



YERALTINDA TERMAL ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ, TÜRKİYE VE DÜNYADA MEVCUT UYGULAMALAR

High Temperature Thermal Energy Storage for Solar Heat Industrial Applications

Ayşegül Çetin
Halime Paksoy

ÖZET

Fosil yakıtların neden olduğu iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilgi artmaktadır. Ülkemizde son yıllarda yapılan çalışmalar ile elektrik üretiminin önemli bir kısmı hidro, rüzgar ve güneş olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Termal enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanım oranı ise henüz istenilen oranda bulunmamaktadır. Oysa yapılaşma miktarındaki artış fosil yakıtlara dayalı olan kaynakların kullanımı dolayısı ile iklim değişikliğine neden olan sera gazlarını artırmaktadır. Konut sayısı ile beraber ısıtma ve soğutma talebi de artmaktadır. Termal enerji depolama yöntemlerinden biri olan Yeraltında Termal Enerji Depolaması uzun süreli-mevsimsel depolama olanağı sağlamaktadır. Bu yöntemler ile hem sıcak hem de soğuk termal enerji depolanabilmektedir. İklim değişikliği etkilerindeki artışlar göz önüne alındığında soğutma yüklerinin karşılanması için elektrik üretim kapasitesinin yeterliliği üzerinde düşünülmesi gereken bir konudur. Bu nedenle soğuk depolamanın yapılabildiği yeraltında termal enerji depolama yöntemleri enerji talebinin karşılanması açısından temiz ve güvenli bir seçenek oluşturmaktadır. Bu sistemler konut-bölgesel ısıtma, sera iklimlendirilmesi, yollarda ve havalimanı gibi ulaşım altyapısında buzlanmanın giderilmesi, telekomünikasyon sistemlerinin soğutulması gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Depolamada soğuk enerji kaynakları olarak ortam soğukluğu, yüzey suları, kar/buz; sıcak enerji kaynakları için ise güneş, yüzey suları, ısı pompası uygulamalarında kondansörden atılan ısı, proses atık ısı, yaz mevsimi boyunca ortam sıcaklığı kullanılmaktadır. Depolamanın yapıldığı alanın özelliklerine ve yer alan enerji kaynaklarının türüne bağlı olarak akiferde, kuyularda, boşluk-çukur ve tanklarda depolama yapılabilmektedir. Sistem tasarımı projenin yer aldığı bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklere bağlı olarak yapılmaktadır. Çok sayıda uluslararası uygulaması olan sistemler ülkemizde de önem kazanmaya başlamıştır. Bu bildiride mevcut sistemlerin tanıtımı, tasarım kriterleri ile ülkemizde ve dünyada mevcut durum ve yeni gelişmeler konusunda bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltında Isı Enerjisi Depolama, Dünya, Türkiye

ABSTRACT

There is an increasing interest in using renewable energy sources in reducing the effects of climate change caused by fossil fuels. With the studies carried out in our country in recent years, most of the electricity production is met from renewable energy sources, including hydro, wind and solar. The utilization rate of thermal energy from renewable energy sources is not yet at the desired rate. However, the increase in the amount of residential increases the greenhouse gases that cause climate change due to the use of resources based on fossil fuels. The demand for heating and cooling increases with the number of residences. Underground Thermal Energy Storage, which is one of the thermal energy storage methods, provides long-term-seasonal storage. With these methods, both hot and cold thermal energy can be stored. Considering the increase in the effects of climate change, it is an issue that should be considered on the adequacy of the electricity generation capacity to meet the cooling loads. For this reason, underground thermal energy storage methods, where cold exchange

can be made, provide a clean and safe option in terms of meeting the energy demand. These systems are used in many areas such as residential-district heating, greenhouse air conditioning, de-icing in transportation infrastructure such as roads and airports, and cooling of telecommunication systems. Ambient cold, surface waters, snow / ice as cold energy sources in storage; for hot energy sources, the sun, surface water, heat released from the condenser in heat pump applications, process waste heat, and ambient temperature during the summer season are used. Depending on the characteristics of the storage area and the type of energy resources located, storage can be made in aquifer, wells, cavity-pits and tanks. The system design is made depending on the geological and hydrogeological characteristics of the region where the project is located. Systems with many international applications have started to gain importance in our country as well. In this paper, information will be given about the introduction of existing systems, design criteria, current situation in our country and in the world and new developments.

Key Words: Underground Thermal Heat Storage, Turkey, The World

1. GİRİŞ

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı genellikle güneş rüzgar ve hidro kaynaklardan başlıca elektrik kullanımında kullanılmaktadır. Toplam kurulu elektrik enerjisi 90,7 GW' a ulaşmış olup bunun %51'i termal enerji santralleri, %31,4 hidroelektrik ve yaklaşık %16'sı ise güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütleden oluşan yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (1). Türkiye'nin konut stoğu 31,7 milyondur (2). Enerji kaynaklarının konutlarda kullanım dağılımına bakıldığında ise %49 doğal gaz, %22 elektrik ve %14 kömürün başlıca ilk üç sırada yer aldığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının konutlarda kullanımı %14 orandadır (3). Konut ısıtmasında ise %53,7 doğal gaz, %24,9 kömür, %12 odun, %8,6 elektrik, %0,4 diğer enerji kaynakları kullanılmaktadır (4). Yenilenebilir enerji olarak jeotermal enerji kullanılarak ısıtılan konut sayısı mevcut konut stoğu göz önüne alındığında sadece 116.000 (5) olarak %0,4 den daha az bir oranda kalmaktadır. Sığ jeotermal sistemlerden biri olan yeraltında termal enerji depolama sistemleri ise sıcak akışkandan bağımsız olarak her yere kurulabilen sistemlerdir.

