

# JEOTERMAL ENERJİ UYGULAMALARINDA ÇEVRE SORUNLARI

**Mebrure BADRUK**

## ÖZET

Hava, yüzey suları ve yer altı suları jeotermal sıvıdaki kimyasal ile kirlenebilir. Bu kimyasalların insan hayatı, evcil hayvanlar, tarımsal ürünler ve yabani yaşam üzerindeki etkileri özellikle dikkate alınmalıdır.

Kimyasal maddeler jeotermal sıvılara ya araştırma sırasında ya da jeotermal enerji üretimi sırasında eklenebilmektedir. Kostik soda, Sülfürik asit ve bakteri oluşumu ya da çökmeyi ve kabuklaşmayı önlemek için pek çok farklı toksit ya da korozif kimyasallar kullanılmaktadırlar. Ayrıca üretim sırasında oluşan iyon denge değişiminin çevreye verdiği olumsuz etkileri incelenmesi gerekmektedir.

## 1. KİMYASAL KİRLETİCİLER VE ETKİLERİ

Jeotermal araştırma ve uygulamalar boyunca çevreye verilen kimyasalların olası kirlilik etkilerinin belirlenmesi ve bu zararlı etkilerinden korunulması gereklidir. Kirleticilerin etkileri insan sağlığı, evcil hayvanlar, ürünler ile susal ya da karasal yaşam üzerindeki etkileri özellikle dikkate alınmalıdır.

Jeotermal kaynakların kullanılarak elektrik enerjisi üretiminden dolayı oluşan çevresel etkileri kabaca şöyle sınıflandırabiliriz;

- ✓ Sondaj süresinde ekosistemin bozulması
- ✓ Kuyu sondajları boyunca jeotermal sıvı ile su ve toprağın kirlenme riski
- ✓ Tesisin işletilmesi süresince CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S emisyonları
- ✓ Jeotermal sıvının ekstraksiyonu nedeniyle arazinin çökme riski

Üretim boyunca rezervuardaki basınç ve sıcaklık değişimi kimyasal dengeyi etkiler. Bu da ek çözünme ve çökelmelere neden olur. Kirletici kaynaklar kabaca şöyle toplanabilir;

- ✓ Kuyular ( yüzey ekipmanları yoluyla)
- ✓ Separatörler
- ✓ Buhar boruları
- ✓ Silencerler
- ✓ Kondenserler (yoğuşmuş buhar atımı yoluyla)
- ✓ Soğutma kuleleri
- ✓ Reenjeksiyon sistemleri

Kimyasal maddeler; jeotermal sıvıların aranmasında kullanılabilirler. Bununla birlikte bakteriyel oluşumu ya da kabuklaşmayı önlemek amacıyla çeşitli kimyasallar, kostik soda, sülfürik asit ve pek çok diğer toksit ya da korozif kimyasallar da jeotermal uygulamalarda kullanılır. Ayrıca; rutin uygulama

boyunca kullanılan bu kimyasalların çevreye verdikleri zararda bunların kullanım miktarları ve depolanan kimyasalların yada kullanılanların gelecekteki potansiyel etkileri özellikle dikkate alınması gerekmektedir.

Jeotermal enerji uygulamalarında oluşan çevresel etkiler;

- ✓ hava,
- ✓ su,
- ✓ toprak,
- ✓ termal,
- ✓ gürültü kirliliği

basamaklarına ayrılabilirler. Buhar içinde taşınan yoğuşmayan ve atmosfere verilen gazlar önemli problemlerdir. Jeotermal proseslerde en önemli emisyon noktaları, yoğuşmayan gazların salındığı bacalar, soğutma kulelerinde yoğuşmayan gazların evaporasyonu, silenseler, buhar borularından buhar ürünün drenajı, soğutma kulelerinden fazla yoğuşmuşun emisyonudur. Önemli yoğuşmayan gazlar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ve daha düşük oranlarda NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>'dir.

Karbondioksit emisyonları buhar kompozisyonuna bağlı olarak jeokimyasal tesislerde; 10-400 g/kWh iken bu değer fuel oil ve kömür santrallerinde 900-1000 g/kWh'tir. Fosil yakıtların enerji için yakılmasında ayrıca sülfürik asit (SO<sub>2</sub>) üretilir. Su ile birleşimi havada ait yağmuru oluşturarak bitki ve binalara zarar verir ve yüzey sularını asitlendirir. Jeotermal alanlar sülfür dioksit üretseler bile sıvı yeterli derecede oksitlenmemiştir.

Jeotermal santraller, kuyulardan (sondaj ve test sırasında) kondenser ile silencerlerden ve en önemlisi santralin gaz boşaltıcısından boşalan gazlardan dolayı hava kalitesini hiçte azımsanmayacak ölçüde etkiler. ABD-Geyser ve İtalya-Larderello gibi atık suyun tamamıyla reenjekte edildiği buhar baskın arazilerde; gaz ve buhar en belirgin rutin atıklardır.

### 1.1. Gaz Boşalımlarının Bileşimi ve Etkileri

Çevresel perspektiften bakıldığında en önemli kirlenici gazlar,

- ✓ Karbondioksit (CO<sub>2</sub>, genellikle en önemli bileşen)
- ✓ Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S)
- ✓ Amonyak (NH<sub>3</sub>)
- ✓ Cıva (Hg)
- ✓ Borik Asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) olarak verilebilir.

