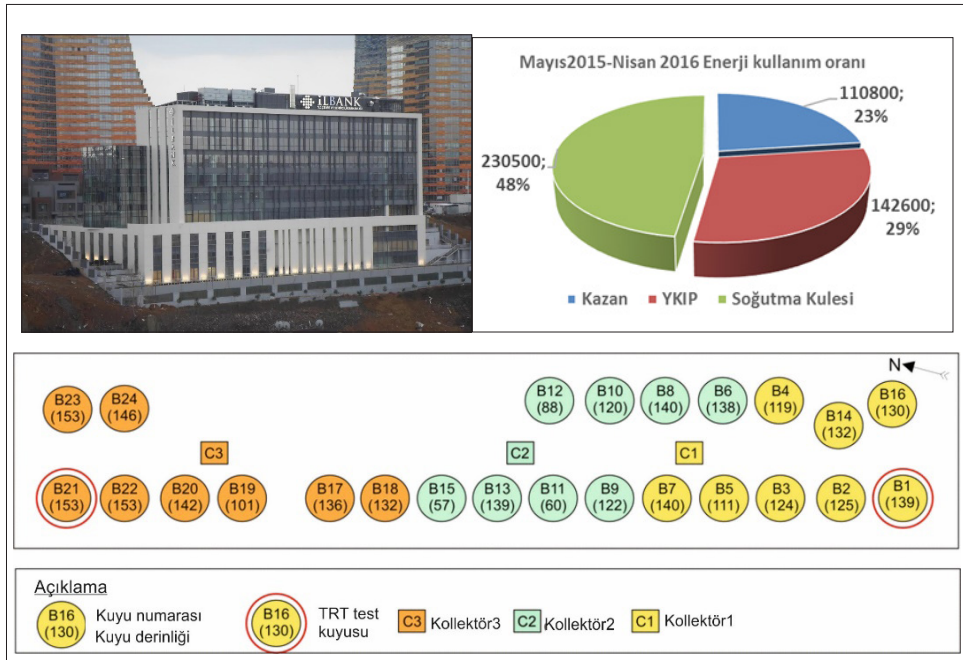
alışveriş merkezinin yaz boyunca soğutmasında kullanılan HVAC (iklimlendirme) sisteminden atılan atık ısının akiferde depolanarak, izleyen kış mevsimi süresince kullanılması amacıyla tasarlanmıştır. Soğutma yükü 175, ısıtma yükü 45 kW olan sistemin enerji verimliliği diğer geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında %60 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır (Paksoy vd., 2004).

YKIP-İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü Binası-Ataşehir

İller Bankası AŞ İstanbul Bölge Müdürlüğü binasının ısıtma ve soğutma yükünün bir bölümünün karşılanması için YKIP sistemi uygulanmıştır (Şekil 15). Proje çalışmalarına 2013 yılında başlanmış olup, 2015 yılında



Şekil 14- Çukurova Üniversitesi-Sera-ATED sistemi şematik gösterim ve genel görünüm (Turgut vd. 2008).



Şekil 15- İller Bankası YKIP sistemi kuyu ısı değiştirici yerleşimi ve enerji kullanım oranı (Çetin ve Çetin, 2017).

işletmeye alınmıştır. Isıtma yükü 1160 kWh, soğutma yükü 1817 kWh'tir. Binanın kuzeybatısında kalan alanda toplam derinliği 3000 m olan 24 kuyu ısı değiştiricisi açılması durumunda 150 kW'lık yer enerjisi elde edilebileceği öngörülmüştür. Ancak uygulama sırasında planlanan miktarın ötesinde 207 kW'lık enerji elde edilmiştir. Sistem enerji verimliliği açısından değerlendirildiğinde Mayıs 2015 - Nisan 2016 dönemi arasında %48 oranında doğal yer enerjisi kullanılmıştır (Çetin ve Çetin, 2017).

ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

Enerjinin verimli kullanılması ve iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtların kullanılmasının azaltılması için iyi bir seçenek oluşturan enerji depolama tekniklerinin önemi giderek tüm dünyada artmaktadır. İsveç'te yaklaşık 550.000 adet uygulama mevcut olup (Gehlin, 2018), Hollanda'da ATED sayısı 2000'nin üzerine çıkmış durumdadır (Bakema ve Schoot, 2016). Türkiye'de bu konudaki gelişmelerin takip edilebilmesi ve enerji depolama konusundaki ülke kapasitesinin artırılması için Türkiye ile Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) arasında "Enerji Depolamasıyla Enerji Tasarrufu (ECES) Uygulama Antlaşması" 1995 yılında Çukurova Üniversitesi tarafından Dışişleri Bakanlığı'mızın onayıyla Türkiye adına imzalanmıştır. Anlaşmaya üye olan 18 ülke delegeleri enerji depolama konusunda çeşitli Ar-Ge faaliyetlerini "Annex" olarak adlandırılan uzmanlar gruplarında sürdürmektedir. Bu kapsamda Annex-27 "Yeraltında Isı Enerji Depolama ve Kapalı Sistem Yer Kaynaklı Isı Pompaları İçin Açılan Kuyuların Tasarım, Yapım ve İşletiminde Toplam Kalitenin Artırılması" başlığında düzenlenerek IEA ECES Yönetim Kurulu tarafından 2015 yılında başlatılmış olup 2019 da bitirilmesi hedeflenmektedir. IEA ECES Yönetim Kurulu'nda Türk delege olarak görev alan Çukurova Üniversitesi'nden Prof. Dr. Halime Paksoy'un önerisi ile Annex27 toplantılarına aktif katılım sağlanmaktadır.

