



JEOTERMAL ENERJİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ



**Adnan Menderes Üniversitesi Rektörlüğü
Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları**

Yayın No: 1

**AYDIN
Nisan 2015**

Adnan Menderes Üniversitesi Jeotermal Enerji Araştırma Ve Uygulama Merkezi
(ADÜTEM), Aytepe Mevkii, AYDIN 09010, adutem@adu.edu.tr

ÖNSÖZ

‘Yer altındaki güneş’ olarak da bilinen jeotermal enerji önde gelen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır ve bu yerli kaynak gerekli hassasiyet gösterildiği takdirde dünyada en çevre dostu enerji türlerinden biri olarak bilinmektedir.

Ülkemizde jeotermal enerjiden elektrik üretim kurulu gücü 2014 yılı sonu itibarıyla 405 MW olmuştur ve üretim kapasitesinin birkaç yıl gibi kısa bir sürede 1000 MW’a ulaşması beklenmektedir. O zaman jeotermal enerji, Türkiye’nin doğal gaz ithalatının her yıl 500 milyon dolar azalmasını sağlayacak ve bu miktarda doğal gazın yakılmasının sebep olacağı hava kirliliğinin önlenmesine sebep olacaktır.

Jeotermal üretim kapasitesinin hızla gerçekleştiriliyor olması sonucu jeotermal enerji kaynaklarıyla zengin Büyük Menderes Grabenin yer aldığı Aydın İli ve civarındaki kuyu sondajları, tesis kurulumu, yeni yollar, tarlalardan ve bahçelerden geçen boru hatları, kuyu başı ünitelerinden ve soğutma kulelerinden göklere doğru yükselen buharlar gibi jeotermal merkezli tüm faaliyetler, çevrenin korunması yönündeki hassasiyetin ve tedirginliklerin artmasına yol açmaktadır.

Ulaşım araçları kullanımından elektrik enerjisi üretimine kadar insanların hayatını kolaylaştıran ve konforunu arttıran enerji kullanımı ile ilgili faaliyetler çevrede az veya çok olumsuz bir iz bırakmaktadır. Bu olumsuz etkinin asgari seviyede tutulması için standartlar ve sıkı düzenlemeler geliştirilmiş ve denetim mekanizmaları devreye sokulmuştur. Objektif ölçüm ve analizlere dayalı olarak tüm dünyada genel kabul gören görüş, jeotermal enerjinin çevre etkisi açısından en temiz enerji kaynaklarından biri olduğudur. Ülkemizde düzenli ölçümlere ve objektif verilere dayalı olarak jeotermal enerjinin çevreye olan etkilerini irdeleyen araştırma raporları ve çalışmaları yetersizdir ve bu durum jeotermal enerjinin çevre etkilerinin bilgiye dayalı objektif bir resminin çekilmesini zorlaştırmaktadır. Ancak çevre bilinci yüksek ülkelerdeki bu tür çalışmalar ve raporlar bize de ışık tutar mahiyettedir.

ABD Enerji Bakanlığı Jeotermal Teknoloji Ofisi (U.S. Department of Energy, Geothermal Technologies Office) koordinatörlüğünde geniş katılımlı uzman ekipler tarafından hazırlanan ve periyodik olarak güncellenen yayınlar ve raporlar, jeotermal enerjinin çevre etkileri ile ilgili en otoriter ve objektif kaynaklar arasında yer almaktadır. Bu kitapçık, “Geliştirilmiş Jeotermal Sistemler” (Enhanced Geothermal Systems, EGS) adlı böyle bir yayının “Çevresel Etkiler, Özellikler ve Fizibilite Ölçütleri” adlı 8. Bölümün tamamının Türkçe’ye çevrilmesiyle oluşturulmuştur. Orijinal kaynağa https://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/egs_chapter_8.pdf linkinden ulaşılabilir. Objektif bilgi ve birikime dayalı bu kitapçığın jeotermal enerji hakkında doğru bilgilenmeye katkı yapmasını ve bir referans oluşturmasını diliyoruz.

Adnan Menderes Üniversitesi
Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi

İÇİNDEKİLER

1. Jeotermal Çevresel Etki Yaklaşımı ve Kapsam.....	1
2. Jeotermal Gelişim Kaynaklı Olası Çevresel Etkiler	3
2.1 Gaz emisyonları.....	3
2.2 Su kirliliği.....	4
2.3 Katı emisyonları	4
2.4 Gürültü kirliliği.....	5
2.5 Arazi kullanımı.....	5
2.6 Arazi çökmesi.....	7
2.7 Sismik Tetikleme.....	7
2.8 Heyelan Tetiklenmesi.....	8
2.9 Su kullanımı	9
2.10 Doğal hidrotermal oluşumlara müdahale	10
2.11 Doğal yaşam habitatına ve bitki örtüsüne müdahale	10
2.12 Katastrofik olaylar.....	13
2.13 Termal kirlilik.....	13
3. EGS Elektrik Santrallerinin Çevresel Özellikleri	14
3.1 İşletme esnasında sıfır sera gazı	14
3.2 Düşük arazi kullanımı.....	14
3.3 Karbondioksit kullanılabilirliği	14
3.4 Düşük çevresel etki.....	15
4. Proje Fizibilitesi için Çevresel Ölçütler.....	15
5. Sonuçlar.....	16
Kaynaklar	17

1. Jeotermal Çevresel Etki Yaklaşımı ve Kapsam

Amerika Birleşik Devletlerinde tüm enerji projelerinin çevresel etkileri, birçok düzenlemeye tabidir. Jeotermal gelişim projelerinin gerçekleştirilmesinde aşağıdaki tüm yasalar ve tüzükler rol oynamaktadır (Kagel ve diğ., 2005):

- Temiz Hava Yasası
- Ulusal Çevre Politikası Yasası
- Ulusal Kirletici Deşarj Tasfiye Sistemi İzin Programı
- Güvenilir İçme Suyu Yasası
- Kaynakları Koruma ve Kurtarma Yasası
- Zehirli Madde Kontrolü Yasası
- Gürültü Kontrol Yasası
- Nesli Tükenmekte Olan Türler Yasası
- Arkeolojik Kaynakları Koruma Yasası
- Tehlikeli Atık ve Madde Tüzüğü
- İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası
- Kızılderili İnanç Özgürlüğü Yasası.

Bu denli geniş kapsamda düzenlemelere uyulması gerektiği için, Amerika Birleşik Devletlerinde jeotermal enerji tesislerinin çevresel tehdit oluşturması beklenmemektedir.

Geleneksel hidrotermal enerji üretiminin potansiyel çevresel etkileri büyük ölçüde bilinmektedir. Kuru buhar, flaş buhar ve ikili çevrim jeotermal enerji santrallerinin çeşitli potansiyel çevresel etkileri ile ilgili makaleler ve raporlar bulunmaktadır. Gerçekleştirilen tüm çalışmalardan, jeotermal tesislerin emisyon değerlerinin ve diğer çevresel etkilerinin, diğer elektrik üretim yöntemlerine göre çarpıcı biçimde düşük olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki kaynaklar bu konu ile ilgili detaylı incelemelere yer veren birçok çalışma arasında yer almaktadır: Armstead, 1983; Armstead and Tester, 1987; Burnham et al., 1993; DiPippo, 1991a; DiPippo, 1991b; Kagel et al., 2005; Mock et al., 1997; Pasqualetti, 1980; and Tester et al., 2005.

Mevcut yüzlerce jeotermal enerji üretim tesisinden edinilen deneyimler ve öğrenilen dersler, gelecekte kurulacak olan Geliştirilmiş Jeotermal Sistemlerin (EGS – Enhanced Geothermal System) benzer veya daha düşük çevresel etkilere sahip olmasını sağlayacaktır.