Gaz atıklar metan yada etan ve radon gibi hidrokarbonlar içerebilirler; fakat bu bileşenlerin çevreye zararlı etkileri daha azdır.

Buhardaki kirlenicilerin konsantrasyonları rezervuar jeokimyası ve güç üretimi şartlarına bağlıdır. Başlangıç buhar ayırımı boyunca eğer gerekli ise sıvı rezervuardaki kirleniciler kısmen yada tamamen buharlaşabilirliklerine bağlı olarak buhar faza transfer edilebilirler. Arsenik (As) gibi buharlaşabilirliği düşük olan kirlenici ayırım sırasında sıvı fazda kalır. Borik asit ve amonyak'ın buharlaşabilirliği düşüktür; fakat ayırımın gerektirmediği buhar baskın arazilerde buharla önemli konsantrasyonlarda elde edilebilirler. Öte yandan hidrojen sülfür ve cıva daha buharlaşabilir ve CO<sub>2</sub> çok buharlaşır. Orijinal jeotermal akışkanın bu bileşenleri çoğu ayırımda buhar faza transfer olur.

Atık gazın atmosferde dağılıma oranı çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar;

- ✓ Meteoroloji ve topografya
- ✓ Deşarjın yapısı (direkt atık yada soğutma kulesi atığı)
- ✓ Gaz kirleticilerin kimyasal stabilitesidir.

Rüzgarın etkisi, topografya ve soğutma kulesi yada atık gazın yapıları arazilerde çok farklıdır. Bu faktörlerin potansiyel etkileri, çeşitli konsantrasyonlarda atmosfere verilme şartları ve atmosferde dağılımı bilgisayar programı kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bununla birlikte atmosferden yağmur damlaları yada sis ile ayrılan kirleticilerin oranı gazın çözünürlüğünden etkilenir. Örneğin; amonyak gazı atmosferden hızlıca liç olur, çünkü suda kolay çözünür. Bununla birlikte civa buharı, atmosferde daha uzun süre kalır ve geniş alanlara yayılabilir.

Kirleticilerin kimyasal formları değişebilir ve bu genellikle toksitesi değişimine uygundur. Örneğin; hidrojen sülfür sis içinde olan nem tanelerinde toksik olmayan tiosulfat( $S_2O_3^{2-}$ ), sülfid( $SO_3^{2-}$ ) ve son olarak sülfat( $SO_4^{2-}$ ) gibi çözünmüş sülfür oxyanyonlarına dönüşebilir. Eğer nem damlaları nötral yada alkali pH'a sahipse Hidrojen sülfid hidrojen iyonunu kaybederek daha az toksit olan bisülfid iyonu ( $HS^-$ )'a dönüşebilir. Aynı şekilde pH' ı nötral suda çözünen amonyak daha az toksit amonyum iyonu ( $NH_4^+$ )'na dönüşür; ki daha sonra nitrat ( $NO_3^-$ ) gibi oxyanyon formuna okside olabilir. Yağmur suyunda bulunan kirleticiler toprağa yada bitki yapısına girer ve atık ve yeraltı ve yüzey suları kimyasını etkiler. Bu etkiler gaz ve buhar deşarjın ikincil etkileri olarak anılırlar.

Gaz kirleticiler çevre ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilir. Hava kalitesi için kirleticilerin deşarj miktarı ayarlanabilir.

### 1.1.1 Karbondioksit

Jeotermal santralinin gaz boşalımında karbondioksit insan sağlığında direkt etkisi vardır. Bununla birlikte; karbondioksit metan gibi sera etkisi yapan bir gazdır. Bu nedenle negatif çevresel etkisi nedeniyle dikkate alınmalıdır.  $CO_2$   $H_2S$  gibi su ve buhar fazda salınabilir.

$CO_2$  'in atmosfere deşarjı global ısınmaya neden olur. Petrol ve kömür santralleri ile jeotermal santraller karşılaştırıldığında jeotermal santralden  $CO_2$  verilmesi düşük olmasına rağmen; uluslararası antlaşma gereği (Kyoto Protokolü, 1997) ülkelerin  $CO_2$  üretiminin azaltılması nedeniyle dikkat çekici olmaktadır. Jeotermal enerji  $CO_2$  üretiminin uygun olduğu ve yenilenebilir enerji kaynağı olduğunda tercih edilmektedir.

### 1.1.2 Hidrojen Sülfid

Hidrojen sülfid çürük yumurta kokusu ile çok düşük konsantrasyonlarda (yaklaşık 0.3 mg/kg civarında) algılanabilir ve yüksek entalpili alanların karakteristik bir göstergesidir.  $H_2S$  atmosferden yağmur ile uzaklaşır ve fümerollerde okside olur. Hidrojen sülfür boşalımı insan yaşamında yada çalışma ortamında koku problemi nedeniyle sorun yaratabilir. Ancak koku konsantrasyonun belirlenmesinde güvenilir değildir; ve yüksek konsantrasyonlarda insan sağlığına etkileri çok önemlidir. Tıpkı karbondioksit gibi hidrojen sülfür ağır gazdır ve alçak alanlarda birikir. Sonuçta; aspiratörlerde, drenaj ve borularda havayla karışmadan değişik uzaklıklara taşınabilir.

