

Enerji hedefli geleneksel olmayan jeotermal sistemlerin (UGS) uygulandığı sahalarda yaşanan önemli teknik sorunlar

Aydın ÇİÇEK¹

Öz

Ülkemiz, geleneksel jeotermal enerji kaynakları hususunda dünyada sayılı ülkeler arasına girmektedir. Günümüze kadar geleneksel jeotermal enerji kaynakları üzerine gerek özel sektör gerekse kamu kurum/kuruluşları tarafından birçok çalışma yapılmıştır. Ne yazık ki, günümüze kadar geleneksel olmayan jeotermal sistemler (UGS) hususunda nerede ise hiç çalışma yapılmamıştır. Ciddi UGS potansiyelinin olduğu ülkemizde yakın zamanda birçok projenin yapılması öngörülmektedir. Böylesi projeler geleneksel jeotermal sistemlerden birçok yönü ile ayrılmaktadır. Bu nedenle, UGS projelerinin güçlü ve zayıf yönlerinin iyice anlaşılması gerekmektedir. Fakat Türkçe dilinde yazılmış UGS projelerinde yaşanan teknik sorunlara yoğunlaşmış bir kaynak bulunamamıştır. Çalışma kapsamında, UGS projelerinde yaşanan önemli bazı teknik sorunlar ele alınmıştır. Bu sorunlar kısaca; dolaşım akışkanı kayıpları, düşey yer değiştirmeler, yapay depremler, kabuklaşma ve kısa devre akışkan dolaşımıdır. Kısmen de olsa UGS hususunda bilincin oluşması adına bu sorunlar kısaca tartışılacaktır.

Giriş

Dünyada olduğu gibi ülkemiz de birincil enerji ihtiyacının önemli bir kısmını sorunlu fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Son yıllarda fosil yakıtlara bağlı artan kaygılar daha az sorunlu rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerjiye olan ilgiyi arttırmıştır. Bu ilgi ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi ve kullanımının artmasına neden olmuştur. Söz konusu artış içerisinde jeotermal enerjinin yeri oldukça önemlidir. Ne yazık ki, geleneksel jeotermal enerji kaynaklarının kullanımında Kasım 2019 tarihi itibari ile Dünya’da 4. sırada yer alan ülkemizde, henüz geleneksel olmayan jeotermal enerji kaynaklarının kullanılabilmesine yönelik uygulanmış nerede ise hiç çalışma bulunmamaktadır. Geleneksel jeotermal enerji potansiyeli 4.500 MWe (0-3 km) olarak hesaplanmıştır (Mertoğlu vd., 2019). Daha büyük potansiyele sahip olduğu düşünülen UGS konusunda çalışmalar henüz hak ettiği ilgiyi görmemiştir. Bunun en büyük nedeni, son 50 yılda onlarca projenin yapıldığı UGS hususunda birçok ekonomik, sosyal

ve teknik sorunun yaşanmış olmasıdır. Yaşanan sorunlar UGS’den enerji üretiminin istenen düzeylere ulaşmasına engel olmaktadır. Bu yazı kapsamında, ülkemiz için de önem arz eden elektrik enerjisi hedefli UGS projelerinde günümüze kadar yaşanmış önemli bazı teknik sorunlar tartışılacaktır.

