

JEOTERMAL ENERJİ

Buralar ısınıyor

MARBLE FALLS VE MILFORD

Yeni teknolojilerdeki bir dalga, ihmal edilmiş bir enerji kaynağını nükleerden bile büyük bir şeye dönüştürebilir

Temiz enerjinin geleceği, Las Vegas'ın yaklaşık dört saat kuzeydoğusundaki çöl platosunda şekilleniyor. Utah eyaletinde, Milford kasabasının yakınlarındaki gösterişli kum tepelerinin arasında, her biri yer kabuğunun derinliklerine, kayaların kalıcı olarak sıcak olduğu seviyelere ulaşan yaklaşık iki düzineye yakın kuyu sıralanıyor.

Bu kuyuları açan elektrikli kulelerden birinin tepesinde duran Jack Norbeck, sert rüzgârın uğultusunu bastırmak için bağırarak zorunda kalıyor. “Burada önümüzde gördüğünüzle aynı olan on kuleyi daha kurarsak,” diyor, “yılda bir gigavatlık yeni üretim kapasitesi yaratabiliriz.” Bu, tipik bir nükleer reaktörün üretimine eşdeğer; yani bir milyon haneye yetecek kadar enerji. Norbeck, kurucu ortağı olduğu Fervo adlı şirketin, Amerika Birleşik Devletleri genelinde yarım milyon dönümden fazla jeotermal maden ruhsatı satın aldığını ve “50 gigavattan fazla potansiyel” anlamına geldiğini söylüyor.

Fervo, Google ve diğer büyük teknoloji yatırımcılarının da desteklediği, “gözde” bir jeotermal teknoloji girişimi. Uzun süre gölgede kalmış bu enerji kaynağını başlı başına bir güç merkezine dönüştürmek istiyor. Özel bir şirket olan Fervo'nun değeri yaklaşık 1,4 milyar dolar olarak hesaplanıyor. Firma, önümüzdeki yıl, Shell'in elektrik üretim birimi ve Kaliforniya'daki bir kamu hizmeti şirketiyle yaptığı 500 megavatlık anlaşmanın ilk aşaması kapsamında elektrik üretimine başlayacak. Bu, jeotermal elektrik için bugüne kadar yapılmış en büyük ticari sözleşme.

Bu gelişme, henüz emekleme aşamasında olan bir jeotermal devrimin ilk adımı olarak görülüyor. Bugün hem dünya genelinde hem de Amerika'da enerji üretiminin yüzde 1'inden azı jeotermal kaynaklardan geliyor. Oysa Princeton Üniversitesi'nden araştırmacılar, teknolojik yenilikler sayesinde, 2050 yılına gelindiğinde yaygın biçimde erişilebilir jeotermal enerjinin, ülkenin mevcut nükleer santrallerinin üretiminin neredeyse üç katına ulaşabileceğini öngörüyor (nükleer şu anda Amerika elektriğinin yaklaşık yüzde 20'sini sağlıyor). Uluslararası Enerji Ajansı'na göre ise, jeotermale yönelik kümülatif küresel yatırım 2035'e kadar 1 trilyon dolara çıkabilir; bu da 2024 yılında 1-2 milyar dolar aralığında kalan yatırımlara kıyasla devasa bir sıçrama anlamına geliyor.

Bu iyimserliği besleyen unsur, piyasa talebi ile teknolojik ivmenin birleşimi. Carnegie Endowment for International Peace adlı düşünce kuruluşundan Milo McBride, jeotermalin günün 24 saati kesintisiz temiz enerji sağlayabilmesi nedeniyle veri merkezlerinin doğası gereği sürekli olan elektrik talebiyle mükemmel örtüştüğünü belirtiyor. Bu, Google, Meta ve karbon-nötr ama “firm” (sürekli ve öngörülebilir) güç arayan diğer yapay zekâ sağlayıcılarının jeotermal yeniliklere neden bu kadar istekle destek verdiğini açıklıyor.

Jeotermalin çevresel sicili de parlak. Rüzgâr ve güneş gibi, işletme sırasında neredeyse hiç sera gazı emisyonu üretmiyor. Buna ek olarak, dünyanın derinlerindeki kayalar sürekli sıcak kaldığından, jeotermal santraller günün her saatinde istikrarlı elektrik üretebiliyor; bu yönüyle

hava durumuna bağılı olarak kesintili olan diğerk yenilenebilir kaynaklardan ayrılıyor. Dahası jeotermal enerji, doğrudan ısıtma sağlamakta ve şebeke ölçeğinde enerji depolama aracı olarak kullanılmasında da (bkz. bir sonraki yazı) giderek daha fazla gündeme geliyor.