Bu raporda elektrik üretim sistemlerine odaklanılmıştır. Jeotermal enerjinin diğer bir kullanım alanı ise, toprak kaynaklı ısı pompaları ile binalarda ortam ısıtması ve soğutması yapılmasıdır (Bkz. Bölüm 7.3). Bu gibi sistemler, genellikle binanın yapımı esnasında tesis edilmeleri ve kullandıkları yeraltı eşanjörünün çoğunlukla yer altı don seviyesinin oldukça altına gömülmesi nedeniyle sınırlı çevresel etkiye sahiptirler. Bu çalışma kapsamında olmadığı için, jeotermal ısı pompalarına ilerleyen bölümlerde değinilmemiştir.

Jeotermal enerji gelişiminin çeşitli olası çevresel etkileri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

- Gaz emisyonları
- Su kirliliği
- Katı emisyonları
- Arazi kullanımı
- Arazi çökmesi
- Sismik tetikleme
- Heyelan tetiklenmesi
- Su kullanımı
- Doğal hidrotermal oluşumlara müdahale
- Doğal yaşam habitatına ve bitki örtüsüne müdahale
- Doğal manzaranın bozulması
- Katastrofik olaylar.

Yukarıdaki uzun listeye rağmen, mevcut ve yakın gelecekte kullanılacak jeotermal enerji teknolojileri, konvansiyonel fosil yakıtlı santrallere ve nükleer enerji santrallerine kıyasla çok daha düşük çevresel etkiye sebebiyet vermektedir. Örneğin, santralin doğrudan jeotermal enerji kaynağının üzerinde tesis edilmesi nedeniyle:

- Enerji kaynağının (yakıtın) ayrıca madenler ile çıkarılmasına gerek kalmamakta ve böylece dünya yüzeyine müdahalede bulunulmamaktadır.
- Yakıtın işlenmesi ve uzun mesafelere nakliyesinde harcanacak ek enerji maliyetleri ve ek çevresel etkiler oluşmamaktadır.

Ayrıca jeotermal enerji dönüşüm ekipmanlarının nispeten daha kompakt olması, sistemin kapladığı alanın daha küçük olmasını sağlamaktadır. Jeotermal enerji tesislerinde, atmosfere azot oksit veya partikül madde salınımı olmaması yanı sıra, radyoaktif atık madde bertaraf ihtiyacı da bulunmamaktadır.

Ancak, EGS'de dâhil olmak üzere, jeotermal enerjinin, gelecekte çevresel açıdan daha güvenilir ve sürdürülebilir hale getirilmesi amacıyla, göz önünde bulundurulması gereken bazı çevresel etkiler bulunmaktadır. Jeotermal enerji tesis gelişimlerine ait önemli potansiyel çevresel etkilerinin birçoğu, çatlaklı rezervuarlara su enjeksiyonu ve su alımı sonucunda oluşan, yeraltı su kullanımı ve kirliliği, arazi çökmesi ve sismik tetikleme ile ilgilidir. Ayrıca hava kirliliği, gürültü kirliliği, güvenlik ve arazi kullanımı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonraki bölümde, çevre sorunlarına kapsamlı bir bakış, hidrotermal tesisler ile ilgili deneyimler, jeotermal uygulamaların alternatif sistemler ile karşılaştırmaları ve EGS uygulamalarının etki değerlendirmeleri yer almaktadır.

2. Jeotermal Gelişim Kaynaklı Olası Çevresel Etkiler

2.1 Gaz emisyonları

Gaz emisyonları, enerji santrallerine gelen buhar akımı içinde taşınan yoğuşmayan gazların (NCGs – noncondensable gases) deşarjı sonucunda gerçekleşmektedir. Hidrotermal tesislerde en yaygın bulunan yoğuşmayan gazlar, karbon dioksit (CO₂) ve hidrojen sülfür (H₂S) olsa da, düşük konsantrasyonlarda metan, hidrojen, sülfür dioksit ve amonyak da gözlemlenmektedir. H₂S çürük yumurta kokusuna sahiptir ve 30 ppm konsantrasyonda tespit edilebilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde bitki ve insan yaşamını etkileyebilecek olumsuz etkilerin önlenmesi amacı ile , H₂S emisyonu ile ilgili Çevre Koruma Ajansı (EPA – Environmental Protection Agency) tarafından oluşturulan katı düzenlemeler bulunmaktadır. EGS tesislerinde, çözülmüş gaz miktarının, hidrotermal sıvılarda olduğundan daha düşük olması beklenmektedir. Böylece, etkiler daha düşük olacak ve hatta aktif arıtıma ve denetime ihtiyaç kalmayacaktır. Buna rağmen bu çalışmada bütünsellik açısından, hidrotermal tesislerdeki gaz emisyonlarının idaresi için günümüzde karşılaşılan durumlar incelenmiştir.

Emisyonlar proses tasarımı aşamasında değerlendirilmektedir. Buhar ve flaş tesislerinde, yoğuşturucuda basınç birikmesini ve bu nedenle meydana gelen güç kaybını engellemek amacı ile, sıvıda bulunan doğal oluşumlu yoğuşmayan gazlar uzaklaştırılmalıdır. Salınan yoğuşmayan gazlardan H₂S'in bertaraf edilmesi için kimyasal arıtma ve/veya yıkama yapılabilir, veya yoğuşmayan gazlar rekompresyon uygulandıktan sonra enerji tesisinden çıkan sıvı ile birlikte yer altına enjekte edilebilir. Bu iki çözüm de enerji gerektirdiği için, tesisin idamesi için gereken enerji artmakta ve tesis çıkış gücü ve verimliliği düşmektedir. İkili çevrim santralleri ısıyı, kaynak akımdan, ikincil aracı akışkan akım sistemi kullanarak aldığı için bu sorun önlenmektedir. Kaynak akım hiç bir yoğuşmayan gaz açığa çıkmadan reenjekte edilmektedir.

Birçok ticari H₂S arındırma prosesi arasından yapılacak seçim, yeraltı sıvısında bulunan kirleticilerin miktarlarına ve santral sahasında belirlenen gaz emisyon standartlarına dayanmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, Kyoto Protokolünün imzalanmaması nedeni ile, CO₂ salınımı ile ilgili uyulması gereken bir standart bulunmamaktadır. Yine de, birim enerji için salınan CO₂, buhar ve flaş jeotermal santrallerde fosil yakıtlı enerji santrallerine göre oldukça düşükken, ikili çevrim santrallerde hiç salınım meydana gelmemektedir. Buhar ve flaş jeotermal tesislerde gaz deşarjı içinde bulunan düzenlenmiş kirletici konsantrasyonları (NO_x, SO₂) son derece düşüktür. Tablo 1'de tipik jeotermal santrallerin diğer enerji santralleri ile karşılaştırması görülmektedir (Kagel ve diğ., 2005).

Veriler, jeotermal santrallerin çevre tehdidinin, diğer konvansiyonel santrallere göre çok daha düşük olduğunu göstermektedir. Gayzerlerden çıkan NO_x'in H₂S'yi azaltmak için uygulanan yanma prosesinden kaynaklandığı unutulmamalıdır. Birçok jeotermal H₂S azaltmak için tutuşturma işlemi uygulamamaktadır ve böylece hiç NO_x salınımı gerçekleşmemektedir.

Tablo 1 Çeşitli enerji santrallerine ait gaz emisyonları.