Annex27 çalışmalarının önemli hedefleri arasında; kuyu ısı değiştiricilerinin tasarım aşamasından başlayarak izleme aşamasına kadar olan sürecin tekniğine uygun yapılması için bir kılavuz kitapçık oluşturulması, diğer ülkeler arasında teknoloji transferinin sağlanması ve ortak projeler geliştirilmesi

sayılabilir. Oluşturulacak kılavuz kitapçık içerisinde tasarım, inşaat, izleme, çevresel değerlendirme ve uygulamada karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerilerinin olduğu bölümler yer almakta olup çalışmalar hem uluslararası hem de ulusal düzeyde sürdürülmektedir.

DEĞERLENDİRMELER

- Sığ jeotermal sistemler sıcak suyun varlığından bağımsız olarak her yere kurulabilen, ısıtmanın yanı sıra soğutma ihtiyacının karşılandığı sistemlerdir. Konut ısıtma -soğutma ihtiyaçlarını karşılanmasının yanı sıra havalimanı - yollarda buzlanmanın giderilmesi, telekomünikasyon merkezlerinin soğutulması ve tarım gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Jeotermal enerji potansiyeli açısından önemli bir konuma sahip olan ülkemizde sığ jeotermal enerji konusunda önemli adımlar atılmakla birlikte henüz istenilen seviyeye gelememiş olup araştırılmayı beklemektedir.
- Sistemlerin enerji kaynak tarafını oluşturan kuyu ısı değiştiricilerinin tasarımı, inşaatı ve izlenmesinin tekniğine uygun olarak yapılması sistemin enerji verimliliği açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda IEA-ECES tarafından "Kuyu ısı değiştiricilerindeki toplam kalitenin artırılması amaçlı Annex27 çalışması başlatılmıştır ve Türkiye Temsilciliği Çukurova Üniversitesi tarafından yürütülmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

ASHRAE Handbook, 2016 (www.ashrae.org)

Bakema, G., Schoof, F. 2016. Country Update of The Netherland, European Geothermal Congress, Strasbourg, France.

Çetin, A., Çetin, S. 2017. İller Bankası Ataşehir Binası Yer Kaynaklı Isı Pompası Sistemi, Yerli ve Milli Enerji Isı Pompası Çalıştayı, Enerji Bakanlığı, Ankara.

Çetin, A., Kadioğlu, Y.K., Paksoy, H.Ö. 2018. Underground Thermal Heat Storage and Ground Source Heat Pump Activities in Turkey, Proceeding Book of EnerSTOCK2018, Adana.

- Designingbuilding, https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Earth_to_air_heat_exchangers, Web sitesi: erişim tarihi 19.09.2018.
- Gehlin, S. 2018. presentation IEA-ECES Annex27 meeting, Amsterdam, Netherland.
- Grc engineering, <http://grc.engineering.cf.ac.uk/research/seren/gsh/>, erişim tarihi : 19.09.2018, web sitesi.
- Hepbaşı, A., Eltez, M., Duran, H. 2001. Current Status and Future Directions of Geothermal Heat Pumps in Turkey, GHC Bulletin.
- Kabus, F., Seibt, P. 2000. Aquifer Thermal Energy Storage for the Berlin Reischstag Building- Newseat of The German Parliament, Proceedings of World Geothermal Congress, Japan
- Lund, J.W., Boyd, L. 2015. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, Proceeding World Geothermal Congress 2015, Australia.
- Paksoy, H.Ö. 1999. Underground thermal energy storage potential in Turkey, IEA ECES Annex 8 report
- Paksoy, H. O., Gürbüz, Z., Turgut, B., Dikici, D., Evliya, H. (2004). Aquifer thermal storage (ATES) for air conditioning of a supermarket in Turkey, Renewable Energy, 29, (12), pages 1991-1996.
- Sanner, B. 2001. Shallow Geothermal Energy, GHC Bulletin
- Sass, I., Brehm, D., Coldewey, W. G., Dietrich, J., Klein, R., Kellner, T., Kirschbaum, B., Lehr, C., Marek, A., Mielke, P., Müller, L., Panteleit, B., Pohl, S., Porada, J., Schiessl, S., Wedewardt, M., Wesche, D. 2016. Shallow Geothermal Systems: Recommendation on Design, Construction and Operation and Monitoring, Wilhelm Ernst & Sohn. Edited: German Geological Society e.V. (DGGV) and the German Geotechnical Society e.V. (DGGT)
- Seibt, P., Kabus, F. 2016. Aquifer Thermal Energy Storage-Projects Implemented in Germany, Web sitesi, erişim tarihi 19.09.2018 www.intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PAPERS
- Staudacher, L. 2015. Geothermal Switch Point Heating System, IEA-ECES-Annex27 Kick off meeting, ZAE Bayern, Garching, Germany.
- Turgut B., Paksoy H., Bozdağ S., Evliya H., Abak K., Dasgan H.Y. 2008. Aquifer Thermal Energy Storage Application in Greenhouse Climatization, World Renewable Energy Congress, July 19-25, Glasgow.
- Özgener, O., Özgener, L. 2010. Exergetic Assesment of EAHEs for Building Heating in Turkey: A Green house Case Study, Energy Policy 38, 5141-5150.
- World Geothermal Council, 2016. Report web sitesi erişim tarihi: Ekim, 2017. https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Geothermal_2016.pdf.