Bu sistemler ile ısıtmanın yanısıra soğuk depolama da yapılarak soğutma taleplerinin karşılanmasında da kullanılmaktadır. Yeraltında Termal enerji depolama sistemlerinde depolama alanı olarak yer altı kullanıldığı için büyük hacimlerde mevsimsel depolama yapılabilir. Kendi içerisinde depolama sıcaklığı (yüksek-düşük sıcaklık), ısı pompası ile kullanılıp kullanılmamasına ve depolama yapılan alanın jeolojik-hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak Akiferde Termal Enerji Depolama, Kuyularda Termal Enerji Depolama ve Boşluk-Çukur ve Tanklarda Termal Enerji Depolama şeklinde üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Söz konusu sistemler konut-bölge ısıtmasından, sera iklimlendirmesi, yol-havalimanı gibi ulaşım altyapısında buzlanmanın önlenmesi ve son yıllarda sayıları giderek artan bilgi işlem merkezlerinin soğutmasına kadar bir çok alanda kullanıma sahiptir.

2. YERALTINDA TERMAL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ SINIFLANDIRMA VE TASARIM KRİTERLERİ

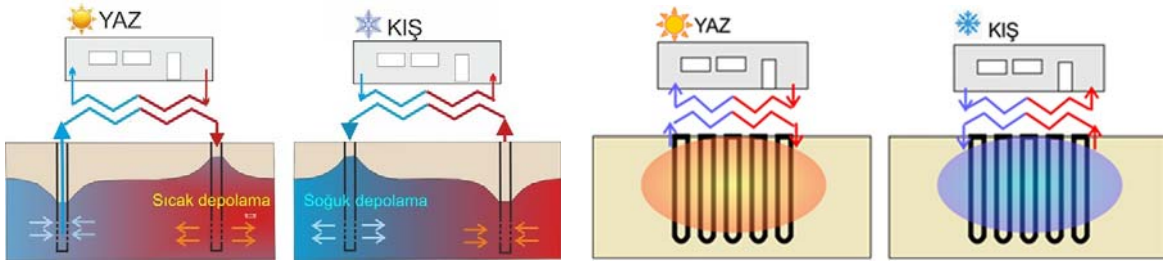
Yeraltında Termal Enerji Depolama sistemleri yeraltının sahip olduğu geniş hacim nedeniyle uzun süreli mevsimsel ısı enerjisi depolamanın yapılabildiği sistemlerdir. Depolama yapılan alanın jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine göre kendi içerisinde başlıca Akiferde Termal Enerji Depolama (ATED), Kuyularda Termal Enerji Depolama (KTED) ve Çukur-Boşluk ve Tanklarda Termal Enerji Depolama (CTED) yöntemleri olmak üzere üç ana grupta uygulanmaktadır.

2.1 Akiferde Termal Enerji Depolama (ATED)

Yeraltında bulunan su içeren ve ileten kaya ortamları akifer olarak adlandırılmaktadır. Projenin kurulacağı alanda uygun özelliklere sahip akifer ortam olması ATED yönteminin uygulanabilmesi için

ilk kriterdir. Genellikle biri sıcak diğeri soğuk depolamanın yapıldığı iki kuyu grubu açılmaktadır. Sıcak kuyu grubuna proses atık ısı, ısı pompasından, sera vb. ortam içinden atılan atık ısı veya güneş kolektörlerinden elde edilen sıcak ısı enerjisi depolanmaktadır (Şekil 1-a) Depolama sıcaklığının akifer ekolojik yapısını bozmayacak seviyede olmasına dikkat edilmelidir. Uygulamalarda uygulamanın yerel koşullarına bağlı olarak depolama sıcaklığı genellikle 40 °C'nin altındadır. Soğuk kuyu grubuna ise bu kez kışın ortam soğukluğu, kar/buz gibi soğuk sıcaklık depolanarak ihtiyaç duyulduğunda yer altından bir pompa yardımı ile çekilerek ısı değiştiricisinden geçirilerek iç ortama aktarılmaktadır. Sistem tasarımında projenin bulunduğu alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri araştırılmalıdır. Açılacak bir araştırma kuyusunda geçilen yer altı tabakalarının gözenekliliği, yeraltısuyu akım hızı, akiferin iletkenliği ve yeraltısuyu kimyasal özellikleri belirlenerek detaylı tasarım yapılmalıdır. ATED sistemi için açılacak her bir kuyuda yapılması gerekenler Paksoy ve Turgut, 2012' den (6) faydalanılarak aşağıda verilmektedir:

Açılacak kuyunun civardaki diğer binalara olan mesafesinin 7 m'den daha az olmaması, kuyu açılmadan önce yeraltında olabilecek iletim hatlarının (içmesuyu, doğalgaz, elektrik hattı vb.) belirlenmesi ve bunlara zarar verilmemesi, civarda bulunan kuyuların hangi amaçla kullanıldığının ve kapasitelerinin bilinmesi, açılacak ATED kuyu yerinin bu kuyuların etki alanının dışında seçilmesi gerekmektedir. Delme yönteminin proje alanının jeolojik özelliklerine göre belirlenmesi, sondaj sırasında geçilen yer tabakalarının detaylı tanımlanması için SP, gamma-ray ve resistivite loglarının alınması detaylı tasarım için anahtar parametrelerdir. Kuyu inşaatı sırasında filtre ve kapalı boruların doğru yerleştirildikten sonra kuyu geliştirme ve pompaj testinin en az 24 saat süreli sabit debili, gerekirse kademeli pompaj deneylerinin yapılması gerekmektedir. Kuyu başı ekipmanında sıcaklık ve su seviye sensörlerinin yerleştirilmesi sistemin enerji etkinliğinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Kuyuların enerji sistemine bağlantısında gerekli ısı değiştirici tasarımları ve ekipmanlarının doğru tasarımı ve seçimi gerekmektedir.