Santral tipi	CO ₂ kg/MWh	SO ₂ kg/MWh	NO _x kg/MWh	Partikül kg/MWh
Kömür yakıtlı	994	4,71	1,955	1,012
Akaryakıtlı	758	5,44	1,814	Bilgi yok
Gaz yakıtlı	550	0.0998	1,343	0,0635
Hidrotermal – flaş buharlı, sıvı hakim	27,2	0,1588	0	0
Hidrotermal – Gayzer kuru buhar sahası	40,3	0,000098	0,000458	Göz ardı edilebilir
Hidrotermal – kapalı-döngü ikili	0	0	0	Göz ardı edilebilir
EPA ortalaması, tüm ABD santralleri	631,6	2,734	1,343	Bilgi yok

2.2 Su kirliliği

Kuyu sondajı, deşarjı ve üretim aşamasındaki sıvı akımları, özellikle yüksek sıcaklıktaki rezervuarlarda (>230°C), çeşitli çözülmüş mineraller içerebilmektedir. Çözünmüş bulunan katıların miktarı sıcaklık ile birlikte önemli derecede artış göstermektedir. Bazı çözülmüş mineraller (ör., bor ve arsenik) yerüstü veya yeraltı sınırlarını zehirleyebilmekte ve yerel bitki örtüsüne zarar verebilmektedir. Sıkı akımları yüzeysel akış yoluyla veya kuyu kaplamasındaki çatlaklardan ortama karışabilmektedir. Yüzeysel akış, akışkanı geçirimsiz biriktirme havuzlarına yönlendirilerek ve tüm atık su yeraltının derinliklerine enjekte edilerek kontrol altına alınabilmektedir. Sığ tatlı su akiferlerini sıvı sızmasına karşı korumak için, komşu oluşum ile ek bariyer teşkil etmesi amacı ile kuyu kaplamaları çok katlı tasarlanmaktadır. Buna rağmen, kaplama hatalarından kaynaklanabilecek sızıntıların hızlı bir şekilde tespiti ve onarımı için, kuyuların sondaj ve takip eden işlemlerde devamlı olarak gözlenmesi oldukça önemlidir.

Prensip, EGS faaliyetleri kaplama kusurları nedeniyle aynı yeraltı kontaminasyon olasılığına sahiptir, ancak santral işletme aşamasında tüm sıvı reenjekte edildiğinden yüzeysel kontaminasyon olasılığı düşüktür. Kuşkusuz ki, yüzey boru hattında meydana gelecek katastrofik bir arıza izolasyon vanaları devreye girene ve etkilenen boru hattı kapatılana kadar kısıtlı bir bölgenin kontaminasyonuna yol açabilir.

2.3 Katı emisyonları

Pratikte yerüstü tesislerinin veya her saniye akan jeotermal akışkandan salınan katı atıklardan etkilenen çevre arazinin kontamine olma imkânı bulunmamaktadır. Tek olası durum, bir kaza neden ile sıvı arıtma veya mineral geri kazanım sisteminde şiddetli yıkımsal bir hasar meydana gelmesi ile ayrıştırılan katıların etrafa saçılması olabilir. Hiçbir jeotermal tesiste işler durumda olan bu tür bir mineral geri kazanım tesisi bulunmamaktadır (Güney Kaliforniya Salton Denizi yakınında kısa süreli olarak pilot tesis ile deneme yapılmıştır) ve herhangi bir EGS tesisinde bu tür bir tesisin

olması öngörülmemektedir. Ancak, zehirli olabilen ve kontrollü atık bertarafına tabi olan ve jeotermal rezervuardaki yolları tıkayabilen katı atıkları ortadan kaldırmak için gerekli olan kimyasal iyileştirme gerektiren EGS çevrimdeki akışkan için önlemlerin alınması zorunludur.

2.4 Gürültü kirliliği

Jeotermal işlemlerden kaynaklanan gürültü, birçok endüstriyel aktivite ile benzerdir (DiPippo, 1991a). Tesis sınırlarında oluşabilen yaklaşık ortalama 80 ila 115 desibel (dBA) aralığında değişen en yüksek gürültü seviyelerine kuyu sondajı, tahrik (stimülasyon) ve test aşamalarında ulaşılmaktadır. Bir jeotermal enerji santralinin normal işletme esnasında gürültü seviyesi, 900 m mesafede 71 ila 93 desibel aralığındadır (DiPippo, 2005). Gürültü seviyeleri mesafe artışı ile hızlı bir şekilde düştüğü için, eğer tesis geniş bir jeotermal rezervuar alanı içinde yerleşmiş ise, tesis sınırındaki gürültü kabul edilebilir düzeyde olacaktır. Gerektiği takdirde, ek maliyet ile, gürültü seviyeleri ek susturucular veya diğer ses yalıtım yöntemleri kullanılarak daha da düşürülebilmektedir. Karşılaştırmak gerekirse, kalabalık kent bölgeleri genel olarak 70-85 desibel, ana yol çevresindeki bölgeler 90 desibel civarında gürültü seviyesine ulaşmaktadır. Bir jet uçağı hemen kalkış sonrasında yaklaşık 120 ila 130 desibel seviyesinde gürültü oluşturmaktadır.

Normal işletme esnasında, trafo, elektrik santrali ve soğutma kulesi olmak üzere üç ana gürültü kaynağı bulunmaktadır. Soğutma kulesi, nispeten büyük bir yapı olduğu ve tepesinde yer alan fanlar gürültü oluşturduğu için, rutin işletme esnasında birincil gürültü kaynağı olabilir. Hava soğutmalı yoğunlaştırıcılarda her birinde fan olan çok sayıda fan hücreleri bulunmaktadır. Bu nedenle daha küçük olan ve çok daha az sayıda fan hücreleri bulunan su soğutma kulelerine göre gürültü açısından daha kötüdürler.

EGS santraller suyun az bulunduğu bölgelerde olabileceği ve bu nedenle hava soğutmasına ihtiyaç duyulabileceği için, hava soğutmalı yoğunlaştırıcılardan kaynaklanan sesin azaltılabilmesi için gerekli özenin gösterilmesi gerekecektir.

2.5 Arazi kullanımı

Jeotermal akışkanın özellikleri ve atık akışının deşarjı için elde olan seçenekler araziye özel olduğu için, hidrotermal enerji santrallerinin arazide kapladıkları alan araziye göre değişiklik göstermektedir. Uzun iletim hatları basınç ve sıcaklık kaybına neden olduğu için, enerji santralleri genellikle jeotermal rezervuara yakın tesis edilmektedir. Kuyu alanları genellikle 5 ile 10 km² genişliğinde büyük bir alan kaplasa da, kuyu başları bu alanın yaklaşık %2'sini kaplamaktadır. Toplam kuyu ağzı alanını asgari düzeye düşürmek amacıyla, yönlü sondaj teknikleri sayesinde tek bir kuyubaşı ünitesinde birden fazla kuyu açılabilir.

Boru hatlarının toplanması genellikle ayaklar üzerine oturtulduğundan, arazinin çoğu tarım arazisi, otlak veya diğer uygun amaçlar için kullanılabilir (Şekil 1). Enerji santrali, soğutma kuleleri, yardımcı binalar ve trafo merkezinin kapladığı alan kıyasla daha küçüktür. Sondaj ve kuyu deşarjı esnasında geçici deşarj için kullanılan biriktirme havuzları oldukça büyük olabilmektedir, ancak toplam kuyu alanının küçük bir bölümünü oluşturmaktadır.



Şekil 1 Miravelles jeotermal enerji santrali tipik boru hattı, Costa Rica (Fotoğraf: R. DiPippo)

DiPippo (1991b)'den alınan verilere göre, tipik flaş ve ikili santrallerin arazi kullanımı açısından, kömürlü elektrik santralleri ve solar fotovoltaik (PV) elektrik santralleri ile karşılaştırması Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2 Tipik elektrik üretim teknolojilerinin arazi ihtiyacı açısından karşılaştırılması.