Çevre üzerinde hidrojen sülfütün etkisi özellikle yüzey sularındaki potansiyel kirleticiler ve yağmur suyundaki hidrojen sülfür gibi kalan okside olmayan gazların ikincil etkileri sınırlandırılabilir. Buna rağmen sülfür emisyonu ve bölgesel yağmur asidifikasyonu arasında direkt bağlantı kanıtlanmamıştır.

Olkaria-Kenya Jeotermal Sahasındaki  $H_2S$  konsantrasyonunun uzaklık ile değişii ölçülmüş; rüzgarın sakin olduğu, yüksek nemlilik ve atmosferik sıcaklığın düşük olduğu dönemlerde yüksek  $H_2S$  deüerleri elde edilmiştir. Ölçümler güç santral civarında rüzgar hızı ile  $H_2S$  konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Santralden uzaklaştıkça  $H_2S$  konsantrasyonları düşüş göstermektedir. Santralden 0.5 km uzaklık insan, hayvan ve bitki yaşamı için güvenli olmaktadır.

Günümüzde pekçok jeotermal güç santrali  $H_2S$  atmosfere salmaktadır. İnsan için  $H_2S$ 'in psikolojik etki sınırları düşük konsantrasyonlarda (0.06 ppm) kokudan, yüksek konsantrasyonda (>600 ppm) 1 saat solunması ile ölüme kadarsır. Bitkiler için  $H_2S$ 'in düşük konsantrasyonlarda; 0.03-0.1 ppm konsantrasyonlarda bitki büyümesi için yararlıdır. 0.3-3 ppm çoğu bitkilere zarar verebilir, daha yüksek konsantrasyonlar yapraklarda doku bozukluğu, büyüme azalmasına neden olur. Atmosferde sülfür oksitlerine ( $SO_x$ ) oksitlenir ve su ile yeryüzüne ıslak yada kuru olarak düşer. Bu yüzden jeotermal güç santrallerinin asit yağmurları gözlemlenmelidir.

Cerro Prieto-Meksika Jeotermal güö santralinden atmosfere yayılan  $H_2S$  değerleri toplum sağlığı için riskli değildir (Yıllık 130 ppb) ancak kokusu ile farkedilmektedir ve Jeotermal projelerin geliştirilmesi ile  $H_2S$  değerlerinin 300 ppb olacağı tahmin edilmektedir..  $H_2S$  için risk sınırı 30 mikrogram/kg-ppb'dir.

### 1.1.3 Cıva

Deşarj edilen cıva buharı atmosferde geniş alanları olumsuz etkileyecek sürede kalır. Cıvanın kanserojen yapıcı olup olmadığı kanıtlanmamıştır. Ancak besin zincirinde birikim yaptığı bilinmektedir. Sonuç olarak salınan cıvanın toplam miktarı (flux yada taşınan) havadaki konsantrasyonu açısından önemlidir.

Solunum yapıldığında, cıvanın büyük bir miktarı vücutta kalır (yaklaşık %80) ve böbreklerde depolanır. İlk etkileri böbreklerde göstermesine rağmen merkezi sinir sistemi kritik organdır. Buhar etkisine uzun süreli maruz kalınması titreme ve sonunda deliliğe neden olur. Cıvanın atmosfer konsantrasyonunun artmasının yanında besin zincirinde, bitki, balık yada kuşlarda birikmesi de önemlidir.

### 1.1.4 Diğer Gazlar

Psikolojik problemlere neden olup insan sağlığına toksit olan amonyak gazı koklandığında hoşlanılmaz. Yağmur sularındaki amonyağın neden olduğu ikincil etkiler daha az belirgindir, çünkü doğadaki amonyak iyonu ve nitrat gibi oxyanyonlar daha az toksiktir.

Gaz deşarjında genellikle borik asit konsantrasyonları düşüktür. İnsan sağlığında borik asit gazının etkisinin az olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte borik asit bulaşmış toprak yada sulama suları bitki büyümesine olumsuz etki yapabilir. Sonuç olarak borik asitçe zengin buhar yada gaz deşarjı, özellikle yüzey suları ve toprak kirliliği önemli etki olmaktadır.

### 1.1.5 Etkilerin Azaltılması

Çevresel ve halk sağlığına etkiler gaz kirleticilerin havadaki konsantrasyonlarının ulusal ve uluslararası hava kalitesi standartlarını geçmemesi sağlanarak minimize edilebilir (Tablo 1).

**Tablo 1:** WHO (1987)'a göre hava kalitesi için jeotermal gaz kirleticilerin sınırları

Kirletici Gaz	Miktar (mg/kg)	Ortalama Etki Zamanı (saat)
Karbondioksit	7500	8
Amonyak	15	8
Borik Asit	8	8
Hidrojen Sülfür	0.13	24
Cıva	0.001	12 ay

Havadaki gaz kirleticilerin konsantrasyonları düzenli olarak ölçülmelidir. Bu ölçümler geniş çaplı çevresel ölçme programının bir parçası olmalıdır. Eğer havanın kalitesi belirlenen miktarları aşmaya başlıyorsa yada başlama eğilimi gösteriyorsa işletme koşulları yada santralin dizaynı değiştirilmek zorunda olabilir. Kondenser operasyonu geliştirilmeli yada  $H_2S$  gibi kirleticilerin gaz atımından uzaklaştırılması amacıyla ara işlemler eklenmelidir. Bu tarz işlemler geçmişte Geysir buharından

sülfür ekstraksiyonu dahil çeşitli değerli kimyasalların ve Larderello'daki buhardan bor, amonyak ve sülfür kazanılması amacıyla yapılmıştır.