Bugüne dek jeotermal üretim, dünya genelinde yalnızca sıcaklığın 150°C ile 300°C arasında olduğu ve geçirgen kaya çatlaklarının yüzeyden en fazla 4 kilometre kadar derinde bulunduğu görece az sayıdaki bölgeyle sınırlıydı. Şirketler dikey kuyular açıyor, yeraltından yüzeye yükselen buharı türbinlere yönlendirerek elektrik ürettiyordu. Yeni nesil jeotermal teknolojiler ise çok daha sofistike yaklaşımlar benimsiyor (bkz. grafik). Geliştirilmiş jeotermal sistemler (enhanced geothermal systems, EGS) ve kapalı devre sistemler (closed-loop systems, CLS), tipik olarak ısının bir yeraltı haznesinde “hapsolduğu” geçirimsiz kayalara ulaşmaya çalışıyor. Genellikle bu sistemler 4 km’den daha az derinliklere ve 150-200°C arasındaki sıcaklıklara ulaşıyor. Daha uzun vadede ise, 8 km ile 20 km derinliklere inmeyi ve 400°C’ye yaklaşan sıcaklıklara ulaşmayı hedefleyen “süper sıcak” jeotermal potansiyelin öne çıkacağı düşünülüyor.

Konvansiyonel jeotermal projelerin aksine, EGS projeleri kayada doğal kırıkların olmadığı bölgelerde bile yeraltı ısını kullanılabilir hale getirebiliyor Bu, 2000’li yılların başında kaya petrolü endüstrisi tarafından geliştirilen hidrolik çatlatma (“fracking”) ve çok yönlü sondaj teknikleri sayesinde mümkün oldu. Fervo’nun mühendisleri önce dikey bir kuyu açıyor, ardından da matkabı döndürüp yatay olarak ilerletiyor. İlk kuyudan birkaç yüz metre uzakta ise orijinal kuyuya paralel ikinci bir kuyu daha açıyorlar.

Kritik nokta şu ki, iki kuyu birbirine değmiyor; bunun yerine kayaç içinde yapay bir rezervuar oluşturuluyor. Su, ilk kuyudan aşağı pompalanıyor, kayaçtaki çatlaklardan geçip ısıyor ve ikinci kuyudan geri toplanıyor. Isınan su daha sonra yüzeydeki ısı değiştiriciden geçirilerek başka bir akışkanı ısıtılıyor ve bu akışkan da türbini döndürerek elektrik üretiyor.

Stanford Üniversitesi’nden Jefferson Tester ve Roland Horne’un editörlüğünü yaptığı, *Nature Reviews Clean Technology* dergisinde yayımlanan bir makale, yeni nesil jeotermal endüstrisinde kaydedilen hızlı ilerlemeyi değerlendiriyor. (Grafığe bakınız) Fervo, derin kuyu sondajlarında kaydedilen yıllık iyileşme oranının yüzde 70 olduğunu bildiriyor; bu doğrudan daha düşük sondaj maliyetlerine yansıyor. Profesör Horne’a göre EGS’lerin ürettiği elektriğin birim maliyeti, muhtemelen 2027 yılına kadar itibaren rüzgâr ve güneşle rekabet edebilir seviyeye düşecek.

CLS sistemlerinde ise en yaygın yaklaşım, iki kuyu yerine kapalı devreli bir boru döngüsü kullanmak. Sıvı, betonla kaplanmış bir boru sisteminde dolaştırılıyor; aşağı inen kolda akışkan ısınırken, diğerk koldan yüzeye geri dönüyor. Bu tasarımın avantajı, geçirimsiz kayalarda bile çalışabilmesi. Dezavantajı ise, daha fazla boru hattı gerektirmesi ve bu nedenle daha maliyetli ve karmaşık olması. Zorluklara rağmen, CLS teknolojisi üzerinde çalışan şirketler, özellikle EGS’nin uygulanamadığı bölgelerde önemli bir potansiyel görüyor.

Almanya merkezli Canada’s Eavor adlı şirket, dikey 4,5-5 km derinlikte kuyular açıp bunları yaklaşık 3 km uzunluğunda yatay tünellerle birbirine bağlayarak “yeraltı radyatörü” işlevi gören bir sistem tasarladı. Şirket Ekim ayında yaptığı duyuruda, 12 yanal kuyusunun ilk sekizinin kazılmasının 100 günden fazla sürdüğünü ve milyonlarca dolara mal olduğunu; ancak kalan dört kuyunun sondaj sürelerinin yarıya indiğini açıkladı. Eavor, bu ilk ticari tesisinden bu yıl içinde elektrik üretmeyi ve birkaç yıl içinde 8 MW’ın üzerinde elektrik ile çevredeki köyler için 64 MW bölgesel ısıtma sağlamayı umuyor.