Teknoloji	Arazi kullanımı m²/MW	Arazi kullanımı m²/GWh
110 MW jeotermal flash santral (kuyular hariç)	1.260	160
20 MW jeotermal ikili santral (kuyular hariç)	1.415	170
49 MW jeotermal FC-RC santral ⁽¹⁾ (kuyular hariç)	2.290	290
56 MW jeotermal flaş santral (kuyular ⁽²⁾ , borular, vd. dahil)	7.460	900
2.258 MW kömürlü santral (açık maden işletmesi dahil)	40.000	5.700
670 MW nükleer santral (yalnızca santral sahası)	10.000	1.200
47 MW (ort.) solar termal santral (Mojave Çölü, Kaliforniya)	28.000	3.200
10 MW (ort.) solar PV santral ⁽³⁾ (Güneybatı ABD)	66.000	7.500

(1) Kaliforniya Salton Denizinde bulunan Tipik Flaş-Kristalizatör/Reaktör-Arıtma santrali.

(2) Kuyular yönlü sondaj ile birkaç kuyubaşı ünitesi açılmıştır.

(3) Kentsel bölgede çatı üstü panelleri kullanılması gibi durumlarda, yeni arazi ihtiyacı olmayacaktır.

Bu veriler her teknoloji için gerçekçi kapasite faktörlerini içermektedir. Güneş enerjisi santrallerde tanımlı değerler yerine ortalama güç çıkış değerleri verilmiştir. Jeotermal flaş veya ikili santrallere göre, MW başına, solar-termal santraller yaklaşık 20 kat, solar fotovoltaik santraller (ABD'deki en iyi ışınım bölgesinde) yaklaşık 50 kat daha

fazla araziye ihtiyaç duymaktadır. Bu oranlar MWh başına da benzer değere sahiptir. Flaş veya ikili santrallere göre kömürlü santraller ise, hem MW hem de MWh başına, 30 yıl sürecek açık maden kazısı ile beraber, 30-35 kat daha fazla araziye ihtiyaç duymaktadır. Nükleer santraller ise flaş veya ikili santralin yaklaşık yedi katı arazi işgal etmektedir. Yüksek tuz oranına sahip tuzlu su kullanan jeotermal santraller için ise, tuzlu suyun işlenmesinde kullanılan büyük tanklar nedeniyle, normal flaş veya ikili santrallere göre yaklaşık %75 daha fazla arazi gerekmektedir.

EGS santrallerin çevrim yapan akışkanın daha zararsız kimyasal yapısı nedeni ile konvansiyonel jeotermal flaş ve ikili santrallere benzeyeceği düşünülmektedir. Arazi kullanımını hakkında daha detaylı irdeleme için Bölüm 8.2.11'e bakınız.

2.6 Arazi çökmesi

Jeotermal akışkanın üretim değerlerinin beslenme değerlerinden çok büyük olması durumunda, konsolidasyon meydana gelebilmekte ve bu nedenle yüzey kotu düşerek yüzey çökmesi meydana gelmektedir. Bu durum jeotermal enerji tarihinde, reenjeksiyonun yapılmadığı, Yeni Zelanda Wairakei sahasında gözlenmiştir. Arazinin bir bölümünde çökme yılda 0,45 m değerlerine kadar ulaşmıştır (Allis, 1990). Wareikei'de sedimanter havzada sığ kuyular kullanılmıştır. Bu durum, bırakılan boşlukların yüzeyde çökmeye sebebiyet verdiği, sığ derinliklerde yapılan madencilik aktivitelerine oldukça benzemektedir. Bu deneyimden sonra, diğer jeotermal oluşumları, riski önlemek amacıyla, etkin planlanmış rezervuar işletme çalışmalarını benimsemiştir.

Birçok EGS jeotermal oluşumunun, granitik kayaç oluşumların içinde olması muhtemeldir. Bu derinliklerdeki oluşumlarda yerel gerilme rejimi altında su dolu yarıklar bulunabilir. Jeotermal kuyu açıldıktan sonra, mevcut yarıkların (eklemlerin) açılması ve pürüzlü yüzeyleri sayesinde açık kalması için, kuyuya yüksek basınçlı su pompalayarak rezervuar tahrik edilir. Rezervuar sürekli olarak basınç altında tutulduğu ve oluşum içindeki sıvı miktarının sabit tutulması gerektiği için, çökmeye sebebiyet veren olası mekanizma bulunmamakta ve bu nedenle EGS sistemlerde çökme etkisi beklenmemektedir.

2.7 Sismik Tetikleme

Normal hidrotermal sistemler, atık sıvının enjeksiyonu yüksek basınç gerektirmediğinden sismik tetikleme gibi bir sorun teşkil etmemektedir. Ancak birçok EGS rezervuarında durum böyle olmayacağından bu konuya dikkat edilmesi gerekmektedir. Sismik tetikleme dünya çapında araştırmacılar tarafından etkin biçimde araştırılmakta ve değerlendirilmektedir. Son yıllarda mevcut sonuçların tartışılması amacı ile yıllık çalıştaylar gerçekleştirilmektedir (Bkz. örn., Majer ve Baria, 2006).

Yarıkların açılması işlemi, kesme gerilmesi nedeniyle kayma şeklinde veya çekme gerilmesi nedeniyle uzama şeklinde gerçekleşebilir. Her iki durumda da bu işlem esnasında akustik gürültü meydana gelir. Bu akustik gürültü, mikrosismik gürültü veya olaylar olarak anılmaktadır. Akustik gürültünün tahrik işlemi süresince gözlenmesi bir EGS rezervuar işletme aracıdır ve rezervuarın üç boyutta ne kadar açıldığı görülmüş olur (Batchelor ve diğ., 1983; Baria ve diğ., 1985; Baria ve Green, 1989; Baria ve diğ., 1995; Baria, 1990; Baria ve diğ., 2005; Baria ve diğ., 2006). Bu

işlem bir denizaltını akustik gürültü izine göre takip etmeye benzer. Mikrosismik gözlem ile, rezervuar açma sürecinde kayaç kütlesi içinde basınç dalgalarının hareketlerinin yeri tespit edilir. Bugüne kadar irdelenmiş EGS sistemlerde (Bkz. Bölüm 4) kesme gerilmesinin baskın mekanizma olduğu görülmüştür.

Mikrosismik belirtiler aynı zamanda, yarıkların kayması nedeniyle açığa çıkan enerjinin, yarıkların boyunun, yönünün, genişlemesinin ve kaymasının ölçülmesinde de kullanılmaktadır. Uzaktan algılama tekniği görevini gören bu benzersiz yöntem, rezervuar özelliklerindeki (gerilim) değişikliklerin, yalnızca rezervuar gelişim aşamasında değil, uzun vadeli enerji ekstraksiyon aşamasında da gözlenmesini sağlamaktadır.

Doğal yarıkların uzunlukları genellikle 1 ila 10 m arasında değişiklik göstermektedir. Kayma sürecinde yayılan sismik enerji, yarığın uzunluğuna veya kısıtlayan doğal kuvvetlerde gerilim boşalmasına bağlıdır. Mevcut EGS projelerinden elde edilen gözlem verilerinin büyük çoğunluğu, kaymadan kaynaklanan yüksek enerji yayılımının, kısa eklem uzunluklarındaki büyük gerilim boşalmalarından kaynaklandığını göstermektedir (Michelet ve diğ., 2004). Bu durum, eğer yüzeyde algılanabilen olaylar olsa bile frekansının sismik risk oluşturmak için çok yüksek olacağını göstermektedir. Ancak küçük çaplı olaylar yine de yerel nüfusta endişelere yol açabilir.

