

JEOTERMAL ENERJİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ELEKTRİK ÜRETİMİ

Fatih KAYMAKÇIOĞLU, Tamer ÇİRKİN
Elektrik Mühendisi, Hidrojeoloji Mühendisi
Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE)
Eskişehir Yolu 7 Km Ankara
fkaymakcioglu@eie.gov.tr, tcirkin@eie.gov.tr

Özet

Jeotermal enerji kaynakları sıcaklıklarına bağlı olarak başta elektrik üretimi olmak üzere konut ısıtması, sera ısıtması, termal turizm-tedavi, endüstriyel sıcak su ve kimyasal madde eldesinde kullanılmaktadır. Ucuz ve temiz bir enerji olan jeotermal kaynakların öncelikli olarak devreye alınması, bu kaynağın bulunduğu yörelerimizin ve ülkemizin gelişiminde önemli bir faktör olarak önümüzde durmaktadır. Bu konuda mevcut kaynaklarımızı etkin ve verimli kullanmamız bir zorunluluktur.

Giriş

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlardan oluşan akışkandan elden edilen enerji olarak tanımlanabilir. Bunun yanında herhangi bir akışkan içermeden de bazı teknik yöntemlerle yeraltındaki ısıdan yararlanılması da jeotermal enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Jeotermal enerji; elektrik üretimi, ısıtma (bölgesel, konut, termal tesis, sera vb.), kimyasal madde üretimi, kurutmacılık, bitki ve kültür balıkçılığı, termal turizm vb. kullanılmaktadır. Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji kaynakları; düşük (20-70°C), orta (70-150 °C) ve yüksek (150 °C'dan yüksek) entalpili (sıcaklıklı) olmak üzere genelde üç gruba ayrılmaktadır. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında, başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiycek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayisinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO₂' den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır. Yüksek entalpili sahalardan elde edilen akışkandan elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilir. Bunun yanında orta entalpili sahalardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur.

Jeotermal enerjinin sıcaklığa göre kullanım alanları:

Sıcaklık (°C)	Kullanım Alanları
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması, elektrik üretimi.
170	Diatomitlerin kurutulması, ağır su ve hidrojen sülfid eldesi
160	Kereste kurutmacılığı, balık kurutmacılığı
150	Bayer's metodu ile alüminyum eldesi
140	Konservecilik, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması
130	Şeker endüstrisi, tuz endüstrisi,
120	Distilasyonla temiz su elde edilmesi
110	Çimento kurutmacılığı
100	Organik maddeleri kurutma, yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma (stok balık)
80	Yer ve sera ısıtmacılığı
70	Soğutma (Alt Sıcaklık Limiti)
60	Sera, ahır ve kümes ısıtmacılığı
50	Mantar yetiştirme, balneolojik hamamlar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermantasyonlar, damıtma
20	Balık çiftlikleri

Dünya'daki Durum

Jeotermal akışkandan elektrik üretimi dünyada ilk olarak 1904 yılında İtalya'da gerçekleştirilmiş ve bugün İtalya, Amerika, Japonya, Filipinler ve Yeni Zelanda başta olmak üzere 22 ülkenin jeotermal kaynaklı elektrik üretimi 8274 MWe'e ulaşmıştır.

Dünyadaki jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı (ısıtma, termal turizm, kültür balıkçılığı vb.) ise 11300 MW'tir. Dünya'da 2 Milyon konut eşdeğerinin üzerinde jeotermal ısıtma yapılmaktadır.

Jeotermal enerji üretim maliyeti, diğer enerji kaynaklarına oranla düşüktür. Bu maliyet, entegre kullanımlar söz konusu olduğunda, daha da düşmektedir. Şöyle ki 110 MWe kapasiteli bir santraldan üretilen elektriğin şebekeye satış bedeli 4 cent/kWh' dir.

Türkiye'deki Durum

Türkiye'de bilinen 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı ile jeotermal kuyu bulunmaktadır. Sıcaklığı 40°C'nin üzerinde olan jeotermal sahaların sayısı ise 170'dir. Bunların 11 tanesi yüksek sıcaklık saha olup ilk etapta konvansiyonel olarak elektrik üretimi için çalışma alanlarıdır (Aydın-Germencik [232 °C], Manisa-Salihli-Göbekli [182 °C], Çanakkale-Tuzla [174 °C], Aydın-Salavatlı [171 °C], Kütahya-Simav [162 °C], İzmir-Seferihisar [153 °C], Manisa-Salihli-Caferbey [150 °C], Aydın-Yılmazköy [142 °C], İzmir-Balçova [136 °C], İzmir-Dikili [130 °C]).