Şekil 1 (a) ATED b) KTED yöntemi şematik gösterim

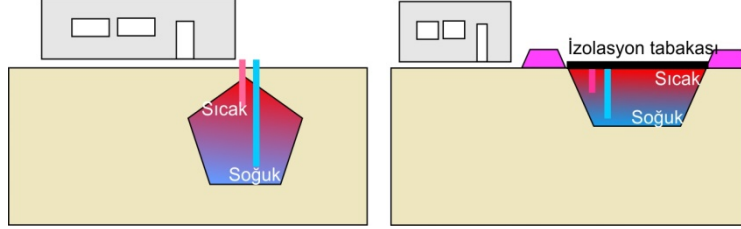
2.2. Kuyularda Termal Enerji Depolama (KTED)

Kuyularda Termal Enerji Depolama yönteminde ortam sıcak ve soğukluğu kil, kireçtaşı, granit vb. kayalardan oluşan yeraltına kuyular açılarak depolanmaktadır. KTED sisteminde açılan kuyular ATED yönteminden farklı olarak açılmaktadır. Kuyular 18-20 cm gibi dar çaplı dikey bir boşluk içine yerleştirilmiş yüksek yoğunluklu kesintisiz ve içerisinde iklim koşullarına göre seçilmiş ısı transfer akışkanı taşıyan U boruların yerleştirilmesi ve sonrasında termal iletkenliği artırılmış dolgu malzemesinin kuyu içerisine enjekte edilmesi ile oluşturulmaktadır (Şekil 1-b). Kayaç yapısı uygun olduğunda U boruya gerek olmadan açık kuyu da kullanılmaktadır. KTED sistemleri her yere kurulabilen sistemlerdir. Söz konusu sistemlerin tasarım aşamasında proje alanının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri, ısıtma-soğutma yükleri ve sahada yer altında bulunan yapılar (kanalizasyon, telefon, elektrik hatları vb.) ön fizibilite aşamasında araştırılması gerekmektedir. Ön fizibilite aşamasından sonra detaylı tasarımın yapılabilmesi için anahtar parametreler olan bozulmamış yer sıcaklığı, kuyu toplam termal iletkenliği ve kuyu direnci parametrelerinin belirlenmesi için Isıl Duyarlılık Testi (Thermal Response Test) yapılmalıdır (7).

2.3 Çukur-Boşluk ve Tanklarda Termal Enerji Depolama (CTED)

Çukur-Boşluk ve Tanklarda Termal Enerji Depolama (CTED) uygulamasında ATED ve KTED sistemlerinden farklı olarak yeraltında bulunan veya açılan boşluklara, çukurlara ya da tankların içine doldurulan suya termal enerji depolanmaktadır. Suyun sıcaklık farkından kaynaklanan yoğunluk

değişimine bağlı olarak farklı derinliklerde tabakalanmasından yararlanılmaktadır. Çukur açılarak yapılan depolama ön fizibilite aşamasında jeoteknik özellikler, yeraltısuyu seviyesi, toprak özellikleri ve harfiyat yapılacak toprak örtününün sonra üstte örtü olarak kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmesi önem taşımaktadır. Alan topoğrafyasının düz olması gerekmektedir (8). Yeraltında mevcut boşluklarda depolama yapılması durumunda yeraltındaki kırık çatlak sistemlerinin belirlenerek sızdırmazlık sağlanması ve yeraltısuyu derinliği ve akım hızı göz önüne alınması gereken parametrelerdir (Şekil 2). Çukur veya boşluklarda depolanacak suyun pH özelliklerine göre ekipman seçimi yapılması önem taşımaktadır.



Şekil 2 CTED depolama şematik gösterim

İşletilmeyen maden galerilerinde yeraltısuyunun boşluklara dolması çok karşılaşılan bir durumdur. Bu durumun bölgesel ısıtma ve soğutmada kullanılması konusunda da son yıllarda çalışmalar yapılmaktadır (8). Tasarım aşamasında maden galerisinde suyun miktarının, oluşabilecek gerilim dağılımları, enjeksiyon ve çekim kuyu yerlerinin seçilmesi, ısı değiştiricilerinin seçiminde maden galerisine depolanan suyun kimyasal özellikleri göz önüne alınmalıdır.