Bugüne kadarki deneyimler, yerel halkın EGS projesi uygulanmadan önceki program hakkında bilgilendirilmesi amacıyla uygun altyapının kurulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yerel halkın proje hakkında bilgilendirilmesini ve görevleri içinde, halkın sorularını cevaplamak, anlayışlı ve sorumlu bir şekilde halkın tüm endişelerini gidermek olan ilgili bir personel ile iletişime geçmeleri konusunda teşvik edilmesini sağlayan bir sistemin kurulması planlama aşamasına dâhil olmalıdır. Düzenli kamu toplantıları ve okullar ve ilgilenen topluluklar için saha gezileri düzenlemek de programın yerel halk tarafından kabulünü kolaylaştırmak için uygulanabilecek yöntemler arasındadır.

Seçilen arazide sondajdan önce karşılaştırma verisi toplanması, doğal ve tetiklenen olayların ayırt edilmesi açısından gereklidir. Ayrıca doğal veya tetiklemeyle oluşan, beklenmedik mikrosismik olayların ölçümü için arazi gerekli ekipmanla donatılmalıdır. Aynı zamanda kamusal veya bölgesel altyapıya etkilerin belirlenmesi için bir prosedür yürütülmelidir. Son olarak, olumsuz büyük bir hataya yol açmamak için, arazi seçiminden önce jeolojik ve tektonik araştırmalar gerçekleştirilmelidir.

2.8 Heyelan Tetiklenmesi

Jeotermal sahalarda heyelan vakaları görülmüştür. Heyelanların sebebi çoğunlukla belirsizdir. Birçok jeotermal saha, doğal heyelanların oluşumuna yatkın engebeli arazide bulunmaktadır. Bazı sahalarda ise doğrudan kaymış zeminin üzerinde oluşmuştur. Bazı heyelanlar büyük depremler ile tetiklenebilse de, jeotermal üretim ve enjeksiyonun bu kadar büyük bir olaya yol açması olası değildir. Sığ enjeksiyon kuyuları başta olmak üzere, kötü konumlandırılmış kuyular faylar ile etkileşime girebilmekte ve bir önceki bölümde bahsedildiği şekilde kaymaya sebebiyet verebilmektedir.

Bu şartlar altında, eğimli bir kesitte arazi kaymasına yol açabilecek bir çökme gerçekleşmesi mümkündür. Ancak, hidrotermal sahalarda bu tarz olaylar nadiren görülmektedir ve sahada doğru bir şekilde yapılacak jeolojik karakterizasyon bu afetlerin gerçekleşme ihtimalini azaltacaktır. Bu tarz bir afet olayın yaşanma ihtimali son derece düşük olsa da, EGS rezervuar gelişiminde heyelan riski olan arazilerden kaçınılmalıdır.

2.9 Su kullanımı

Genellikle jeotermal projelerinde gelişimin ve işletmenin çeşitli aşamalarında su ihtiyacı bulunmaktadır. Su kullanımı çevresel etkileri asgari düzeye indirecek şekilde yönetilmelidir. EGS projelerinde su kullanımını çeşitli halleri aşağıda açıklanmıştır.

Kuyu sondajı, rezervuar tahriki, ve çevrim. Su kuyu sondajı aşamasında, sondaj ucu soğutma ve kaya yongalarını uzaklaştırmak amacı ile kullanılmaktadır. Bu su (su ve kimyasal karışımı) soğutulduktan ve süzildükten sonra yeniden kullanılmaktadır. Soğutma aşamasında meydana gelen buharlaşma kayıplarını gidermek için ise tamamlama suyu gerekmektedir.

Birçok gelişmiş EGS uygulamasında, rezervuarın tahriki ve işletmesi (yeraltı ısı eşanjörü) ve çevrim pateni oluşturulması için yüzey suları gerekecektir. Özellikle düşük permeabilite ve poroziteye sahip oluşumlarda, oluşum içindeki doğal hidrotermal sıvı miktarı oldukça azdır. Amerika Birleşik Devletlerinin batı kesiminde su kaynaklarına yüksek talep olduğu için, jeotermal uygulamalar için dikkatli ve muhafazalı bir su yönetimi uygulanmalıdır. Su, yakında yer alan yüksek debili bir akımdan veya varsa, yağış sezonunda geçici bir yüzey rezervuarından temin edilebilir. Bazen, yerel akımların yönü değiştirilebilir veya üzerine baraj kurulabilir. Bazı EGS kaynak alanlarında, reenjeksiyon ve yeniden kullanım için yeterli kaliteyi elde etmek veya çevrimdeki yeraltı suyu ya da soğutma suyunu potansiyel zararlı kirleticilerden arındırmak amacı ile arıtma gerekebilecektir. Jeotermal saha gelişimi aşamasında su kullanımının, tarımsal ve diğer amaçlar için kullanılacak yerel su talebi ile koordinasyonunun sağlanması gerekmektedir.

Rezervuardan üretilen sıvılar. Elektrik veya termal enerji üretimi amacı ile bir hidrotermal rezervuardan yeraltı akışkanı üretimi, yeraltı su seviyesini düşürebilmekte, civardaki doğal jeotermal öğeleri olumsuz etkileyebilmekte (örn. gayzerler, kaynaklar, kaplıcalar), hidrotermal (freatik) püskürmelere, buhar zonu artışına, tuzluluk artışına veya çökmelere neden olabilmektedir. EGS sistemler, akışkan üretimi ve beslemesinin dengelenmesi ile, bu olumsuz etkileri önleyecek şekilde tasarlanmıştır. “Kapalı-döngü” sistemlerde üretim kuyularından (ikili santrallerde ısı eşanjörü) üretilen sıcak akışkandan enerji ekstraksiyonu yapılmakta ve soğuyan akışkan enjeksiyon kuyularından geri enjekte edilmektedir. EGS sistemler de bu nedenle “kapalı-döngü” sistem olarak anılabilir. Ancak, jeotermal oluşumda su kaybı yaşandığından, çevrim sistemi tam anlamıyla kapalı değildir ve kayıp su yüzeysel su kaynaklarından telafi edilmelidir.

Isı atımı için soğutma suyu. Soğutma suyu genellikle santralde kullanılan akışkanın yoğunlaştırılması amacı ile kullanılır. Eğer tamamlama suyu temin edilebiliyorsa soğutma kuleleri yardımıyla atık ısının atmosfere yayılması sağlanabilir. Yakın bir nehir veya benzer bir su kaynağı ısı havuzu olarak kullanılabilir. Atık akışkanlardaki

ısıyı da, balık çiftlikleri veya seralar gibi uygulamalar ile de değerlendirilme imkânı bulunmaktadır.

Elektrik motorlu fanlar ve ısı eşanjörleri kullanılan havalı soğutma tekniği, sulu soğutma tekniğine alternatif olarak kullanılabilir. Daha çok ikili çevrim santrallerinde kullanılan bu yöntem, özellikle temiz su kaynağının sınırlı olduğu durumlarda başvurulmaktadır (Bkz. Bölüm 7). Hava soğutmalı yoğuşturucular ıslak soğutma kuleleri için tamamlama suyu ihtiyacını ortadan kaldırırsa da, havanın suya göre düşük ısı transfer yeteneğinden dolayı büyük arazilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda, ıslak soğutma kuleleri kullanan aynı güçteki bir santrale göre, arazi ihtiyacı büyük derecede artış göstermektedir. Örneğin, Costa Rica Miravalles'te bulunan 15,5 MW güce sahip santralde, su soğutma kulesi ve hava soğutmalı yoğuşturucu için yapılan tasarımlar karşılaştırıldığında, su soğutma kulesine göre hava soğutmalı yoğuşturucunun, maliyetinin üç katından daha fazla, ağırlığının 2,5 katından daha fazla, kapladığı alanın yaklaşık üç katı ve fan için harcanan elektriğin de yaklaşık üç katı olacağı görülmüştür (Moya ve DiPippo, 2006).