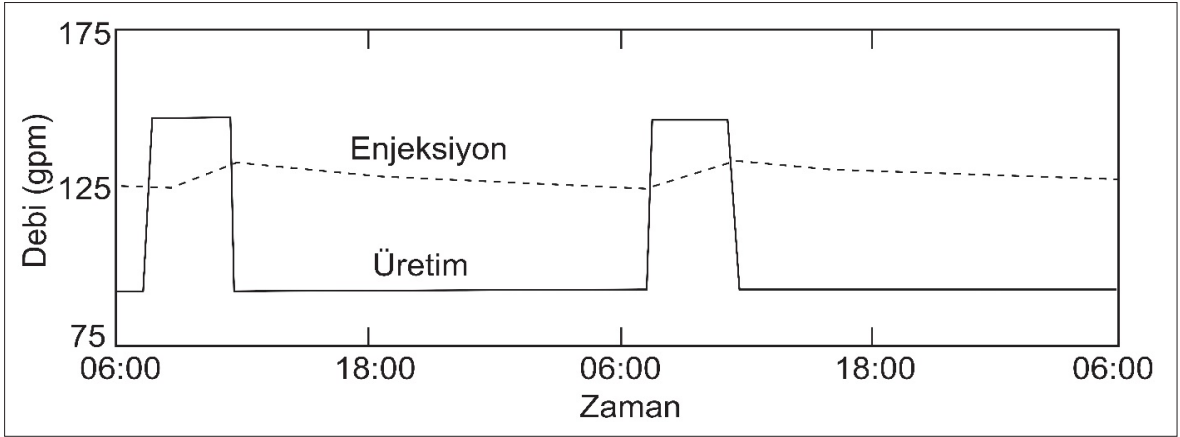
UGS projelerinde yaşanan önemli sorunlar

1970’li yılların ilk yarısında ortaya çıkan UGS projelerinde son yıllarda artış gözlenmiştir. Fakat uygulama aşamasında yaşanan sorunlar UGS projelerinin ekonomik düzeye gelmesine ve daha da yaygınlaşmasına engel olmaktadır. Burada yaşanan sorunlardan sadece önemli olanları tartışılacaktır. Bu sorunlar kısaca (1) Dolaşım akışkanı kayıpları, (2) düşey yer değiştirme, (3) yapay depremler, (4) kabuklaşma, (5) kısa devre akışkan dolaşımı şeklindedir.

Günümüz teknolojisi ile yer içindeki ısı enerjisini kazanmanın en kolay yolu yer içinde bir şekilde uygun termodinamik özelliklere haiz akışkan(lar)ı dolaştırmaktır. Geleneksel olmayan jeotermal sistemler (UGS) olarak bilinen bu tür çalışmalarda düşük ısı enerjisine sahip yer altına basılan akışkan hedef zon boyunca ısı kazanmaktadır. Hareket yolu boyunca akışkanla yüzeye taşınan enerji yüzeyde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Fakat bazı UGS projelerinde dolaşım akışkanının bir kısmı sistem içerisinde kayba uğramaktadır. Bu kayıp “*dolaşım akışkan kaybı*” olarak adlandırılmaktadır. Sistem içinde kayba uğrayan akışkan hem yüksek miktarda yedek suya (make up water) ihtiyaç duymakta hem de sistemin daha hızlı soğumasına neden olmaktadır (Şekil 1). Bu nedenle, bazı projelerin sürdürülebilirliğine zarar vermektedir. Özellikle açık devre UGS tasarımlarının kullanıldığı projelerde üzerinde durulması gereken bir husustur. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Bazı projelerde sistem içerisinde kullanılan dolaşım akışkanı kaçak oranları ~ %82’lere ulaşabilmektedir (Ellsworth vd., 2019). Sistem içi akışkan kayıpları çoğunlukla sistem içinde çıplak zonlar boyunca meydana gelmesine karşın bazı durumlarda muhafazalı zonlar boyunca akışkan sızması ile de meydana gelebilmektedir (Heimlich vd., 2015). Yüzeye yakın seviyelerde meydana gelen sızıntılarla gelişen ek hacim düşey yönde yüzey deformasyonlarına sebep olabilmektedir (Heimlich vd., 2015) (Şekil 2). Bu sorun kısaca “*düşey yer değiştirme*” olarak anılmaktadır. Ekonomik anlamda elektrik enerjisinin