Elektrik üretimine uygun sahalarda açılan kuyularda ilk üretim verilerine göre jeotermal elektrik enerjisi potansiyeli 98,18 MWe'tir. Doğal olarak gerçek potansiyel ise rezerv çalışması tamamlandıktan sonra ortaya çıkacaktır. Ülkemizde bulunan tek jeotermal elektrik santrali Denizli-Kızıldere'de 17.8 MW kapasite ile 1984 yılında kurulmuştur. Türkiye, bu santral ile jeotermal elektrik üretiminde 19 ülke arasından 12. sıradadır.

Yerli enerji kaynaklarımızdan olan jeotermal enerjinin, ülkemizin petrol ve doğalgaza olan bağımlılığın azaltılması ve döviz kaybının önlenmesi için öncelikle değerlendirilmesi gerekmektedir. Ülke geneline baktığımızda Batı ve Kuzeybatı Anadolu'da yüksek sıcaklıklı elektrik üretimine elverişli kaynaklar, Orta ve Doğu Anadolu'da ise ısıtma amacıyla kullanıma elverişli düşük sıcaklıklı kaynaklar bulunmaktadır.

Jeotermal santralların yapım süresi diğer santrallara oranla daha kısa olup bu süre ortalama üç yıldır. Jeotermal enerjide özellikle elektrik dışı uygulamalarda yerli teknoloji kolaylıkla geliştirilebilir ve geliştirilmektedir.

Jeotermal enerjiden orta ve düşük sıcaklıklı kaynaklar ($T < 150^{\circ}\text{C}$), konutlara ve endüstriye doğrudan ısı enerjisi sağlamada kullanılabilir. Bu kaynaklar, konutları ve işyerlerini ısıtmada, seracılıkta, balık çiftliklerinde ve endüstriyel proseslerde değerlendirilebilir. Jeotermal enerjiden sağlanan ısı enerjisi, fosil yakıtlardan sağlanan ısı enerjisine göre çok daha ucuz olması bir kullanım üstünlüğüdür.

Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynakların en çok kullanıldığı alanlar; bölgesel ısıtma sistemleri, mekan ısıtması, seracılık ve su ürünü yetiştirme çiftlikleridir. Bölgesel ısıtma sistemleri, jeotermal kuyulardan elde edilen sıcak akışkanı, mekanik tesisat yardımı ile binalara, işyerlerine ve evlere ulaştırırlar. Jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri, doğalgaz sistemleri ile karşılaştırıldıklarında daha ekonomiktir.

Jeotermal enerji seracılıkta ve su ürünleri üretim çiftliklerinde yaygın olarak kullanıma da açıktır. Ülkemizde, jeotermal seracılık ilk olarak Denizli-Kızıldere'de 1985 yılında uygulanmıştır. Jeotermal sahalara yakın bölgelerde sera ısıtması, endüstriyel kullanım, kaplıca maksatlı kullanım, kimyasal madde üretimi, balık çiftlikleri vb. uygulamalar mümkündür.

Elektrik Üretimi

Hazne sıcaklığı 150 °C'den fazla olan jeotermal sahalarda konvansiyonel elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda geliştirilen ve ikili (binary) çevrim olarak adlandırılan bir sistemle, buharlaşma noktaları düşük gazlar kullanılarak $T > 80^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklıktaki akışkandan elektrik üretilebilmektedir.

Buhar ve sıvı baskın sistemlerin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için çeşitli sistemler mevcuttur. Kullanımı en kolay olan sahalar kuru buhar sahalarıdır. Kuyudan alınan buhar filtreden geçirilerek bir yoğuşturmalı türbine gönderilir. Kondensere ilave olarak doğal ya da mekanik soğutma kulesi kullanılır.