Atmosfere veya su kütlelerine tahliye edilen atık ısının çevreye etkisi, akıllı tasarımlar ve iyi gelişmiş teknolojiler kullanılarak asgari düzeye indirilebilmektedir. Ancak atılacak ısının miktarı termodinamik yasaları kullanılarak belirlenmektedir.

2.10 Doğal hidrotermal oluşumlara müdahale

Geçmişte jeotermal gelişimler nedeniyle gayzerler, kaplıcalar, çamur havuzları gibi doğal hidrotermal oluşumların tehlikeye atıldığı veya yok edildiği durumlar görülmüş olsa da (Jones, 2006; Keam ve diğ., 2005), EGS projeleri genellikle hidrotermal alanlar dışında tesis edileceği için bu tür oluşumlar ile etkileşime girmeyecektir. Hidrotermal oluşumların da bulunabileceği, mevcut hidrotermal santrallerin sınırlarında yer alacak, EGS tesislerini işletmenin ve açılacak kuyuların yüzeysel termal öğelerde oluşturabileceği muhtemel etkilerin belirlenmesi için rezervuar simülasyonları gerçekleştirilmelidir. Ancak, su tablası seviyesinde bir düşüş yaşanmayacağından, EGS sistemlerim normal işletme süreci nedeni ile hidrotermal oluşumlarda belirgin bir etki olması olası değildir.

2.11 Doğal yaşam habitatına ve bitki örtüsüne müdahale

Amerika Birleşik Devletlerindeki hidrotermal projelerinde, habitat kaybı veya bitki örtüsüne zarar verilmesi ile ilgili problemler çok küçük çaplı oluşmakta veya hiç oluşmamaktadır. Jeotermal uygulamalar nedeniyle çevrede oluşabilecek bu potansiyel etkiler doğru planlama ve mühendislik uygulamaları ile asgari düzeye indirilebilmektedir. Bir EGS gelişiminin de doğal yaşama ve bitki örtüsüne, bir hidrotermal projesinden daha fazla etkisi olacağı düşünülmemektedir. Dahası, her jeotermal projenin izin alabilmesi için önce çevresel etki raporu hazırlanmalı ve bulunduğu bölgeye yapabileceği her olası etki irdelenmiş olmalıdır.

Kurulacak her elektrik üretim tesisinin bulunduğu bölgenin manzarasını değiştireceği inkâr edilemez bir gerçektir. Başka birçok nedenden ötürü sakıncalı bulunsa da, kent içinde yer alan santraller, manzaranın bozulması açısından düz bir tarım arazisinde veya bir yanardağ eteğinde yer alan santraller kadar dikkat çekmemektedir. Birçok jeotermal santral bu tür arazilerde yer almaktadır, ancak dikkat ve yaratıcılık ile çevreye uyum sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Ulusal veya yerel olarak koruma

altında olmasa bile, doğal güzelliğe sahip lokasyonlardan kaçınılması ayrıca önemlidir. EGS gelişimlerinin de konvansiyonel hidrotermal santral gelişimleri gibi, tüm yerleşim koşullarına uygun tesis edilmesi gerekmektedir.

Bir jeotermal saha gelişimi için, elektrik santrali, trafo, kuyu-başı temelleri, boru hattı, acil durum biriktirme havuzları gibi tesislerin yerleşimi için ağaçların ve çalılığın sökümü gerekli olabilir. Ancak, jeotermal santral inşaatının tamamlanmasının ardından, yeniden ağaçlandırma ve yeşillendirme ile bölgenin eski doğal görünümüne kavuşması, binaların ve diğer yapıların saklanması sağlanabilir. Örneğin, Şekil 2 ve 3'de Ahuachapán jeotermal tesisinin 1977 yılında devreye alınmasından sonra (DiPippo, 1978) ve 2005 yılında yeniden ağaçlandırma ve yeşillendirme gerçekleştirildikten sonraki halleri (LaGeo, 2005) görülmektedir.



Şekil 2 1977 yılında devreye almadan sonra Ahuachapán jeotermal tesisi (DiPippo 1978).



Şekil 3 2005 yılında ağaçlandırmadan sonra Ahuachapán jeotermal tesisi (LaGeo 2005).

Jeotermal tesisler genellikle, rüzgar türbinlerine, güneş enerjisi kulelerine veya 150-200 m yüksekliğinde bacalara sahip termik santrallere göre daha az dikkat çekici yapılardır. Uzun mesafelerden görülmemesini sağlamak amacı ile binalar ve boru hatları uygun renklere boyanabilir. Flaş santrallerde (normal işletme esnasında periyodik olarak) salınan buharı saklamak mümkün olmasa da, birçok insan uzak mesafede çıkan beyaz buhar bulutlarından rahatsız olmamaktadır. İkili santrallerde ise normal işletme esnasında herhangi bir salınım gerçekleşmemektedir.

Kaliforniya, Imperial Valley’de tarımsal aktiviteler ile bir arada işlemekte olan jeotermal elektrik santralleri bulunmaktadır. Şekil 4’de Kaliforniya Imperial Valley’de yer alan yonca tarlaları arasında yer alan 40 MW SIGC Heber ikili santrali görülmektedir (Google Earth, 2006). Santral sahası, ana üretim kuyubaşı temeli dahil, yaklaşık 0,12 km², yani yaklaşık 3.000 m²/MW alan kaplamaktadır. Elektrik santrali, kuyular hariç, yalnızca 0,041 km² yani 1.020 m²/MW alan kaplamaktadır. Santral sahasının güneyinde görülen çorak arazi ise, devreden çıkarılan deneme amaçlı ikili santralin eski sahasıdır (DiPippo, 2005).



Şekil 4 Kaliforniya Heber SIGC ikili santrali uydu görüntüsü (Google Earth 2006).

Şekil 5’de SIGC santralının hemen doğusunda yer alan 47 MW Heber Çift-Flaş santrali görülmektedir. Bu santralin, tüm kuyu pedlerinin ve biriktirme havuzlarının kapladığı alan yaklaşık 0,096 km² yani yaklaşık 2.000 m²/MW’dır. Bu iki santral, flaş ve ikili jeotermal santrallerin tarımsal araziye uygunluğunu ve arazi ihtiyacı açısından ekonomik olduğunu göstermektedir.

EGS tesisleri, benzer şekilde, merkezi bir elektrik santrali ve boru hatlarıyla santrale bağlanan üretim ve enjeksiyon kuyularından oluştuğu için, yer üstünde benzer etkilerin görülmesi beklenmektedir. EGS tesislerde de diğer hidrotermal tesislerde uygulanan ıslah teknikleri uygulanarak kısmen de olsa arazi eski doğal haline döndürülmelidir.



Şekil 5 Kaliforniya Heber Çift-Flaş santrali uydu görüntüsü (Google Earth 2006).