3. TÜRKİYE VE DÜNYADA MEVCUT DURUM

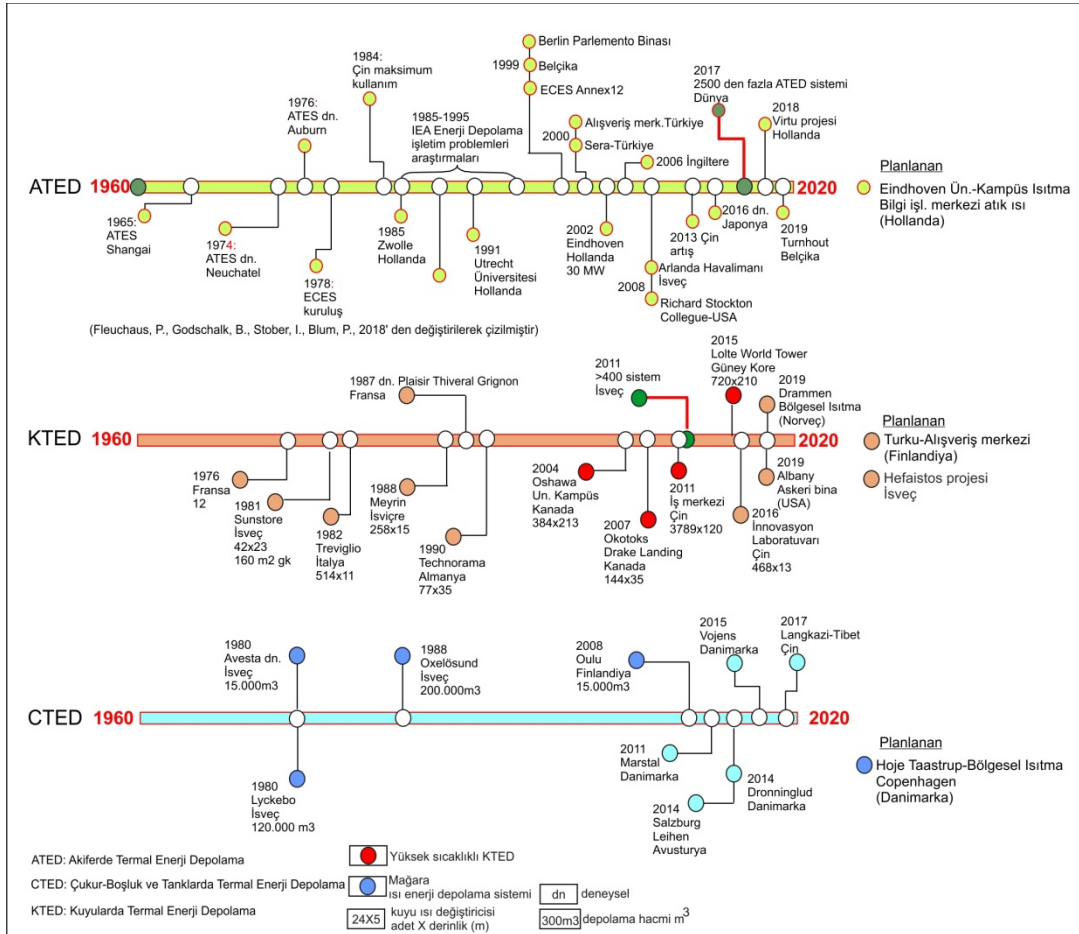
3.1. Tarihçe ve mevcut durum

Yeraltında Termal Enerji Depolama (YTED) uygulamalarının tarihçesi çok eski tarihlere kadar gitmektedir. Eski çağlarda soğuk ve saldırılardan korunmak amacıyla yeraltına kurulan şehirler ve yiyeceklerin korunması için yeraltına açılan çukurlar ısı enerjisi depolama fikri açısından ilk uygulamalar sayılmakla birlikte teknoloji anlamında ilk uygulamalar 1960'lı yıllarda başlamıştır.

Sıcak ve soğuk depolama ile ilgili teknolojik uygulamalar 1960'ların ortalarında yeraltısuyunun uzun süreli çekiminden kaynaklanan yer oturmalarını önlemek amacıyla Şanghay (Çin) 'da ortaya çıkmıştır. Oturmaların önlenmesi için yeraltına yapay yeraltısuyu beslemesi yapılarak ilk ATED uygulamaları yapılmıştır. Bunu izleyen yıllarda sanayi kullanım sayısının artması soğutma ihtiyacını artırmış, dolayısıyla ATED sistem sayısında da artışa neden olmuştur. 1984 yılına kadar 400' den fazla ATED projesi olduğu belirtilmektedir (8). Söz konusu sistemlerin aşırı ve kontrolsüz kullanımı sonucunda kuyularda ve ısı değiştiricilerinde yeraltısuyu kaynaklı çökme problemleri olmuş ve sistemler çalışamaz duruma gelmiştir. 1970' li yılların başlarındaki petrol krizi yeni enerji kaynaklarının aranmasında etkili olmuş ve Kuzey Amerika'da ATED ile ilgili ilk araştırma çalışmaları başlamıştır. ATED ile ilgili araştırma ve teknoloji geliştirme çalışmaları 1970-1980 yılları arasında devam etmiştir. Bu yıllar arasında sistemlerde birtakım sorunlar ile karşılaşmış olup, bu sorunlar başlıca kuyu ısı değiştiricilerinde çökme, korrozyon, termal etkileşim, ısıtma-soğutma yüklerinde dengesizlik ve kil minerallerinin şişmesi olarak özetlenebilir. Karşılaşılan bu sorunların giderilmesi, enerji depolama çalışmalarında araştırma ve geliştirme çalışmalarının desteklenmesi amacıyla 1985-1995 yılları arasında IEA-ECES (Uluslararası Enerji Ajansı-Enerji Depolama ile Enerji Tasarrufu Programı) programında çalışmalar başlatılmıştır. 1990 yılları sonunda ilk prototip uygulamaları ve ticari uygulama aşaması başlayarak çok sayıda uygulama projeleri yapılmıştır. Türkiye'de ATED ile ilgili ilk çalışmalar bu yıllarda başlamış ve örnek projeler hayata geçirilmiştir. ECES in başlıca amacı enerji depolama sistemlerinde araştırma ve gelişmeleri desteklemektir. Bu kapsamda yapılan araştırmalar sonucunda oluşan sorunların iyi bir ön araştırma ve uygun tasarım ile önenebileceğini göstermiştir. Düşük sıcaklıklı sistemlerin ($T < 40$ °C) fizibilitesinin kanıtlanmasından sonra düşük sıcaklıklı ATED projeleri

Hollanda ve İsveç'te başarılı olarak uygulanmıştır. Son yıllarda sözkonusu sistemlerin performansı ile bölgesel ısıtmada kullanımı konularında araştırmalar yoğunlaşmıştır (9) (Şekil 3).

İlk KTED sistemi 1976'da Fransa'nın Jura dağlarında güneş enerjisinin mevsimsel olarak depolanması için 12 kuyu kullanılarak uygulanmıştır. Sunstore adı verilen sistemde bir İsveç evinin ısıtılması için 23 m derinliğinde 42 kuyulu sistem 1981 yılında 162 m² güneş kolektörüne bağlanarak depolama yapılmıştır. 1982 yılında depolama alanından 10-40 °C sıcaklıklar elde edilmiştir. Aynı yıllarda Lulea Üniversitesi kampüsünde yüksek sıcaklıklı KTED araştırma projeleri yapılmış elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak granit kayalarında endüstriyel uygulamalardan atılan 70-82 °C ısı 120 kuyuluk Lulevarme Isı depolama uygulaması ile yeraltına depolanarak kışın 35-55 °C sıcaklık ile 1982-1989 yılları arasında kampüs binaları ısıtılmıştır. İzleyen yıllarda İtalya-Hollanda Groninge gibi bir çok ülkede KTED konut ısıtma projeleri gerçekleştirilmiştir. İsveç'te 2011 yılında yaklaşık 400' den fazla KTED sistemi olduğu belirtilmektedir. Bölgesel ısıtma ile ilgili ilk uygulama 2007 yılında The Drake Landing Solar Community-Okotoks-Kanada'da gerçekleştirilmiştir (10). Chiefeng, Çin, 500 bin m³ KTED en büyük depolama alanına sahip innovasyon laboratuvarı (11) ve Hollanda-yeni geliştirilen güneş kolektöründen elde edilen ısının ATED sistemiyle depolandığı sistemler (12) ve Fjell 2020 Drammen (Norveç) KTED, ısı pompası ve güneş kolektörleri birlikte kullanılarak okul ısıtma ihtiyacının giderildiği yeni çalışmalardır (13).