Sıvı baskın sistemler aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- Atmosferik egzozlu (back pressure) konvansiyonel buhar türbinleri:
En basit ve ilk yatırım masrafları açısından en ucuz türbinlerdir. Bu tip bir santralde, jeotermal akışkan önce seperatöre gelir. Burada sıvı ve buhar fazları ayrılır. Buhar fazı bir buhar türbinini besler ve çürük buhar direkt olarak atmosfere atılır.
- Yoğuşturmalı konvansiyonel buhar türbinleri:
Atmosferik egzoz tasarımının termodinamik olarak gelişmişidir. İki fazlı akışkan önce seperatörde sıvı ve buhar fazlarına ayrılır. Buhar, türbinden direkt atmosfere atılmak yerine çok düşük bir basınçta tutulan (yaklaşık 0.12 bar) bir kondensere atılır.
- Çift kademeli buharlaştırma:
Kuyubaşı akışkanı önce seperatöre gider, buhar ve sıvı fazlarına ayrılır. Buhar bir yüksek basınç türbinine, su ise bir buharlaştırıcıya (flaş tankı) gönderilir. Burada düşük bir basınca flaşlanan sıvının kalanı enjeksiyona, elde edilen buhar alçak basınç türbinine gönderilir. Böylece sistem verimi artırılmış olur.
- Çoklu buharlaştırma (multi-flash):
Seperatörden ayrılan sıvı ikinci bir seperatöre gönderilir, seperatör sayısı ekonomik kısıtlar çerçevesinde artırılabilir.
- İkili çevrim santralleri:
Jeotermal sahalarda en önemli artık ısı kaynağı seperatörde ayrılmış sıvıdır. Konvansiyonel buhar türbinleri sadece buhar kullandıkları için kalan büyük miktarlardaki sıvı genelde yerüstü sularına atılmakta yada yeraltına enjekte edilmektedir. Binary teknolojisi, orta sıcaklıklı kaynaklardan elektrik üretmek, termal kaynakların kullanımını arttırarak artık ısıyı geri kazanmak amacıyla geliştirilmiştir.

Binary sistemler, düşük kaynama sıcaklıklı ve düşük sıcaklıklarda yüksek buhar basıncına sahip ikincil bir çalışma akışkanı kullanırlar. Bu ikincil akışkan, konvansiyonel bir Rankine çevrimine uygun olarak çalışır. Uygun bir çalışma akışkanı ile binary sistemler, 80-170°C aralığındaki giriş sıcaklıklarında çalışabilirler.

- Hibrid fosil-jeotermal sistemler:
Bu sistemlerde jeotermal enerji, ya ön ısıtıcı olarak, ya da kızgın buhar eldesinde kullanılır.
- Toplu akış:
İki fazlı buhar/su karışımlarından doğrudan enerji elde etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu tip santrallerin ekonomisi henüz iyi belirlenmemiştir. Çünkü işletme tecrübesi 5 yıldan fazla değildir. Tek örnek Desert Peak, Nevada, ABD'ndeki 9 MW'lık iki fazlı rotary seperatörlü turbo-alternatörlü santraldir.

Ülkemizdeki jeotermal kaynakların çoğunluğu düşük-orta entalpili gruba girmektedir. Bundan ötürü, bu jeotermal sistemlerden elektrik enerjisi elde etmek için binary çevrimlerinin kullanılması esastır. Bu sistemlerden (çeşitli ORC veya Kalina) hangisinin seçileceği konusu, önce kaynağa uygunluk ve daha sonra da yapılacak ekonomik çalışmalarla belirlenecektir.

Diğer yandan, yüksek entalpili jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi elde edilmesi söz konusu olduğunda, verimi daha yüksek olan radyal içakışlı türbinlere yönelmesi kaynak kullanma verimini de arttıracaktır. Yüksek entalpili kaynakların klasik buhar çevrimleriyle değerlendirilmesi gerektiğinde, mutlaka santral optimizasyonuna gidilmesi gerekmektedir. Bu yolla yine kaynak kullanım verimi arttırılacaktır.

Jeotermal sahalarda akışkan üretimi için, eğer su seviyeleri çok düşük değilse, 130°C'a kadar yerli imalat şaftlı pompalar kullanılabilir. Ancak, su seviyelerinin üretimle çok düşmesi ve yüksek sıcaklıkların bulunması durumunda, elektrikli dalgıç pompaların kullanılmaya başlanması gerekmektedir. Bu pompaların kullanımı,

özellikle daha önce teknik nedenlerle kurulamayan binary santrallerin yaygınlaşmasına ve elektrik enerjisi elde edilen jeotermal sistemlerinin artmasına, dışardan ithal edilen enerji kaynakları yerine yerli kaynakların kullanılmasına yol açacaktır.