2.12 Katastrofik olaylar

Jeotermal aktivitenin çeşitli aşamalarında, kuyu püskürmesi, buhar borularının yırtılması, türbin kusurları, yangınlar gibi kazaların meydana gelme olasılığı bulunmaktadır. Endüstriyel kazaların meydana gelebileceği ve geldiği diğer herhangi bir elektrik üretim tesisinden farkı bulunmamaktadır. Jeotermal elektrik santrallerine özel kazalar ise kuyu sondajı ve testine bağlı kazalardır. Geçmişte, kuyu püskürmeleri yaygın olarak meydana gelmekteydi, ancak günümüzde kapsamlı ve hızlı tepkili püskürme önleyiciler ile bu ölümcül problemin önüne geçilmiştir. Ayrıca jeotermal araştırmalar için günümüzde, kuyu sondajından önce modern yer bilim metotları kullanılarak daha detaylı çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

EGS projelerinde ise, herhangi bir uygulama yapmadan önce arazi tipi ile ilgili çalışmalar yapmak önem arz etmektedir. Böylece sondaj aşamasında yaşanabilecek katastrofik olay ihtimali asgariye inecektir. Doğru mühendislik uygulamaları ve tasarım yönetmeliklerine uyulması sayesinde, mekanik veya elektrik arızaları nedeniyle tesis personeline veya bölge halkına gelebilecek zararlar asgari düzeye inecek veya tamamen engellenmiş olacaktır.

2.13 Termal kirlilik

Termal kirlilik henüz denetime tabi olmayan ancak, ısı kaynağı ile çalışan tüm elektrik santrallerinde meydana gelen bir çevresel etkidir. Jeotermal santrallerde giriş akımı sıcaklığı fosil yakıtlı santrallere ve nükleer santrallere göre çok daha düşük olduğu için, birim elektrik üretimi başına ısı atımı daha yüksektir. Yalnızca santral sahasındaki termal deşarj göz önünde bulundurulduğunda, jeotermal santrallerde termal kirlilik nükleer santrallere göre iki ila üç kat daha fazladır. 100 MW gücünde bir jeotermal santralde ve 500 MW gücünde bir gaz türbinli kombine çevrim

santralinde bulunan ısı atım sistemi neredeyse aynı boyutlardadır (DiPippo, 1991a). Jeotermal santrallerde bulunan soğutma kuleleri veya hava soğutmalı yoğunlaştırucuların, aynı güce sahip konvansiyonel elektrik santrallerdekine göre çok daha büyük olduğu görülmektedir. EGS santrallerdeki güç dönüşüm sistemleri de diğer jeotermal santraller ile aynı termodinamik yasalarına bağlı olacaktır. Ancak eğer daha yüksek sıcaklıklı akışkanlar üretilbilirse, atık ısı sorunu nispeten daha az olacaktır.

3. EGS Elektrik Santrallerinin Çevresel Özellikleri

3.1 İşletme esnasında sıfır sera gazı

EGS rezervuarlarına kurulan ve “kapalı-döngü” çevrim sistemi kullanan jeotermal elektrik santrallerinde, küresel ısınmaya sebebiyet veren sera gazlarının başında gelen gazlardan biri olan karbon dioksit (CO₂) salınımı gerçekleşmeyecektir. Amerika Birleşik Devletleri henüz Kyoto protokolünü imzalamamış olsa da yakın gelecekte bu sorunu dikkate almaya mecbur kalabilir. 2007 Haziran ayında A.B.D Yüksek Mahkemesi tarafından, hükümetin CO₂ emisyonları hakkında tavrını değiştirebilecek bir karar alınması beklenmektedir. “Karbon vergisi” uygulamasının yürürlüğe girmesi durumunda, fosil yakıtlı santrallerde bir kilovatsaat elektrik üretmek için gerekli maliyet diğer “az kirletici” teknolojilere göre artış gösterecektir. EGS santralleri bu durumdan etkilenmeyecek ve karbon bazlı yakıt ile çalışan tüm santrallere göre ekonomik olarak avantajlı hale gelecektir. “Karbon kredisi” programı oluşturulduğu takdirde ise, EGS santralleri emisyon haklarını satarak ek gelir akışı sağlayabilecektir.

3.2 Düşük arazi kullanımı

Fosil yakıtlı, nükleer veya güneş enerjili elektrik santrallerine göre, EGS santraller için birim kurulu güç (MW) veya birim net enerji (MWh) başına çok daha az arazi gereksinimi bulunmaktadır. Ayrıca, arazinin tamamı santral ve kuyular tarafından işgal edilmediği için, tarım ve hayvancılık gibi aktiviteler de gerçekleştirilebilmektedir. Yönlü sondaj uygulamaları da arazi kullanımının asgari seviyede olmasını sağlamaktadır. EGS santrallerin fosil yakıtlı santrallere ve nükleer santrallere göre önemli bir üstünlüğü de, hidrotermal bölgelerde bulunmak zorunda olmadığı için meskun mahallere veya sanayi bölgelerine kurulabilmesidir.

3.3 Karbondioksit kullanılabilirliği

Bu raporda incelenmemiş olsa da, EGS rezervuar ısı transfer akışkanı olarak CO₂ kullanımı ile ilgili incelemeler bulunmaktadır. Brown (2000) tarafından, bu tür bir sistemin kavramsal modeli Fenton Hill sıcak susuz rezervuarı için geliştirmiştir ve EGS uygulamalarında CO₂'in suya göre termodinamik açıdan üstün olduğu savunulmaktadır. Aynı çalışmada yapılan durum incelemesinde, 0,5 km³ boşluk hacmine sahip bir EGS rezervuarda yaklaşık 260x10⁹ kg CO₂ çevrimi gerçekleşeceği görülmektedir. Bu miktardaki CO₂'in emisyonu, %85 kapasite faktörüne sahip 500 MW gücünde bir kömürlü elektrik santralinde 70 yılda gerçekleşmektedir. Yani EGS santralleri, CO₂ emisyonlarının kontrolünde sembiyotik bir role sahip olabilmektedir.

3.4 Düşük çevresel etki

Olası sismik tetikleme etkileri hariç, tüm açılardan jeotermal santraller çevreye en az zarar veren elektrik üretim yöntemidir. EGS santrallerin, kapalı döngü ikili çevrim santraller ile benzer çevresel etkileri olacaktır. Çevresel açıdan sorun teşkil edebilecek tek etki olan sismik tetikleme de, kuyu sondajı ve canlandırması öncesinde, olası rezervuar alanının özelliklerinin modern yer bilim metotları kullanılarak kapsamlı olarak saptanması ile tamamen önlenilecek veya azaltılabilecektir. Mikrosismik gürültünün devamlı olarak izlenmesi yalnızca rezervuarın boyutlarının belirlenmesi için değil, aynı zamanda önemli bir sismik olayın başlangıcı ile ilgili bilim adamlarını ve mühendisleri uyaran bir sistem olarak da görev görecektir. Çevresel etkiler göz önünde bulundurulduğunda, yüksek miktarlarda elektrik üretmek için kullanılan teknolojiler arasında en iyi seçimin EGS olduğu açıkça görülmektedir.

4. Proje Fizibilitesi için Çevresel Ölçütler

Belirli bir konum için bir EGS projesinin fizibilitesinin belirlenmesinde, çevresel etkiler ile doğrudan veya dolaylı ilişkisi olan birtakım teknik ölçütler bulunmaktadır:

- Bölgenin elektrik ve/veya ısı talebi
- İletim ve dağıtım altyapısına mesafe
- Yüksek kaliteli EGS rezervuarının hacim ve yüzey özellikleri
- Rezervuar ömrü ve yedek kuyular
- Çevrim akışkanı kimyası
- Flaş ve ikili çevrim teknolojisi kıyaslaması
- Maliyet/kurulu güç (MW_e) ve maliyet/yerel veya bölgesel pazara iletilen enerji (MWh) oranları
- Yük takibi ve baz yük kabiliyeti kıyaslaması
- Santral güvenilirliği ve güvenliği.