Hava kalitesi standartlarında genellikle gaz kirleticilerin yüzey suları ve topraktaki ikincil etkileri dikkate alınmamaktadır. Örneğin; ürünler yada bitkiler havadan yağış olarak yağ yada kuru çökeltme yoluyla kirleticilerin zararı ile karşılaşabilirler. Bu durumda toplum sağlığına ek etkiler dolaylı etkilerdir. Hava kalitesini belirleyen standartlar sadece havanın solunması ile doğrudan etkilenmeyi dikkate almaktadır. Ayrıca karasal doğal yaşam ve depolanmanın pek çok durumda gaz kirleticiler için belirli toleranslara sahip olduğu kabul edilmektedir.

## 1.2 Su Kalitesine Etkiler

Yüzey sularının kirlenmesi jeotermal arazi gelişimleri sonucunda da olabilmektedir. Eğer sıvı nehir yada akarsuya deşarj edilirse kirlenme doğrudan oluşur. Kirlenme dolaylı olarak yeraltı suyunun yada yüzey sularının kirlenmesi şeklinde de olur. Tüm atık sular arazide tamamiyle reenjekte edilse bile, kirleticiler yüzey sularında yeraltı suları sistemi yada gaz deşarjın ikincil etkileri aracılığıyla zengin kalabilirler. Örneğin, yeraltı suyu kirlenmesi atık su yada yoğunlaşmanın reenjeksiyonu boyunca yada kuyu deşarjı ve sondaj sıvısı için havuzlarda tutulan suyun sızması şeklinde olabilir.

Jeotermal kirleticiler suyu kaynak olarak kullanarak sıvı ekosistem ve karasal ortamı etkileyerek nehir yada akarsuların içine karışarak su kimyasını değiştirir. Aynı kirleticiler doğal jeotermal sularda bulunmasına rağmen, bunların toprakta çökeltme ve dolayısıyla konsantrasyonlarını artırma eğilimleri vardır. Bu yüzden çevresel etkiler daha çok bölgeseldir.

Yüzey suları ayrıca kimyasal atıkların işletme süresince atılması yada sızma nedeniyle kirlenebilirler. Ancak bu önlenemez problemlerdir. Bununla birlikte ortamda depolanan sondaj sıvılarının, sıvı yakıtların, yağlama maddelerinin, çökeltim önleyicilerin ve diğer özel kimyasalların potansiyel çevresel etkileri çevresel etkiler boyunca dikkate alınmalıdır.

Buhar ve gaz deşarjı ile birlikte sıvı deşarjdaki kirleticilerin konsantrasyonları rezervuar jeokimyası tarafından belirlenir ve güç üretimi için işletme şartları kullanılır. Atık su ve yoğunlaşmada büyük olasılıkla bulunan kirleticiler;

- ✓ Lityum
- ✓ Borik asit
- ✓ Arsenik
- ✓ Cıva
- ✓ Hidrojen sülfür
- ✓ Amonyaktır.

Atık sular ayrıca yüksek tuzlu olabilirler ve antimuan, talyum, gümüş ve selenyum gibi jeotermal sıvılarda bulunan eser elementler ölçülebilir konsantrasyonlarda olabilir.

Tipik olarak yoğunlaşma sıvısı atık suya göre hidrojen sülfür ve cıva gibi buharlaşabilir kirleticilerin daha yüksek konsantrasyonlarına sahiptir. Oysa atık su buharlaşmayan yada lityum, arsenik, bor gibi az buharlaşanların daha yüksek konsantrasyonlarını içerir. Tablo 2'de buna örnek verilmiştir.

**Tablo 2.** Belirli jeotermal alanlarda atılan jeotermal atık sularındaki kimyasal kirleticilerin Konsantrasyonları

	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Hg	As	Li
Salton Sea (ABD)	16	386	2231	6.0	12	215
Cerro Prieto (Meksika)	0.16	127	109	0.05	2.3	---
Wairakei (Yeni Zelanda)	1.7	0.20	172	0.12	4.7	14
Okaaki (Yeni Zelanda)	1.0	2.1	276	0.05	8.1	11.7
Haveragerdi (İzlanda)	7.3	0.1	3.4	---	0.0	0.3
Kizildere	---	20	160	---	0.6	4.5
Tipik Nehir Suyu	<0.1	0.04	0.05	0.00004	0.002	0.003

### 1.2.1 Çevre Tarafından Alınan Kirleticinin Davranışı

Aynı kirleticilerin farklı kimyasal formları çevreyi farklı etkiler ve önemli olan kirleticinin o andaki formunun bilinmesidir. Kimyasallara ılımlı, tutucu denmesinin amacı; bunların reaksiyona girmemesi ve çoğu doğal sıvı ortamlarda tek kimyasal yapıda olmasıdır. Lityum tutucu davranır, örneğin; Li<sup>+</sup> jeotermal sıvıda atık su borularında ve yüzey sularında Li olarak kalır. Çözünmüş borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) de suda pH çok alkali (>9) olmadıkça tutucudur, pH > 7 olduğunda hidrojen iyonunu kaybedip H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> formuna girer.