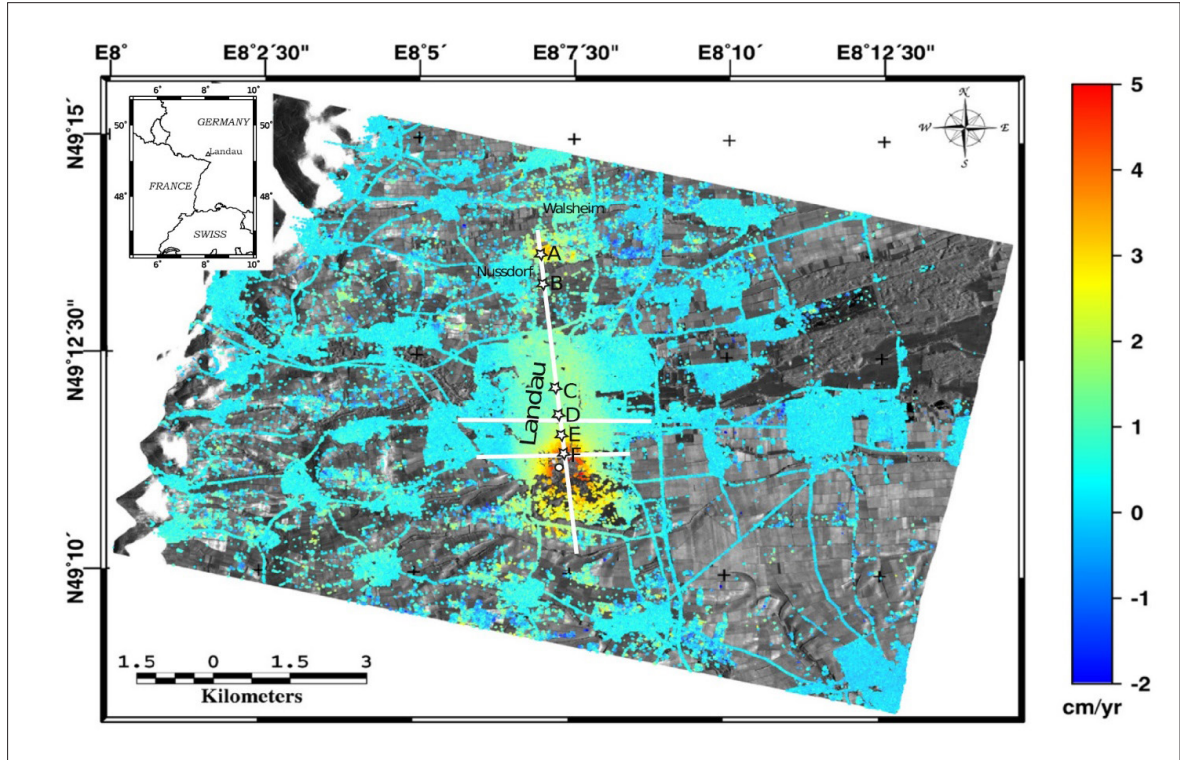
¹ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.



Şekil 1- Fentonhill (New Mexico-ABD) UGS projesinde gözlenen zamana bağlı basılan akışkan (enjeksiyon) debisi ile üretilen akışkan debisi arasındaki ilişkiyi gösterir grafik (Dunchan ve Brown, 2002'den alınmıştır).

üretildiği Landau (Almanya) UGS projesinde rapor edilen düşey yöndeki yer değiştirme miktarları 16 cm/yıl düzeylerine ulaşmıştır (Heimlich vd., 2015). Böylesine büyüklüklere ulaşan yer değiştirmelerinin uzun vadede başka sorunlara da yol açabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle özellikle sığ zonlar boyunca meydana gelen kaçak miktarlarının ciddiye alınması ve izlenmesi (monitoring) gerekmektedir.

UGS projelerinde yaşanan diğer önemli bir sorun ise “yapay depremler” dir. Yapay depremler genellikle çatlatma işlemi veya kuyu testleri sırasında meydana gelmektedir. Yer stresleri, kayaların mekanik özellikleri, jeolojik ortam sıcaklıkları, enjeksiyon basınçları gibi birçok sebebi bulunmaktadır. Genellikle yapay kırıkların oluşması veya mevcut kırıkların büyümesi sırasında oluşmaktadır. Yapay depremler genellikle olumsuz etkileri ile ön planda olmasına karşın kontrol edildiği takdirde UGS projeleri için



Şekil 2- 8 Temmuz 2013-9 Nisan 2014 tarihleri arasında Landau UGS sahası ve yakın civarında PS-InSAR ile ölçülen yer yükselme-alçalma oranları (Heimlich, vd., 2015' ten alınmıştır). Haritadaki beyaz yuvarlak jeotermal elektrik üretim santralinin yerini göstermektedir.