Çevreye Uyumlu Enerji

Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal santrallerde zararlı gaz atımı çok küçüktür (özellikle merkezi ısıtma sistemlerinde). Yeni kuşak modern jeotermal santrallerinde, yoğunlaşmayan gazları buharın içinden alıp, kullanılmış jeotermal akışkan ile birlikte yer altına veren tekrar basma (reenjeksiyon) sistemleri vardır. Bu jeotermal enerji üretim sistemlerinden dışarı hiçbir şey atılmaz.

Kömür katkılı santrallerdeki CO₂ atımı, jeotermal santrallerine göre 1600 kat daha fazladır. Bu karşılaştırmaların ışığında, jeotermal enerjinin avantajı kesin olarak görülebilmektedir.

Jeotermal enerjinin diğer enerji kaynaklarına göre avantajlı olan yönleri; yenilenebilir ve kesintisiz olması, fosil enerji kaynaklarına göre düşük maliyetli olması ve çevre kirlenmesinin yok denecek kadar az olması ile en önemlisi yerli enerji kaynağı olmasıdır.

Enerji sosyal maliyetleri göz önünde bulundurulmalı, jeotermal buharın 1.0 cent/kWh sosyal maliyetine karşılık petrol (fosil) 1.67 cent/kWh ve Kömür (fosil) 2.34 cent/kWh gelecekte bir maliyet getirecektir.

Sonuç olarak, ucuz, ekonomik ve temiz enerji sağlayan jeotermal kaynakların öncelikli olarak devreye alınması bu bölgelere ve ülkemize önemli ölçüde ekonomik ve sosyal katkı sağlayacaktır.

Jeotermal Kaynakların Değerlendirilmesi ve Projelendirilmesi

Jeotermal enerjinin aranmasında, kullanılmasında ortaya çıkan sorunların önlenmesi ve ekonomik olarak değerlendirilmesi için bilimsel ve teknik esaslar çerçevesinde inceleme ve etüt yaparak; kaynak varlığının tam olarak ortaya çıkarılması, kaynaktan daha fazla yararlanılması, kaynak israfının ve çevre kirliliğinin önlenmesi, entegre kullanımın yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Ülkemizdeki bilinçsiz uygulamalar nedeni ile reenjeksiyon yapılmaması, uzman olmayan kurum-kuruluş ve kişilerin bu alana girmesi genelde jeotermal kaynağın ve mineralli suların yanlış yorumlanıp değerlendirilmesine sebep olmuş, bazı alanlarda çevre kirlenmiş, rezervuar etkilenmiş ve bu kaynaklar zarar görmüşlerdir. Bütün bu konuların önlenmesinin ilk ve önemli aşaması, bu kaynaklarla ilgili faaliyetlerin, “konunun uzmanı olan disiplin ve kurumların” işbirliğiyle yürürlüğe konulacak uygulanabilir bir mevzuattan geçmektedir.

Jeotermal enerjiyi etkin ve verimli kullanmamız bir zorunluluktur. Jeotermal alan aramalarının planlanması, kontrol ve denetimi bir merkezden yapılmalıdır. Jeotermal sistemler doğrudan doğruya jeolojik yapıya bağlı olarak gelişen sistemlerle sınırlanırlar. Jeotermal kaynakların ekonomik olarak değerlendirilmesi ve optimum koşulların sağlanabilmesi için sahaların gerçek potansiyellerinin belirlenmesi gerekmektedir.

70 yıldır “hidrolik enerji” potansiyelini belirlemeye yönelik, akarsu havzalarında yaptığı ilk etüt, master plan, yapılabirlik ve kesin proje çalışmalarıyla halihazırda kullanımda olan %35’lik potansiyelin %85’inde emeği geçen deneyimli bir kurum olan EİE İdaresi, jeotermal kaynakların değerlendirilmesi amacıyla master plan ve fizibilite projelerini yapmayı planlamaktadır.