Diğer jeotermal kirleticiler daha kompleks davranırlar. Örneğin, arsenik için iki tane oksidasyon hali vardır. As<sup>III</sup> ve As<sup>V</sup>. Ayrılmış atık sıvı ortama verildiğinde; As<sup>III</sup> As<sup>V</sup>'e genellikle arsenat iyonunu (H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup>) okside olur. Arsenik fosfat yerine bitkiler tarafından kolayca alınır, ve bitkilerde inorganik arsenik olarak depolanır.

Jeotermal sıvılardan çözünmüş elemental cıva (Hg<sup>0</sup>) atık sularında Hg<sup>I</sup> ve Hg<sup>II</sup> iyonları formunda okside olur. H<sup>II</sup> iyonları HgCl<sub>2</sub> gibi duraylı kompleks formunda olmak üzere kolayca klor, iyot ve bromür iyonları ile reaksiyona girerler.

Sülfür kompleks yapan başka bir kirleticidir. Atık suda H<sub>2</sub>S pH>7 olduğunda bisülfid iyonuna (HS<sup>-</sup>) bozuşur yada thiosülfat (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>-2</sup>), sülfid (HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ve sülfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) gibi çeşitli sülfür oxyanyonlara okside olur. Ayrıca belirli oranda çözünmüş gaz olarak H<sub>2</sub>S atık su borularında atmosfere yayılır.

Sülfür gibi azot jeotermal sıvılarda baskın formda olan redüklenmiş amonyak ile çeşitli oksitlenmiş yapılarda bulunabilir. Sıvı ayrıldığında amonyak daha az toksit amonyum iyonuna (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dönüşür.

Atmosferik oksijen yada oksijene olmuş sular ile temas oksidasyon derecesini artırır ve deşarjda jeotermal azot inorganik azot bağlı bileşiklerin konsantrasyonunu sağlayan bakteriyel oksidasyon ve redüksiyon olan yerde kompleks biyokimyasal azot çevirimi parçası olur. Bunlara çözünmüş moleküler azot N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ve nitrat, amino asitler, aminler, proteinler ve humikli materyaller gibi organik bileşikler dahildir.

Kirleticiler yüzey yada yeraltı sularından sedimentlerce adsorbsiyon yada çökeltme ile uzaklaştırılabilirler. Arsenik, bor ve cıva; kil ve okside yüzeyler ve organik madde tarafından adsorbe edilirler. Bu sürekli olmayabilir. Adsorblanan kirleticiler kimyasal şartlar değiştiğinden yada bakteriyel aktivite değiştiğinde sedimentten tekrar salınabilir. Örneğin, mikrobial redüksiyonla adsorblanan cıva suya metilciva olarak cıva bırakabilir. Mineral çökeltmesi çok nadiren çözüldüden kirleticileri uzaklaştırabilir; cinnabar(HgS) yada pirit (FeS<sub>2</sub>) çökeltimi uygun anaerobik şartlarda oluşabilir. Amonyak, hidrojen sülfür ve cıva gibi uçucu kirleticiler de atmosfere verilebilir.

Bunun yanında lityum; sudan kolayca uzaklaşmaz., ve jeotermal sıvı göçü ve seyrelmesinde tracer olarak davranır.

### 1.2.2. Toksiklik ve Çevresel Etkiler

Kimyasal maddelerin, topluluklara biyolojik etkide bulunmadıkça çevreye verilmesi problem olmaz. Bunun için negatif etkisi olmalıdır. Kimyasalların çevreye verilmesi durumunda ekosistemin tamamıyla korunması gerekmektedir.

Yüzey sularının kalitesinin bozulması çevreyi geniş çaplı etkiler. Bu etkiyi şu şekilde sınıflandırabiliriz;

- ✓ Sıvı yaşam
- ✓ Depolama, (eğer su depo suyu olarak kullanılıyorsa)
- ✓ Ürünler, (eğer su sulamada kullanılıyorsa)
- ✓ İnsanoğlu, eğer su içme suyu olarak kullanılıyorsa, yada susal hayvan yada bitkilerde stoklanıyor yada bu ürünler doğrudan tüketiliyorsa.

#### 1.2.2.1 Lityum ve Borik Asit

Eğer yüzey yada yer altı suları sulamada kullanılıyorsa, ürünler ağaç yapraklarına zararlı olan yüksek bor ve lityum konsantrasyonları ile olumsuz etkilenir. Etkilenimin derecesi ürünün dayanıklılığına ve toprak tipine bağlıdır. Bazı topraklar oldukça az borik asit adsorbe eder ve toprağın bor tarafından etkilemesi etkisini azaltır. Eğer bitki bu tür toprakta yetişiyorsa borun toksit etkisinden korunacaktır. Bor insan sağlığını olumsuz etkiler. Örneğin, yüksek bor konsantrasyonlu bor içme suyu insanda kilo kaybı ve bağırsak sistemi rahatsızlıklarına neden olur.

#### 1.2.2.2 Arsenik

Yüksek konsantrasyonlu arsenik içecek sudan çok özellikle yiyecek yada içecek alımıyla zamanla oluşan akut zehirlenmeye ; stok ve sulu yaşamda zehirlenmeye neden olur. Kirlenmiş suda büyüyen bitkiler inorganik arseniğin yüksek konsantrasyonları birikir ve böylece zehirli olabilir. Bu durum Yeni Zelanda'da Waikato Nehri'nde saptanmıştır. Nehre Wairakei ve Ohaaki'den drenaj olmaktadır. Nehirdeki susal bitkiler 6000 mg/kg üzerinde As içermektedir. Nehirdeki istenmeyen otlar alınıp kıyıya bırakıldığında kıyıda bitkilerin ölmesi olayı kanıtlanmıştır.