Süper sıcak jeotermale giden basamaklar

EGS ve CLS, orta vadede jeotermal enerjiyi daha yaygın ve uygulanabilir hale getirecek. Ancak sektör çok daha büyük hedefler peşinde. Clean Air Task Force (CATF) adlı Amerikan çevre örgütünden Terra Rogers, “Süper sıcak jeotermal enerji, küresel ölçekte onlarca terawatt düzeyinde, firm(kesintisiz) güç açığını kapatabilir; karbon ayak izi diğer enerji kaynaklarından çok daha küçük olur.” diyor. Yeryüzünün yaklaşık 8 km altında, basıncın atmosfer basıncının 200 katına, sıcaklığın ise 374°C’nin üzerine çıktığı noktada su, süperkritik hâl alıyor (ne tam sıvı ne tam gaz). Süperkritik su, kayaç çatlaklarına daha kolay nüfuz ediyor ve konvansiyonel buhara kıyasla birim hacim başına beş kattan on kata kadar daha fazla enerji taşıyabiliyor. CATF’nin yaptığı modellemeye göre, Kuzey Amerika’nın kara alanının %13’ünün 2.5 km’nin altında süper sıcak jeotermal potansiyele sahip olduğunu, bunun sadece %1’inin kullanılması halinde bile toplam 7,5 terawatt enerji kapasitesi sağlayabileceğini gösteriyor.

Ne var ki İzlanda’daki önceki süper sıcak kayayı kullanmaya yönelik önceki girişimler, süper kritik akışkanların yüzeyin yalnızca 2 km ile 3 km altında bulunmasına rağmen zorluklarla karşılaştı. Yüksek sıcaklıklar ve basınçlar ile aşındırıcı kimyasallar, kuyu muhafazalarına ve sondaj araçlarına zarar verdi; sondaj ekipmanı sık sık derinlerde sıkıştı. Bu zorluklara rağmen, İzlanda ve Yeni Zelanda hükümetleri bu alandaki çabalara istekli şekilde destek vermeyi sürdürüyor.

Yeni girişimler, bu sorunları çözmek için yenilikçi sondaj teknolojileri geliştiriyor. Teksas merkezli Quaise, Austin yakınlarındaki Marble Falls kasabasında bulunan tozlu bir taş ocağında, mikrodalga tabanlı bie enerji ışıını (lazere benzer) geliştirdi; bu ışıın en sert kayaları bile delebiliyor. Şirket yakın zamanda, granit içinde 118 metre derinliğe ulaşan bir delik açmayı başardı; kayayı ilerledikçe adeta kül hâline getirdi. Bunu, petrol endüstrisi ekipmanının süper sıcak sıcaklıklarda yalnızca 0,1 metre/saat ilerleyebildiği koşullarda, saatte 5 metre gibi çok daha hızlı bir hızla başardı. Quaise, gelecek yıl bir kilometre derinliğinde bir kuyu açmayı ve konseptin büyük ölçekli uygulanabileceğini kanıtlamak için tam donanımlı sondaj sistemleri geliştirmeyi hedefliyor.

Teksas merkezli başka bir girişim olan Mazama ise Ekim ayında Oregon’daki bir pilot projeyi tamamladığını açıkladı. Mühendisleri, 330°C sıcaklığında ve 3 km derinliğinde zorlu kayalarda sondaj yaptı ve çatlakları uyardı; üstelik hiçbir ekipman kırılması ya da motor ve sensörlerde “derin kuyu arızaları” yaşanmadı. Mazama, bu sahadan gelecek yıldan itibaren 15 MW elektrik üretilebileceğini, ileride bunun 200 MW’a ölçeklenebileceğini tahmin ediyor. Profesör Horne, 330°C’nin süper kritik sıcaklığın biraz altında olsa da yine de çok sıcak olduğunu ve oldukça umut verici olduğunu belirtiyor. Son ilerlemeler, Mazama’nın süper sıcak teknolojiyi yalnızca birkaç yıl içinde Fervo’nun 2023’ta EGS ile ulaştığı seviyeye getirebileceğini düşündürüyor. “Son iki yılda çok şey değişti,” diyor. “Ve işler çok hızlı ilerliyor.”