önemli faydalar sağlamaktadır. Basılan akışkanın yer altında hareket yollarının tahmin edilmesi, rezervuarın gelişim yönlerinin planlanması, açılması planlanan diğer kuyu yerleri ve derinliklerinin belirlenmesi, oluşturulan rezervuar hacminin ve yüzey alanının hesaplanması bunlardan sadece bir kaçıdır. Kontrol altında tutulamadığı durumlarda projelerin askıya alınması veya sonlandırılmasına neden olabilmektedir. Basel (İsviçre) ve Pohang (Güney Kore) projeleri en bilinen örneklerdir (Ellsworth vd., 2019). 2017 yılında Pohang UGS projesinde kuyu geliştirme çalışmaları sırasında 5,5 Mw büyüklüğüne ulaşan depremler kaydedilmiştir (Ellsworth vd., 2019). Bu büyüklükteki depremler yerel halk tarafından hissedilmiş ve tepkilere neden olmuştur. Gelen tepkiler ve yaşananlar üzerine bu proje askıya alınmıştır. Daha küçük depremlerin meydana geldiği Basel (İsviçre) projesi için de benzer durumlar yaşanmış ve proje askıya alınmıştır. Fakat bu çalışmalar dikkate alınarak yeni birçok yöntem geliştirilerek bu sorunlar rahatlıkla yönetilebilir hale gelmiştir. Dolayısı ile gerekli bilimsel çalışmalar ile bu sorunlar çözülebilmektedir. Ülkemizde gelecekte yapılacak UGS projelerinde üzerinde önemle durulması gereken bir husustur. Önemli ölçüde UGS potansiyeli içeren Alaşehir grabeninde 28.03.1969 tarihinde yaşanan $M_s=6,5$ büyüklüğündeki Manisa depremi (<https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=76>), Kütahya-Gediz ilçesinde 28.03.1970 yılında meydana gelen $M_s=7,2$ büyüklüğündeki Gediz depremi (<https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=20>) ve 1899 yılında Büyük Menderes grabeni boyunca meydana gelen ve binden fazla vatandaşımızın hayatına mâl olan 9 şiddetindeki Aydın-Denizli depremi (Atar, 2013) için ciddiyetini açıkça gözler önüne sermektedir. Uygun bilimsel çalışmalar ile kontrol altına alınabilen bu sorunların ülkemizdeki projelerde de yaşanmaması için gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir.

UGS sistemlerinde dolaştırılan akışkan, hareket ettiği ortam boyunca fiziksel ve kimyasal etkileşim içerisinde. Özellikle açık devre UGS sistemlerinde çevre kayalar ile dolaşım akışkanı arasındaki kimyasal etkileşim kaçınılmazdır. Hibrit sistemlerde henüz böyle bir örnek bulunamamış olmasına karşın daha az oranda beklenmektedir. Kapalı devre sistemlerde ise kayaç-akışkan etkileşimi beklenmediği için böyle bir durum söz konusu değildir. Bu tür etkileşimin gözlemlendiği sistemlerde çevre kayalardan kazanılan bileşenler akış yolu boyunca sıcaklık, basınç, doygunluk indeksi, Eh, pH gibi nedenlerden dolayı tekrardan çökelebilmektedir. Genel itibari ile “kabuklaşma” olarak bilinen bu süreçler UGS projelerinin etkinliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Kabuklaşma sorunu, bir UGS