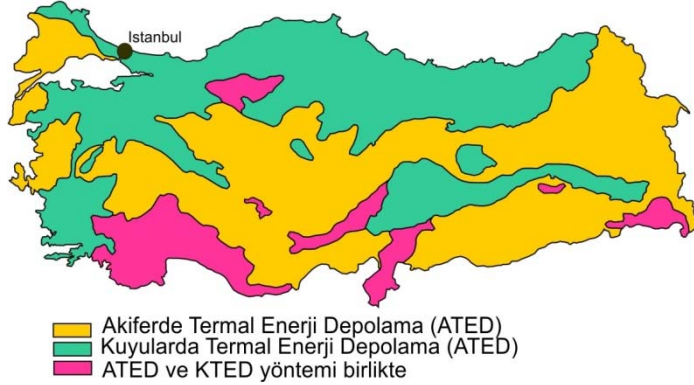
Şekil 3. ATED, KTED ve CTED sistemlerinin tarihsel gelişimi ve proje örnekleri.

Dünyada ATED ve KTED ile ilgili planlanan projeler sırasıyla: Hollanda-Eindhoven Üniversitesi'nde yer alan bilgi işlem merkezlerinden atılan ısının ATED yöntemiyle depolanarak kampüs ısıtılması ile ilgili simülasyon ve fizibilite çalışmaları (14), Helsinki (Finlandiya) kentinin altında daha önceleri petrol depolama amaçlı kullanılan üç mağaraya ısı enerjisi depolanarak bölgesel ısıtma sistemi (15) ile Finlandiya'daki yapılaşma yoğun alanlardaki yeraltı park alanlarının enerji depolama alanı

olarak kullanılarak Turku alışveriş alanının ısıtılması (16) planlanan sistemler arasında sayılabilir. Şekil 3'de tarihsel gelişimde proje örnekleri verilmiştir.

3.2 Türkiye örnek uygulamalar

Yeraltı Termal Enerji Depolama (YTED) uygulamaları Türkiye'de 2000'li yılların başında Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları olarak başlamıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (Şekil 4) kullanılarak potansiyel ATED, KTED alanları haritası hazırlanmıştır (17). Yeraltında Termal Enerji Depolama potansiyel haritasında (Şekil 4), KTED için yeşil, ATED için sarı ve pembe alan ise ATED/KTED yöntemlerinin birlikte uygulanabileceği potansiyel alanları göstermektedir. Bu harita, yeraltı yeraltı termal enerji depolama alan potansiyeli için genel bir görünüm sunmaktadır. Proje alanında uygulanacak teknolojiye karar vermeden önce, yerinde hidrojeolojik, jeolojik ve iklim özellikleri belirlenmelidir.



Şekil 4. Farklı Yeraltında Termal enerji depolama sistemlerinin potansiyel uygulama alanlarını gösterir harita (17).

Balcalı Hastanesi (Adana) ATED fizibilite çalışmasında yazın güneş enerjisinin sıcaklığı, kışın seyhan gölünün soğukluğunun ATED yöntemiyle yeraltına depolanması amaçlanmıştır. Sıcak ve soğuk depolamada altışar adet iki grup olmak üzere toplamda 12 adet kuyu kullanılmıştır. Yapılan fizibilite sonucunda 3250 MWh/yıl ve 1000 m³/yıl fuel oil tasarrufu sağlanmıştır (18).

Tarımsal açıdan önemli bir uygulama olan Çukurova Üniversitesi-Adana bölgesinde aynı özelliklere sahip iki seranın iklimlendirilmesinde ATED ve geleneksel ısıtma yöntemleri kullanılarak her iki sera birbiri ile ekonomik, ürün ve çevresel avantajları açısından incelenmiştir. Uygulamada hiç fosil yakıt kullanmadan sadece derinlikleri 80 m olan biri sıcak diğeri soğuk depolama kuyuları kullanılarak % 70 enerji tasarrufu, %20-40 oranında ürün artışı sağlanmıştır. Geri ödeme süresi 1 yıl olarak gerçekleşmiştir (19).

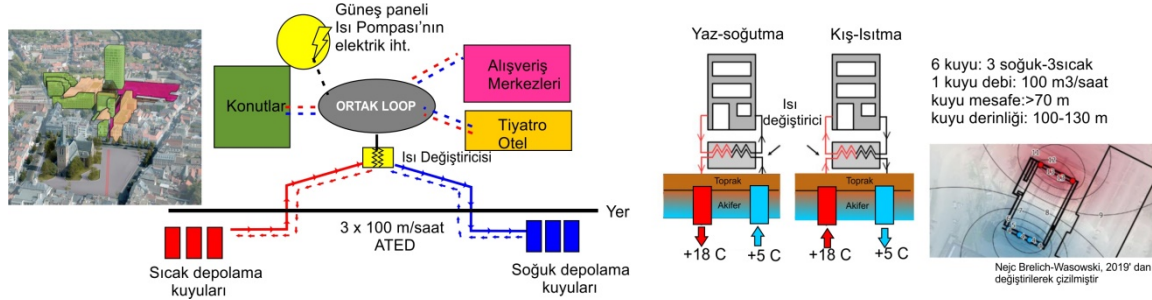
Yonca alışveriş merkezinin (Mersin) iklimlendirilmesinde ATED yöntemi kullanılmıştır. Türkiye'de ilk kez uygulanan bu yöntemde binanın pik soğutma ve ısıtma yükleri sırasıyla 195 ve 74 kW'dır. Sistemin genel amacı, akiferden gelen yeraltı suyunu HVAC sisteminin kondansatörünü soğutmak için kullanmak ve aynı zamanda bu atık ısıyı akiferde depolamaktır. 30-35 °C'de dışarıdaki yaz havasını kullanmak yerine yaklaşık 18 °C'de yeraltı suyu ile soğutma, elektrik enerjisi tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca kışın ihtiyaç duyulduğunda depolanan ısı geri kazanılabilir. ATED kullanan HVAC sistemi, Ağustos 2001'de devreye alınmış, geleneksel sistemden neredeyse %60 oranda daha yüksek 4,18 ortalama performans katsayısı (COP) elde edilmiştir (20).