Sedimanlarda birikmiş arsenikte dikkatle incelenmelidir. Boşaltılan arsenik As'çe zengin sedimentler ile yeniden nehre dönebilir.

Arsenik ağaç yapraklarında renk bozukluğuna neden olur. Örneğin; eğer arsenik bulaşmış toprakta tütün yetişirse bu anlaşılır.

Arseniğin direkt kanser neden olduğu ve WHO(1993) tarafından dikkatle incelenmesi belirtilmiştir. Yeraltındaki arsenikçe zengin kayalar tarafından yeraltı sularına da yüksek oranda arsenik verilebilir.

#### 1.2.2.3 Cıva

Çözünmüş cıva sudan adsorbsiyon ile kolayca uzaklaştırılır. Bunun anlamı jeotermal sıvıdaki cıva oranından çok nehre yada çevre suyuna verilen cıvanın toplam miktarının dikkate alınmasıdır. Cıva bakteriyel işlem ile cıvadan daha toksit olan metil cıvaya dönüştürülerek sedimalardan tekrar uzaklaşabilir ve bu biçimde sulu yada karasal besin zincirinde birikir. Bunun için güzel bir örnek Yeni Zelanda 'da Waikato Nehri'nde vardır. Jeotermal alanlara yakın göllerdeki sedimanların cıva konsantrasyonları 0.4 mg/kg civadadır. Alabalıklar jeotermal alanların yukarı akımlarından 5-15 kat daha fazla cıva içermektedir.

Cıva susal bitkilerde ve hayvanlarda baskın olarak metilciva şeklinde birikir. İnsanoğlu için çok toksit etkisi olan metil cıva merkezi sinir sistemine zarar verir.

Civanın insan tarafından alımı doğrudan içme suyundan daha çok özellikle yiyecekler yoluyla oluşur. Örneğin, 1960'larda Japonya'da oluşan önemli cıva zehirlenmesi, endüstriyel atıkların yakınında tutulan balıkların tüketilmesi sonucu olmuştur.

İnorganik cıva biyobirikim göstermez, fakat eğer yüksek miktarda alınırsa böbrekleri etkileyebilir. Hayvanlar inorganik cıva ve metilcivaya bitkilerden daha duyarlıdır. Sonuç olarak; tatlı su ve birikmiş sulardaki cıva konsantrasyonları toksit etkisinden ve besin zincirindeki biyobirikimden korunmak amacıyla kontrol edilmesi gerekmektedir.

#### 1.2.2.4 Hidrojen Sülfid

Suda çözülmüş hidrojen sülfidin insan sağlığını olumsuz etkileyecek yüksek konsantrasyonlara ulaşması olası değildir. Su hidrojen sülfid kokabilir ve çok düşük konsantrasyonlarda bile tadı lezzetsiz olabilir. Bu yüzden normalde içme, birikim yada sulama sularında hidrojen sülfid konsantrasyonu için önerilen limit yoktur.

Bununla birlikte, çözülmüş gaz olan hidrojen sülfid balıklar ve sudan çözülmüş oksijeni alan susal yaşamlar için oldukça toksiktir. Hidrojen sülfid pH artışıyla daha az toksit olan bisülfid iyonuna dönüşmesi ile susal yaşam olan toksitise azalır.

#### 1.2.2.5 Amonyak

İçme sularındaki çözülmüş amonyak tat ve renk problemleri oluşturabilmesine rağmen insan sağlığını direkt olarak etkilemez. Bununla birlikte, yüzey sularında amonyak bitki için çok önemli besleyici olan nitrat formuna okside olur. Eğer susal bitki gelişimi nitrat konsantrasyonu ile sınırlandırılırsa; nitrat konsantrasyonunun artması istenmeyen susal yabancı otların büyümesine yol açar. Bu nehir yada akarsuyu tıkayabilir, oksijeni tüketir.

#### 1.2.2.6 Tuzluluk

Eğer tuzlu jeotermal sıvı ile kirlenmiş su sulamada kullanılırsa; bitkilerde olumsuz etkiler olabilir. Sodyum ve klordaki gibi iyonları toksit etkisinin direkt olmasıyla birlikte nem isteyen bitkilerin yaptığı ozmotik işlemi toprağın tuzluluğunun artması olumsuz etkiler. Bazı ürünler, özellikle badem ve kayısı gibi çekirdekli meyvalar; sodyum ve klor konsantrasyonlarına çok duyarlıdır. İçme suyunun tuzluluğunun artması ağırlık kaybı, süt yada yumurta üretimi azaltılmasına neden olur. Tatlı su susal yaşam da su tuzluluğu değişimine oldukça hassastır.

#### 1.2.3 Etkilerin Azaltılması

Yüzey sularının atık su yada yağışmış su ile direkt kirlenmesinin önlenmesi genellikle bu sıvıların araziye reenjeksiyonu yoluyla olur. Ancak bu da yer altı sularının kirlenmesine neden olur. Yeraltı sularının kirlenmesi yeraltı suyu akiferi boyunca reenjeksiyon kuyularında casing (çelik çekme boru) kullanımı ve biriktirme havuzlarında istenmeyen sızıntıları önlemek için kaplama yoluyla önlenir.