sistemindeki yüzey dolaşım hatları, sondaj kuyuları ve ısı kazanılan doğal veya hidrolik çatlaklar boyunca gözlenebilmektedir. Hemen hemen her UGS projesinde az veya çok görülmektedir. Almanya-Fransa ana ortaklığında yürütülen Soultz Souz Foréts (Fransa) UGS sahasında yaşanan kabuklaşma sorunları önemli örnekler arasındadır. Bu sahada barit ($BaSO_4$), sölestin ($SrSO_4$), galen (PbS) gibi kabuklaşma ürünlerinde zenginleşebilen ^{226}Ra ve ^{210}Pb gibi radyoaktif bileşenler gözlenmiştir (Cuent vd., 2015). Proje kapsamında Kasım 2010 yılında yapılan radyoaktivite ölçümlerine göre anlık maksimum temas dozu $17,50 \mu Sv/saat$ ($\sim 153,3 mSv/yıl$), ortalama temas dozu ise $2,23 \mu Sv/saat$ ($\sim 19,54 mSv/yıl$) değerlerine ulaşmıştır (Cuent vd., 2015). Projenin yapıldığı Fransa’da çalışanlara izin verilen yıllık maksimum temas dozu değeri $1 mSv$ ’dir. Ülkemizde ise bu değer 23999 no.lu “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği” ne göre halk için $1 mSv/yıl$, çalışanlar için $20 mSv/yıl$ ’dır. Bu değerler dikkate alındığında sorunun boyutu daha iyi anlaşılmaktadır. UGS projelerinde radyoaktivite sorunu yanı sıra radyoaktif olmayan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), demir oksit gibi kabuklaşma sorunları da yaşanabilmektedir. Kabuklaşma süreci doğal sistem içerisinde de gelişebilmektedir. Fakat zaman zaman kimyasal kuyu geliştirme çalışmalarında da ortaya çıkabilmektedir. Dolayısı ile genellikle radyoaktif elemanlarca zengin plütonik veya volkanik kayaların hedef alındığı açık devre veya hibrit UGS tasarımlarının olduğu projelerde dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca uranyum, toryum ve ilişkili radyoaktif elementlerin zenginleştiği kumtaşları da önem arz etmektedir. Dolayısı ile bu sorun zaman zaman sedimanter kayalar için de önemli olabilmektedir. Bu tür çalışmalara başlamadan önce spektral gamma-ray loglarının dikkatle incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. UGS projelerinin her aşamada bu tür muhtemel sorunlar için gerekli öngörücü ve önleyici çalışmaların yapılması gerekmektedir.

UGS sistemlerinde, dolaşım akışkanının temas yüzey alanı ve çevre kayalarla etkileşim süresi arttıkça enerji kazanım miktarı da artmaktadır. Etkileşim süresi, dolaşım akışkanının hızına ve izlediği yola bağlıdır. UGS projelerinde sistem içinde dolaştırılan akışkanın mümkün olduğunca çok sayıda yüzey boyunca ilerlemesi istenmektedir. Çünkü bu durum izlenen toplam yüzey alanını ve ısı değişim süresini arttırmaktadır. Fakat bazı durumlarda akışkan rezervuar içinde bazı büyük boyutlu zonlar boyunca kanalize olabilmekte ve daha kısa bir yol izleyebilmektedir. UGS projelerinde bu sorun genellikle “kısa devre akışkan dolaşımı” olarak bilinmektedir. Daha çok açık devre UGS tasarımlarında

beklenen bir durumdur. Bunun yanında, hibrit tasarımlarda az da olsa gözlenme ihtimali vardır. Bu sorun, kapalı devre UGS sistemlerinde muhafazalı zonlar boyunca meydana gelebilecek sızıntı gibi nadir yaşanan durumlarda yaşanabileceği öngörülmektedir. Bu tür sorunlar dolaşım akışkanının istenen sıcaklıklara ulaşamamasına neden olabilmektedir. Buna bağlı olarak UGS projelerinin ekonomikliği olumsuz yönde etkilenmektedir. Kısa devre akışkan dolaşımının önüne geçebilmek için günümüzde çalışmalar devam etmektedir. UGS projeleri tasarlanırken ve uygulanırken üzerinde önemle durulması gereken bir sorundur. Bu nedenle çalışma alanındaki kırık/çatlak sistemleri, güncel yer stresleri, kayaçların mekanik özellikleri gibi parametrelerin belirlenmesi gerekir. Bunun için çalışma alanı ve yakın civarında detay yapısal jeolojik çalışmaların; açılan sondajlarda FMI, FMS, XRMI, OTV, UBI, BHTV gibi kuyu içi jeofizik görüntü loglarının (image logs) ve hassas sayısal hesapların yapılabildiği geleneksel kuyu log alım çalışmalarının muhakkak yapılması gerekmektedir. Ayrıca, UGS projelerinde kuyu testlerinden üretilen veriler de çok önemlidir. Bu tür çalışmalar özellikle açık devre ve hibrit UGS sistemlerinde hayati önem taşımaktadır.