3.3 Dünya örnek uygulamalar

Yeraltında Termal Enerji Depolama sistemleri bölgesel/konut ısıtma-soğutma, sera iklimlendirilmesi, ulaşım altyapısında buzlanmanın önlenmesi ve bilgi işlem merkezlerinin soğutulması gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Her bir kullanım alanına ait örnek projeler aşağıda yer almaktadır.

ATED örnek uygulama:

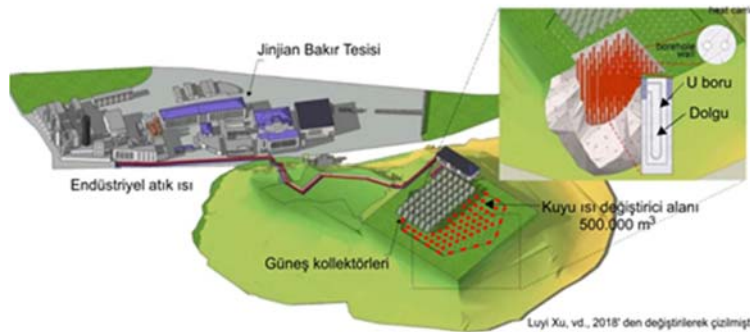
Turnhouth, Belçika projesinde toplamda 100000 m² proje alanına sahip olan konut, alışveriş merkezleri ile tiyatro-otel binalarının ısıtma soğutma yüklerini ATED yöntemi ile karşılanmıştır. Sistemde ısı pompaları sudan suya ve tek bir merkezde yer almayacak şekilde yerleştirilmiştir. Sıcak ve soğuk depolama için üçerli iki grup olmak üzere toplamda 6 kuyu açılmıştır. Akiferden bir sezon (ısıtma ya da soğutma) 300 m³/saat yeraltı suyu elde edilmiştir. Yazın iç ortamın soğutulması sırasında atılan ısı sıcak kuyu grubuna depolanarak, kışın ihtiyaç duyulduğunda kullanılarak ısı pompasının etkinliği artırılmıştır (21).



Şekil 5. Turnhouth-Belçika örnek ATED uygulaması şematik gösterim (21).

KTED örnek uygulama

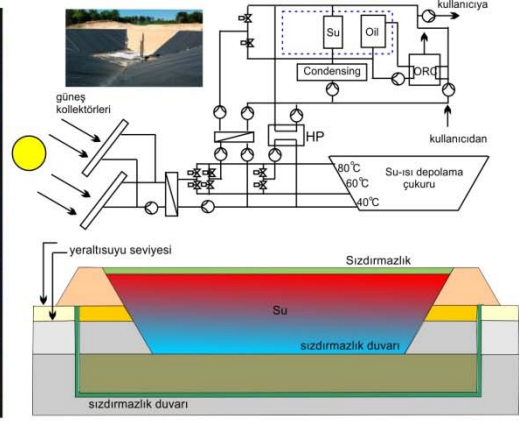
Bölgesel ısıtma kapasitesinin artırılmasını amaçlayan bu projede Chifeng (Çin) kenti yakınındaki bakır işleme tesisinden üretilen atık ısı (100 MW) ile sadece Ekim-Nisan ayları arasında ısıtılan 200.000 konutun ısıtma süresi artırılmıştır. Isıtma sezonu dışında atılan atık ısı ile güneş kolektörlerinden elde edilen ısı 80 m derinlikteki 468 kuyu ısı değiştiricisine depolanarak bölgesel ısıtma sezonu süresi artırılmıştır (Şekil 6). Güneş kolektör alanı toplamda 1002 m², depolama alanı ise 500.000 m³ tür. Güneş panelleri depolama sahasının üzerine inşa edilmiş olup yıllık ısı üretimi 0,42 GWh tir. Güneş kolektörleri ısı depolama katsayısını artırarak depolama stabilizasyonu iki yıl içinde sağlanmıştır. Fabrikadan gelen atık ısı 70 °C, güneş kolektörlerinden gelen su sıcaklığı 75 °C olup, depolama alanına ısıyı bıraktıktan sonra su sıcaklığı 50 °C ye düşerek tekrar atık ısı kazanım sistemine geri dönmektedir (22)



Şekil 6. Cifeng kenti KTED sistemi şematik görünüm (22).

CTED örnek uygulama

Vojens, Danimarka kasabasında yer alan 2000 konutun ısıtılmasını amaçlayan bu projede başlangıçta 17.000 m² olan güneş kolektörleri 70.000 m² ye çıkarılmıştır. Güneş kolektörlerinden elde edilen sıcak su 200 milyon lt hacmindeki çukurun içine depolanmıştır (Şekil 7). Çukur derinliği 13 metre, çevresi 618 metredir. Günde 50.000 lt su pompalanarak çukurun doldurulması üç ay sürmüştür.



Şekil 7. Vojens-Danimarka örnek CTED uygulaması şematik gösterim (23).