Ek olarak, ticari bir EGS projesi uygulamaya geçirilmeden önce, her elektrik temin sisteminde olduğu gibi, göz önünde bulundurulması gereken çevresel ölçütler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

- Büyük sismik olaylara, yıkıcı heyelanlara veya büyük göçmelere sebebiyet vermeyecek jeolojik oluşumlar
- Uygun arazi kullanımı
- İçme suyu ve su yaşamı koruması
- Hava kalite standartları
- Gürültü standartları
- Sera gazı emisyonları/MWh oranı
- Katı atık bertaraf standartları
- Harcanan akışkanın ve atık ısının tekrar kullanımı
- Isı atımının yerel etkilerinin kabul edilebilir olması
- Yürürlükte olan tüm federal, eyalet ve yerel kanunlara uyum

Tüm bu ölçütler, bir projenin uygunluğunu ve maliyetini etkilemekte, yani projenin uygulanabilirliğini belirlemektedir.

5. Sonuçlar

EGS gelişimlerinin bazı çevresel etkileri bulunmaktadır ancak, fosil yakıtlı ve nükleer santraller başta olmak üzere diğer elektrik üretim teknolojilerine kıyasla çevreye karşı daha duyarlıdır.

Jeotermal uygulamaları ile ilgili 100 yıldan daha uzun süredir;

- EGS projelerinde kullanılacak olası sistemler olan flaş buharlı ve ikili santraller başta olmak üzere, hidrotermal elektrik santrallerinin tasarımı ve işletilmesi,
- jeotermal kuyu sondajı, ve
- Çevresel etkileri azaltıcı sistemler,

ile ilgili edinilen deneyimler sayesinde gelecekte kurulacak EGS elektrik santrallerinin, yerel ve bölgesel olarak daha az çevresel etkiye sahip olacak şekilde tasarlanması ve işletilmesi sağlanacaktır. EGS elektrik santrallerinin, az yer kaplaması ve sıfır emisyon ile işlemesi, güvenilir ve güvenli elektrik sağlarken sera gazı emisyonu artışını azaltması nedeniyle, *pozitif* evresel etkiye sahip olduğu söylenbilir.

KAYNAKLAR

- Allis, R. G. 1990. "Subsidence at Wairakei field, New Zealand," *Trans. Geothermal Resources Council*, 14: 1081–1087.
- Armstead, H. C. H. 1983. *Geothermal Energy, 2nd Ed.*, E. and F. N. Spon, London.
- Armstead, H. C. H. and J. W. Tester. 1987. *Heat Mining*, E. and F. N. Spon, London.
- Baria, R., K. C. Hearn, and A. S. Batchelor. 1985. "Induced seismicity during the hydraulic stimulation of the potential Hot Dry Rock geothermal reservoir," *Proc. Fourth Conference on Acoustic Emission/Microseismic Activity in Geology Structures and Materials*, Pennsylvania State University.
- Baria, R. and A. S. P. Green. 1989. "Microseismics: A Key to Understanding Reservoir Growth," in *Hot Dry Rock Geothermal Energy*, Proc. Camborne School of Mines International Hot Dry Rock Conference, Ed. Roy Baria, Camborne School of Mines Redruth, Robertson Scientific Publications, London, pp. 363–377.
- Baria, R. (ed.). 1990. "Hot Dry Rock Geothermal Energy," *Proc. Camborne School of Mines International HDR Conference*, Robertson Scientific Publications, London, pp. 613.
- Baria, R., J. Garnish, J. Baumgartner, A. Gerard, and R. Jung. 1995. "Recent development in the European HDR research programme at Soultz-Sous-Forêt (France)," *Proc. World Geothermal Congress*, International Geothermal Association, Vol. 4, pp. 2,631-2,637, Florence, Italy. ISBN 0-473-03123-X.
- Baria, R., S. Michelet, J. Baumgartner, B. Dyer, A. Gerard, T. Hettkamp, D. Teza, N. Soma, H. Asanuma, and J. Garnish. 2005. "A 5000 m deep reservoir development at the European HDR site at Soultz," *Proc. World Geothermal Conference 2005*, Antalya, Turkey, 24–29 April 2005, Paper No. 1627.
- Baria, R., R. Jung, T. Tischner, J. Nicholls, S. Michelet, B. Sanjuan, N. Soma, H. Asanuma, B. Dyer, and J. Garnish. 2006. "Creation of a HDR reservoir at 5000 m depth at the European HDR project," *Proc. Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Calif.
- Batchelor, A. S., R. Baria, and K. Hearn. 1983. "Microseismic detection for Camborne Geothermal Project," *The Institution of Mining and Metallurgy in association with the Institution of Mining Engineers*, London.
- Brown, D.W. 2000. "A Hot Dry Rock Geothermal Energy Concept Utilizing Supercritical CO₂ Instead of Water," Proc. Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, Calif, Jan. 24–26, 2000, Paper SGP-TR-165. 8-19
- Burnham, L. (exec. ed.), T. B. Johansson, H. Kelly, A. K. N. Reddy, and R. H. Williams. 1993. *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*, Island Press, Washington D.C.
- DiPippo, R. 1978. "The Geothermal Power Station at Ahuachapan, El Salvador," *Geothermal Energy Magazine*, 6, pp. 11–22.
- DiPippo, R. 1991a. "Geothermal Energy: Electricity Production and Environmental Impact, A Worldwide Perspective," *Energy and Environment in the 21st Century*, pp. 741–754, MIT Press, Cambridge.
- DiPippo, R. 1991b. "Geothermal Energy: Electricity Generation and Environmental Impact," *Energy Policy*, 19, pp. 798–807.
- DiPippo, R. 2005. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications and Case Studies*, Elsevier, Oxford, U.K.
- Jones, G.L. 2006. "Geysers/Hot Springs Damaged or Destroyed by Man," <http://www.wyojones.com/destroyme.htm>
- Kagel, A., D. Bates, and K. Gawell. 2005. "A Guide to Geothermal Energy and the Environment," Geothermal Energy Association, Washington, D.C.
- Keam, R.F., K.M. Luketina, and L.Z. Pipe. 2005. "Definition and Listing of Significant Geothermal Feature Types in the Waikato Region, New Zealand," Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005, Paper 0209.

- LaGeo. 2005. *Historia de la Energía Geotérmica en El Salvador*, San Salvador, El Salvador.
- Majer, E. and R. Baria. 2006. "Induced seismicity associated with Enhanced Geothermal Systems: State of knowledge and recommendations for successful mitigation," Working paper presented at the Stanford Geothermal Workshop, Stanford University, Calif.
- Michelet, S., R. Baria, J. Baumgartner, A. Gérard, S. Oates, T. Hettkamp, and D. Teza. 2004. "Seismic source parameter evaluation and its importance in the development of an HDR/EGS system," *Proc. Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Calif.
- Mock, J. E., J. W. Tester, and P. M. Wright. 1997. "Geothermal energy from the earth: Its potential impact as an environmentally sustainable resource," *Annual Review of Energy and the Environment*, 22: 305–356.
- Moya, P.R. and R. DiPippo, 2006. "Miravalles Unit 5: Planning and Design," *Trans. Geothermal Resources Council*, V. 30, pp. 761-766.
- Pasqualetti, M.J. 1980. "Geothermal Energy and the Environment – The Global Experience," *Energy (UK)*, 5: 111–165.
- Tester, J.W., E.M. Drake, M.W. Golay, M.J. Driscoll, and W.A. Peters. 2005. *Sustainable Energy: Choosing Among Options*, The MIT Press, Cambridge, Mass.