Sonuçlar ve Öneriler

Ciddi potansiyelin olduğu ülkemizde, UGS hususundaki çalışmalar henüz istenen seviyelere ulaşmamıştır. Fakat yakın zamanda uygulanacağı düşünülen bu tür projelere başlamadan önce veya proje sırasında yaşanması muhtemel sorunların bilinmesi hayati önem arz etmektedir. Bunun için;

1. Ülkemizde özel sektör, devlet ve üniversitelerin de içinde yer aldığı UGS projelerinde yaşanan sorunların da ele alındığı geniş katılımlı eğitim programlarının düzenlenmesi gerekmektedir.
2. Simav, Alaşehir (Gediz) ve Büyük Menderes grabenleri gibi yüksek UGS potansiyelinin olduğu alanlarda zaman zaman >7,0 büyüklüğünde depremlerin varlığı bilinmektedir. Bu sorunlar uygun bilimsel öncel çalışmalar ile rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Dolayısıyla UGS proje alanları seçilirken bu risklerin muhakkak dikkate alınması gerekmektedir. Dolayısıyla hedef alanlar seçilirken muhtemel alanların deprem potansiyelinin muhakkak ortaya konması gerekmektedir.
3. UGS projelerinde yaşanan bazı teknik sorunların sosyal çevreye de olumsuz etkileri olabilmektedir. Dolayısıyla hem jeotermal hususundaki olumsuz algıyı kırmak hem de gelecekte yaşanması

muhtemel teknik sorunların sosyal sorunlara dönüşmesini önlemek için gelişmiş ülkelerde olduğu gibi UGS hususunda sosyal projelerin yapılması gerekmektedir.

4. Ciddi potansiyelin olduğu UGS projeleri teknik ve ekonomik anlamda geleneksel jeotermal projelerden çok daha yüksek riske sahiptir. Dolayısıyla bu projelerin çok iyi planlanması, hazırlanması ve sistematik olarak hassas bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Projelere başlanmadan önce teknik ve sosyal sorunların önüne geçmek amacı ile özel sektör temsilcileri, ilgili sivil toplum kuruluşları, üniversiteler ve ilgili devlet kurum/kuruluşlarının da olduğu geniş katılımlı bir UGS eylem planının hazırlanması gerekmektedir.

Katkı Belirtme

Bu makalenin hazırlanması sırasında gerekli literatürün derlenmesinde katkı koyan Mehmet Vekli ve Fatih Özçilî'ye teşekkür ederim.

Değinen Belgeler

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=76>, 30 Kasım 2019.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=20>, 30 Kasım 2019.
- Atar, Z. 2013. Fotoğraflarla 1899 Aydın-Denizli depremi. Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi, 13, 27, 5-32.
- Cuenot, N., Scheiber, J., Moeckes, W., Genter, A. 2015. Evolution of the natural radioactivity on the Soultz-sous-Forêt EGS power plant and implication for radiation protection. Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- Duchane, D., Brown, D. 2002. Hot Dry Rock (HDR) geothermal energy research and development at Fenton Hill, New Mexico, GHC Bulletin, 13-19.
- Heimlich, C., Gourmelen, N., Masson, F., Schmittbuhl, J., Kim, S-W, Azzola, J. 2015. Uplift around the geothermal power plant of Landau (Germany) as observed by InSAR monitoring. Geothermal Energy, 2, DOI 10.1186/s40517-014-0024-y.
- Mertoğlu, O., Şimşek, Ş., Başarır, N., Paksoy, H. 2019. Geothermal energy use, country update for Turkey. Proceedings European Geothermal Congress, Den Haag, The Netherlands, 11-14 June 2019, 10.

Ellsworth, W. L., Giardini, D., Townend, J., Ge, S., Shimamoto, T. 2019. Triggering of the Pohang, Korea, earthquake (Mw 5,5) by enhanced

geothermal system stimulation. Seismological Research Letters, 90, 5, 1844-1858.