Jeotermal alan arama çalışmaları sırasında yapılan etüt çalışmalarından elde edilen tüm veriler ile her faaliyet döneminin denetlenmesiyle elde edilecek bilgilerin bir merkezde toplanması ülke kaynaklarının planlanması ve politikalarının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Oluşturulacak arşiv, aynı alan için yapılacak mükerrer çalışmaları önleyeceği gibi bir saha için ne tür çalışmaların yapıldığı, eksiklerin ne olduğu, başka bir çalışma yapılmasına gerek olup olmadığı gibi birçok bilgiye teknik elemanların kısa sürede ulaşarak en kısa zamanda sonuca gitmesine yardımcı olacaktır. Böylece, ülkenin kaynaklarının ekonomik değerlendirilmesi, jeotermal potansiyelden en iyi şekilde yararlanılması, emek, zaman ve paranın boşa harcanmaması açısından da büyük bir yarar sağlanacaktır.

Öneriler ya da Yapılması Gerekenler

Jeotermal enerji ile ilgili yeni gelişmeler yakından takip edilmelidir. Yeni sahaların araştırmalarına destek olunmalı, bunun yanında mevcut sahaların özellikleri ile buna bağlı kapasite ve kullanım olanakları tam olarak belirlenmelidir. Belirlenen alanlarda, projeler yapılabirlik koşullarında entegre tesisler halinde planlanmalı ve bu suretle en yüksek fayda sağlanmalıdır.

Santral seçiminde yüksek verimli buhar türbini ile verimi yüksek yeni tip binary çevrim sistemlerine öncelik verilmelidir. Isıtıcılıkta uygun teknolojinin kullanılması sağlanmalıdır.

Jeotermal enerji etkin ve verimli bir şekilde kullanılmalıdır. Bunun yanında kontrol ve denetimin, merkezi yapıda olacak şekilde bir yasal düzenlemenin yapılması gerekmektedir.

Elektrik üretimine yönelik yatırımlar teşvik edilmelidir. Doğrudan kullanımda ise belediyeler özendirilmelidir. Belediyeler, halkın yatırıma doğrudan katılmasını sağlayabilir, ayrıca belediyeler finans yönüyle desteklenmelidir.

Jeotermal enerji maliyetinin gerek elektrik üretimi ve gerekse ısıtıcılıkta alternatif kaynaklara göre oldukça düşük olması nedeniyle jeotermal kaynakların bulunduğu yörelerde öncelikli enerji kaynağı olarak devreye alınması, bu yörelere ve ülkemize önemli ölçüde ekonomik ve sosyal katkı sağlayacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjinin fosil yakıtların yerine kullanılması sera etkisi yapan gaz emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Jeotermal akışkanın içinde bulunan minerallerin toprağa ve yeraltı sularına zarar vermemesi ve rezervuarın yeniden beslenmesini sağlamak için reenjeksiyon uygulaması mutlaka yapılmalıdır. Böylece çevrenin daha etkin bir şekilde korunması sağlanmış olacaktır.

Jeotermal enerji politikası oluşturulmalı ve jeotermal kullanım teşvik edilmelidir. Yapılacak yatırımlar, mümkün olduğunca jeotermal enerjinin kullanılacağı entegre tesisler şeklinde planlanmalıdır.

Türkiye’de tek olan Denizli-Kızıldere jeotermal santralının güç ve üretim değerleri ile yapılan üretim kuyusu testleri ve reenjeksiyon çalışmalarının örnek olarak çok iyi incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Kızıldere sahasında santral kapasitesinin tam olarak kullanılması için gereken önlemler alınmalıdır. Bu santralın, bundan sonra kurulacak santrallere örnek olması için son teknoloji kullanılmalıdır. Sahanın potansiyeli tam olarak belirlenmeli ve buna uygun olarak santralın kapasitesi artırılmalı, geliştirilecek projelerin yapılabirlik koşullarında entegre kullanım amaçlı olmasına özen gösterilmelidir.

Teşekkür: Çalışmamıza katkılarından dolayı EÜAŞ Kızıldere Jeotermal Santral İşletme Müdürü Sayın Nebi TÜRKMEN’e teşekkür ederiz.

Yararlanılan Kaynaklar

- 1-Genel Enerji Kaynakları, Dünya Enerji Türk Milli Komitesi, Aralık 2004, Ankara.
- 2-Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik ÖİK Raporu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu.
- 3-Jeotermal Enerji Teknolojisinde Yeni Gelişmeler, Umran SERPEN, Jeotermal Enerji Semineri.
- 4-Renewable Energy, International Energy Agency, 2004.
- 5-Jeotermal Enerjinin Doğası, Abdurrahman SATMAN, Jeotermal Eğitim Kursu.
- 6-EİE’nin Jeotermal Enerji Üzerinde Yaptığı Çalışmalar.