Kirleticilerin uzaklaştırılması bir tercihtir ve işlem tesisine ticari girdiyi sağlar. Kimyasalın kazanılması, saflaştırılması ve satışı mümkün olabilir. Saf kalsiyum silikat, koloidal silika, arsenik, lityum, altın ve gümüş eldesi bazı alanlarda (özellikle Yeni Zelanda) ve farklı derecelerde başarılarla denenmiştir. Ayrıca işlenmiş atık su suyun az bulunduğu alanlarda kullanım suyu olarak kullanılabilir. Çoğu ülkeler susal ekosistemleri ile içme, sulama, stoklama gibi özel amaçlar için kullanılan suyun korunması amacıyla standartlarını geliştirmekte yada adapte etmektedirler. Kılavuzlar ve standartlar (genellikle kılavuzlar yasal statüdedirler) sudaki kirlilik konsantrasyonları için en yüksek sınırı koşullar koyar ve suyun özel kullanımını belirler. Bu önerilen değerlerin üzerindeki seviyelerde ya doğrudan yada dolaylı olarak biyolojik yaşama etki beklenir. Bu sınırların altında, uzun yada kısa vadede etki olmaz çevresel kalite devam eder.

### 1.3. Çevreye Fiziksel Etkiler

Jeotermal alanın araştırılması, geliştirilmesi ve uygulanması kaynağın çevresindeki fiziksel çevreye önemli etkiler yapar. Başlangıçta jeokimyasal ve jeofiziksel ölçümler için yol açmak amacıyla yapılan çalışmalar nedeniyle yapılan araştırma kademesi boyunca; etki az olacaktır. Eğer karar araştırma sondajlarını yapmaya yönelik olursa bu aşamada ulaşım yolları ve sondaj patikaları gerekir. Sondaj çalışmalarından dolayı gürültü emisyonu olur. Gelişmeler arttığında, daha sonraki sondajlar, boru hatları ve santral için daha çok alana ihtiyaç duyulur ki fiziksel etkiler artar. Ayrıca bu oluşumlar sırasında, gürültü kirliliği artar. Yerel su yolları (kanallar) da etkilenir ve manzaranın görüntüsü büyük yeryüzü çalışmaları ile şiddetlice değiştirilebilir. Araştırma aşamasıyla, fiziksel çevrede pek çok sayıda yeni etkiler önemli olur. Doğal jeotermal aktivite artar yada azalır, yerel iklim etkilenebilir, büyük hacimli ılık su yerel su kanallarının termal kirliliğine katkıda bulunabilir ve bazı alanlar çökmeye maruz kalabilir

#### 1.3.1 Gürültü

Gürültü jeotermal aktiviteden çevreye özellikle inşa ve operasyon aşamalarında zarar veren önemli etkilerden biridir. Gürültü "istenmeyen ses" olarak tanımlanabilir ve her aşamada bu etkinin azaltılmasına özen gösterilmelidir. Çoğu jeotermal alanlar gürültü seviyesi düşük ve ekstra gürültünün dikkat çektiği uzak alanlardadır.

Gürültü araştırma sondajlarında, inşa ve üretim fazlarında oluşur. Havalı sondaj en gürültülü (120dBA)'dür. Uygun susturucu ile 85 dBA civarına indirilebilir. Çamur sondajı 80dBA civarında gürültü ile daha sessizdir. Dizel motorların çalıştırdığı kompresörler ve elektrik üreticilerde uzak mesafeler taşıyan yankılanan sesler üretir.

Sondajı takip eden period kuyu deşarjıdır. Dikey deşarj çok gürültülüdür (120 dBA yukarısı), fakat kuyuların temizlenmesi ve sondaj kırıntılarının uzaklaştırılması için gerekmektedir. Bundan sonra, normal kuyu testi aşaması vardır. Bu aşamada susturuculu silenser kullanımı ile uygun şartlar sağlanabilir. Ancak hala hissedilebilir. Gürültü(70-110dBA) vardır. Yeni dizayn edilmiş silensirlarda gürültü önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu aşamayı gürültünün 85 dBA civarında olduğu 65 dBA'e indirilen kuyu üretimi izler.

İnşa aşaması ağır makinaların kullanımı (90dBA üstü) ile normal ses getirir. Uygun susturucu ile yüzeyde hareket eden ekipmanların gürültüleri azaltılır. Üretim dönemi boyunca, buharın borularda dolanması ve ara sıra deşarj salımı ile gürültü vardır. Bunlar normal olarak kabul edilebilir. Güç santralinde asıl gürültü kirliliği soğutma kuleleri fanlarından, buhar tahliyelerinden ve türbin çalışmasından gelir.

#### 1.3.2 Doğal Alana Etkiler

Sıcak su kaynakları, çamur havuzları, gayzerler, fümeroller gibi doğal yüzey özellikleri çoğu jeotermal sistemler ile çağrışım yaparlar. Hepsinin ortak doğal özelliği, turistler tarafından ilgi çekmeleri ve bölgesel yerleşimlerde kullanılmalarıdır. Aynı rezervuardan jeotermal kullanım bu türlerin potansiyelini etkiler. Jeotermal aktivitenin görünen belirtisi, ülkenin mirası ve her jeotermal gelişmede, çevresel etki raporu boyunca dikkate alınmalıdır.