Çukur etrafında kalan birkaç metre mesafesindeki toprağın izolasyonu sağlanarak yağmur suyunun sisteme girmesi önlenmiştir. Çukurun altına yerleştirilen çift sızdırmaz alt izolasyon tabakasının üzeri su ile doldurulduktan sonra suyun üst kısmına 60 cm kalınlıkta genişletilmiş kil tabakasıyla kaplı yüzen bir üst izolasyon tabakası ile sistemin alt ve üst bölümlerinden ısı kaybı önlenmektedir. Bu proje ile yıllık 6000 ton CO₂ salınımını azaltılmıştır (23).

3.4 ATED-KTED ve CTED sistemlerinin karşılaştırılması

YTED sistemleri farklı yapım teknikleri kullanılarak uygulandığı için kendi içerisinde farklılık göstermektedir. Dolayısı ile farklı tekniklerin uygulama açısından göz önüne alınmasını gerekli kılmaktadır. ATED sistemlerinde yeraltısuyunun kullanımı söz konusudur. Bu nedenle proje alanının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ile yeraltısuyunun kullanımını sınırlayan yasal ve teknik özellikler gözönüne alınmalıdır. Akiferin hidrolik iletkenliklerin yeterince yüksek olması gerekirken yeraltı suyu akışının düşük olması ve ikinci olarak, kullanılan yeraltı suyunun mineral içeriğinin sınırlandırılması gerekir. (24). KTED sistemi ise yeraltısuyu veya jeotermal akışkanın varlığından bağımsız her yere kurulabilen yeraltının geniş hacmini kullanabilen sistemlerdir. ATED sistemlerinde etkili olan yeraltısuyu ve genel jeolojik özellik gereksinimi KTED sistemlerinde sınırlıdır ve yeraltında kaldıkları için peyzaj etkisi yoktur. KTED sistemlerinin diğer bir avantajı sistem ihtiyacına göre ek kuyu ısı değiştiricileri ile desteklenebilmektedir. ATED ve KTED sistemlerinde sondaj maliyetleri ilk yatırım maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve ülkelere göre değişmektedir. Yapılan araştırmalara göre KTED sistemlerinin özellikle bölgesel ısıtmada pik yüklerin giderilmesi ve karbon salınımının önlenmesi anlamında diğer kojenerasyon tesisleri, proses atık ısı ve güneş kolektörlerinden alınan ısı ile birlikte entegre edildiğinde daha ekonomik ve 40% oranında karbon salınımının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (25). CTED yönteminde çukurun açılacağı alanda jeoteknik özellikler göz önüne alınmalıdır, bu tür sistemler çevresinde yükseltilmiş bir toprak bölümü ile büyük bir kazıdan oluşmaktadır. Zeminin ilave su hacminden kaynaklanan yükü taşıyabilecek kadar sağlam olması gerekmektedir. Çukur açılması araziye önemli bir müdahale olduğu için ekolojik özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir.

SONUÇ

Yeraltında Termal Enerji Depolama yöntemleri iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtlar yerine temiz ve güvenilir enerji olanağı sunmaktadır. Yeraltınının doğası gereği büyük hacimli olması nedeniyle mevsimsel depolamaya elverişlidir. Dünyadaki uygulamalara bakıldığında son yıllarda sistem kurulumunda ve kullanılan enerji kaynak çeşitliliğinde artış gözlenmektedir. Enerji kaynakları güneş olduğu gibi fabrika proses ve bilgi işlem merkezleri atık ısı gibi çok değişik kaynaklar olabilmektedir.

Kullanım alanları açısından değerlendirildiğinde ülkemizde örnekleri bulunan tarımsal uygulamalardan hem enerji tasarrufu hem de ürün artışı sağlanmıştır. Tarım sektöründe jeotermal akışkandan bağımsız olarak uygulanabilen bu tür sistemlerin yaygınlaşması Türkiye açısından önem taşımaktadır.

Dünyada Yeraltında Termal Enerji depolama yöntemleri kullanılarak bölgesel ısıtmanın yapıldığı bir çok uygulamada çevresel ve enerji etkinliği açısından başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Türkiye’de ise konut sektörü enerji tüketimindeki payı yüksek oranda doğalgaza dayalı olup son yıllarda bölgesel ısıtma önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda önemli ilerlemeler elde edilmiştir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarından ısı enerjisi elde edilmesi konusunda henüz istenilen seviyeye gelinmemiştir. Bu nedenle Türkiye’nin milli enerjisi olan güneş ısısının depolanarak konut/bölgesel ısıtmada ülke yararına kullanılabilceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (erişim 22.06.2020).
- [2] <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/KonutPolitikalariOzellhtisasKomisyonuRaporu.pdf>ASHRAE, (erişim 02.02.2021).
- [3] Paksoy, H.O and Cetin, A., Annex55/34-Comfort and Climate Report, 2021
- [4] Ediger, Ş., V., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M., Kentmen-Cin, C., 2018, Turkish public for energy preferences, Energy Policy, Volume 120, pp: 492-502.
- [5] <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/CUR-30-Turkey.pdf>
- [6] Paksoy, H.O. ve Turgut, B., Akifer Termal Enerji Depolama ile Binalarda Sürdürülebilir Enerji Kullanımı, Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, 2012.
- [7] IEA-ECES-Annex27, Increasing of quality in designing, instalaltion and monitoring of borehole heat exchangers.
- [8] https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_UTES%20State%20of%20the%20Art_WP1_D1.1_Final_2019.04.26.pdf, HEATSTORE Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned, (erişim tarihi 03.02.2021)
- [9] Fleuchaus, P., Godschalk, B., Stober, I., Blum, P., Worldwide application of aquifer thermal energy storage – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 94 (2018) 861–876, 2018.
- [10] Gehlin, S., Borehole Thermal Energy Storage, Advances in Ground Source Heat Pump Systems, Elsevier, pp: 295-327, 2016.
- [11] F. Guo, X. Zhu, J. Zhang, and X. Yang, “Large-scale living laboratory of seasonal borehole thermal energy storage system for urban district heating,” Appl. Energy, vol. 264, p. 114763, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114763, 2020
- [12] <https://www.deltares.nl/app/uploads/2019/10/D1f-Dutch-pilot-Delft-new.pdf>, (erişim tarihi 03.02.2021)
- [13] <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/Abstract.php?PaperID=6840>
- [14] Dvorak V., Zavrel, V., Galdiz, T.J.I., Hensen, M., Simulation-based assessment of data center waste heat utilization using aquifer thermal energy storage of a university campus, Building, Simulation, Springer, open access, 823–836, 2020.
- [15] <https://bioenergyinternational.com/storage-logistics/project-start-for-finlands-largest-underground-heat-storage-facility> (erişim tarihi 03.02.2021)
- [16] Rauli Lautkankare R., Salomaa, N., Martinkauppi, B., Slobodenyuk, A., Underground parking lot at Turku market square - Zero energy parking hall and the biggest solar energy storage in the world, E3S Web Conferences, 172, 16008, 2020.
- [17] Paksoy, IEA-ECES-Annex 12 report
- [18] Paksoy, H.Ö, Andersson, O., Abacı, Ş., Evliya, H., Turgut, B., Heating and cooling of a hospital using solar energy coupled with seasonal thermal energy storage in an aquifer, Renewable Energy 19, 117±122, 2000.