2. Enerji depolama- Pillerden daha iyi

Jeotermal teknolojiler elektrik şebekesini daha esnek hâle getirebilir

Eğer timsahlar ve yoldan geçen yaban domuzlarıyla karşılaşmayı sorun etmiyorsanız, Amerika'nın Teksas eyaletindeki Christine kasabasının hemen dışındaki uzun, çakıllı yoldan gitmeye değer. Yol, bir anda ufukta beliren bir sondaj kulesine çıkar. San Antonio yakınlarında bulunan ve Meta'nın veri merkezlerinden birine enerji sağlamak üzere tasarlanan bu tesis, dünyanın en ilgi çekici enerji depolama projelerinden birine ev sahipliği yapıyor. Şu anda, Teksas elektrik şebekesine yaklaşık 3 MW'lık enerji depolama kapasitesi sunan tesis, gelecekte daha da büyütülmek bir pilot proje olarak inşa edilmiş durumda.

Dünya genelindeki şebeke ölçekli enerji depolama altyapısının büyük bölümü, barajların üst rezervuarlarına su pompalayan hidroelektrik santrallerine dayanıyor. Bu sistemlerde genellikle biri diğerinden daha yüksekte konumlanan iki rezervuar bulunuyor. Elektrik ucuz olduğu saatlerde su alt rezervuardan üsttekine pompalanıyor; fiyatlar yükseldiğinde ve talep arttığında ise yukarıdan aşağı bırakılarak, türbinleri döndürerek elektrik üretir. Bu tür pompalı hidro sistemler etkili olmakla birlikte pahalı, inşası zor ve çok geniş arazi gerektiren tesislerdir.

SAGE Geosystems adlı Teksas merkezli bir geliştirilmiş jeotermal sistem (EGS) girişimi, yeraltı basıncını kullanarak dev bir yeraltı depolama alanı yaratmanın zekice bir yolunu buldu. Şirketin projesinin enerji yoğunluğu, bazı pompalı hidroelektrik sistemleriyle karşılaştırılabilir- hatta, “neredeyse pompalı hidroelektrik baş aşağı çevrilmiş hali” diye açıklıyor SAGE'nin CEO'su ve Shell'in eski sondaj yöneticisi olan Cindy Taff (resimde).

Şirketin açtığı sondaj kuyularından biri yaklaşık 3 km derinlikte; ancak su, rezervuarı beslemek için yüzeyden pompalanmak yerine, daha önce oluşturulmuş bir havuzdan alınıyor ve yeraltındaki kırık zonuna enjekte ediliyor. Elektrik gerektiğinde, kuyunun üzerindeki vana açılıyor; kayaçtaki yüksek basınçlı su yüzeye doğru harekete geçiyor, türbini çeviriyor ve elektrik üretiyor.

SAGE'in iddiasına göre, bu “akciğer” diye adlandırdıkları yeraltı haznesi, lityum-iyon bataryalardan daha uzun süreli ve şebeke ölçeğinde depolama sağlayabilir. Çünkü bu sistemlerde depolama kapasitesi, suyun hacminden ziyade kayaçların elastik özellikleriyle belirleniyor. Şirketin saha donanımı, beton bloklarla sabitlenmiş vanalar ve borulardan oluşan görece mütevazı ekipmanlardan ibaret; bu da zamanla daha düşük maliyetler ve daha uzun şarj-deşarj döngüleri vaat ediyor. Yüksek enerji fiyatlarının yaşandığı dönemlerde depolanan enerjinin satılması, tam tersi durumda ise düşük maliyetle depolanması, bu tür tesisleri cazip kılabilir.

SAGE bu alandaki tek örnek değil. Diğer EGS şirketleri de jeotermal enerji depolamayı hem gösterip hem de geliştiren pilot projeler yürütüyor; ancak hiçbiri bu işi SAGE kadar hayal gücü ve kararlılıkla sürdürmüyor. Hystore adlı Avrupa merkezli bir konsorsiyum- enerji şirketleri ve araştırma kuruluşlarından oluşan bir grup-, büyük ölçekli yeraltı ısı depolaması üzerinde çalışıyor. Başka araştırmacılar ise jeotermal enerjiyi akiferlerde veya sondaj deliklerinde depolamanın yollarını inceliyor. Teksaslı öncülerin gösterdiği şey ise şu: eski bir fikri ters yüz etmek, şaşırtıcı derecede başarılı sonuçlar verebiliyor.