- [19]Turgut, B., Dasgan, H.Y., Paksoy, H. Ö., Evliya, H., Bozdağ, Ş., DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.807.17, Aquifer Thermal Energy Storage Application in Greenhouse Climatization, 2009 (erişim tarihi 03.02.2021).
- [20]Paksoy, Ö.H., Gürbüz, Z., Turgut, B., Evliya, H., Aquifer thermal storage (ATES) for airconditioning of a supermarket in Turkey, Renewable Energy 29, 1991–1996, 2004.
- [21]https://www.ehpa.org/fileadmin/red/09_Events/2019_Events/HPCY_2019_webinar/20190628-HPCY-Boydens-Turnova.pdf (erişim tarihi: 04.02.2021)
- [22]Xu L., Torrens, J.I., Guo, F., Yang, X., Hensen, J.L.M, Application of large underground seasonal thermal energy storage in district heating system: A model-based energy performance assessment of a pilot system in Chifeng, Applied Thermal Engineering, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.047>, 2018.
- [23]Angelos Chatzidiakos, A., Ramboll, Medium Duration Energy in Net Zero UK, 2020, https://www.era.ac.uk/write/MediaUploads/Other%20documents/S2_05_MStorage_AC_PTES.pdf (erişim tarihi: 05.02.2021).
- [24]Schüppler, S., Fleuchaus, P., Blum, P., Techno-economic and environmental analysis of an Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) in Germany, <https://doi.org/10.1186/s40517-019-0127-6>.
- [25]Bastian Welscha, B., Göllner-Völkerb, L., Schultea, D.O., Bära, K., Sassa, I., Schebek, L., Environmental and economic assessment of borehole thermal energy storage in district heating systems, Applied Energy 216, 73-79, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Ayşegül Emine ÇETİN

1964 yılı Uluborlu-Isparta doğumludur. 1987 yılında DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümünü bitirmiştir. 2006 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrojeoloji Bölümünde Jeotermal enerji kaynakları kapsamında Yüksek Lisans, 2021 yılında Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh. Bölümünde Yeraltında Isı Enerjisi Depolama ya etki eden jeolojik faktörler konusunda doktora çalışmasını tamamlamıştır. 1990-2021 yılları arasında İller Bankası A.Ş.'da belediyelerin jeotermal enerji, hidrojeolojik ve jeoteknik etüt taleplerinin karşılanması konusunda çalışmıştır. Enerji depolama konusundaki çalışmalarını TTMD bünyesinde kurulan Enerji Depolama-Isı Pompası Komitesinde sürdürmektedir.

Halime Ömür PAKSOY

Üsküdar Amerikan Kız Koleji mezunu olan Halime Ö. Paksoy, Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini ve Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümü'nde yüksek lisans ve doktora eğitimini tamamlamıştır. 1992 yılından beri görev yaptığı Çukurova Üniversitesi'nde 1995 yılında Doçent, 2000 yılında Profesör ünvanlarını almıştır. Akademik çalışmalarının yanı sıra Rektör Yardımcısı, Dekan ve Bölüm Başkanı olarak idari görevlerde bulunmuştur. Halen Çukurova Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin Müdürlüğünü sürdürmektedir. 1995 yılında Uluslararası Enerji Ajansı'nın Enerji Depolama Teknoloji İşbirliği Programı (IEA ECES TCP) anlaşmasını ülkemizi temsilen Çukurova Üniversitesi adına imzalamış, bu tarihten itibaren yönetim kurulunda delege olarak ve iki dönem de başkan olarak görev yapmıştır. IEA ECES TCP Türkiye temsilciliğinin 2020'de TTMD'ye aktarılmasıyla yönetim kurulundaki görevine TTMD üyesi delege olarak devam etmektedir. TTMD Enerji Depolama ve Isı Pompası Komitesi'nin başkanlığını da sürdürmektedir. Termal enerji depolaması teknolojilerinin düşük karbonlu ve yenilenebilir enerjiye dayalı enerji sistemlerinin geliştirilmesi, uygulanması ve tanıtımı konularında AB (4 adet), NATO (1 adet), TÜBİTAK (8 adet) ve SANTEZ (1 adet) tarafından desteklenen projelerde yürütücü ve araştırmacı olarak yer almıştır. Sanayi işbirliğiyle Türkiye'de ilk defa beyaz eşyalarda, bina yapı malzemelerinde ve seralarda termal enerji depolama uygulamalarını gerçekleştirmiştir. 2018 yılında üç yılda bir düzenlenen enerji depolama konusundaki en önemli uluslararası toplantı olan "STOCK" konferansları serisinden EnerSTOCK2018 Kongresini "Earth Cannot Wait!" sloganıyla Çukurova Üniversitesi'nde düzenlemiştir.