Araştırma safhasında, doğal çıkışlar normal olarak sıcaklık, sıvı akışı, ısı akışı, kimya ve derin rezervuar hakkında bilgi almak için araştırmalar gibi bilgilerle analizlendirilirler. Bu bilgi ayrıca özellikler için düzenli ölçüm programının çekirdeği olmalıdır.

Bölgesel hava durumu ve yağışlar gibi bölgesel sismoloji ve çökme gayzerlerin bir etkisinin olabileceği işaretlenmelidir. Jeotermal gelişmelerin yüzeydeki jeotermal türlere direkt etkisini tahmin etmek zordur.

Bununla birlikte, işletilen jeotermal alanlarda gözle görülen bir tecrübe vardır ve genel fikirler yapılabilir.

Su baskın sistemlerde, derin jeotermal suyun akışına bağlı yüzeylemeler derin rezervuarın üretilmesi ise azalma eğilimi gösterirler. Wairakei'de başlangıç üretimi boyunca derin rezervuarda su seviyesinin 200 m'ye düştüğü yerde, gayzerlerin ve doğal kaynakların olduğu Wairakei Geysir Valley'deki termal alan yok olmuştur.

Buhar baskın jeotermal sistemlerde, ki başlıca hareketli sıvı buhardır; rezervuar basıncındaki azalma direkt olarak yüzey deşarjlarında azalmayı etkiler. Bu doğal aktivitenin buhar ve gaz jetlerinden oluşan Larderello'da kanıtlanmıştır.

### 1.3.3 Hidrotermal Püskürme

Çok nadir olmakla birlikte, hidrotermal püskürmeler aktif jeotermal sahalarda potansiyel zarar vericidir ve çevresel etki değerlendirme içine dahil edilmelidir.

Aşağıdaki noktalar, hidrotermal püskürme olasılığının incelenmesinde dikkate alınmalıdır.

- ✓ Daha önceleri hidrotermal püskürmelerin oluşması yada kanıtları
- ✓ Rezervuar basıncı düşmesi yada buhar zonu artışından yüzeye buhar akışının artışı
- ✓ Güçlü yayımlı yada aşırı ısınmış buhar emisyonu ve yoğun olmayan düşük yoğunluklu sığ formasyonlar
- ✓ Yüzeye yakın akifer sıcaklıklarının derinlikle kaynama noktasına yaklaşması
- ✓ Sondaj süresince sığ gaz cepleri, dolaşım yada blowout

### 1.3.4 Çökme

Her tür yeraltı rezervuarında sıvı çekimi, gözenekli alanda basınç azalmasına neden olur ki bu çökmeyi oluşturmaktadır. Çökme yeraltı suyu rezervuarlarında, petrol rezervuarlarında ve jeotermal rezervuarlarda gözlemlenir. Çökme jeotermal güç üretimi için pek çok anlama sahiptir ve çevresel etkisi vardır. hareketi jeotermal sahada boru hatlarının drenaj ve kuyu casingların stabilitesinde önemli sorunlar yaratır. Eğer arazi yerleşim yerlerine yakın ise çökme çekme kuyuları ve diğer binaların stabilitesinde problemlere neden olur. Mekan olmayan daha uzak alanlarda, bölgesel yüzey su havza sistemleri etkilenebilir. Bu yüzden etkiler ve olası çökme çevresel etki kapsamında kabul edilmelidir. Benzer şekilde, çekim öncesi sistem yerleştirilmeden önce temel seviyeler araştırılıp belirlenmelidir. Böylece çekim nedeniyle seviyede tektonik değişimlerin olup olmadığı belirlenmiş olur.

Çökmenin su baskın alanlarda buhar baskın sahalara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Kaydedilen en büyük çökme Yeni Zelanda Wairakei'dedir. Wairakei'de ki çökme üretim öncesi ve üretim süresince ölçülmüştür. Wairakei tektonik aktif zonda yer almaktadır ve yıllık yaklaşık 5 mm çökmeye sahiptir. Üretimin ilk yıllarında arazinin kuzeydoğu kıyılarında büyük çökme oranı belirlenmiştir ki değer max. çökme 450 mm/yıl'dır. Bu şimdilerde yaklaşık 300 mm/yıl'a gerilemiştir

Düzenli seviye araştırmaları Yeni Zelanda Ohaaki jeotermal sahasında deşarj ve üretim periodları boyunca çökmenin olduğunu göstermiştir. Yine aynı sahada ılık ve sıcak doğal havuzlarda soğumaların olduğu saptanmıştır. Ohaaki doğal havuzunda test yapılmış ve test süresi boyunca 1978-1987 yılları arasında su seviyesi 9.5 m düşmüştür. Test sonrası su seviyesi tekrar yükselmiştir. Yeraltı su seviyesinde de birkaç metre düşüş gözlemlenmiştir.

Eğer rezervuardan alınan sıvı oranında rezervuara sıvı enjekte edilmezse kütle kaybı nedeniyle gravite azalması oluşur. Bu nedenle üretim boyunca yükseklik ve gravite değişikliklerinin ölçülmesi rezervuarda oluşan değişikliklerin belirlenmesinde önemli ve değerli bilgiler verir. Örneğin; İzlanda Krafta alanında 1976 yılından beri üretim yapılmaktadır; yalnızca Svartgengi jeotermal sahasında önemli gravite değişikliği gözlemlenmiştir. İzlanda Reykjanes Yarımadası'nda üç adet yüksek sıcaklıklı

jeotermal alan bulunmaktadır (Svartsengi, Eldrop ve Reykjanes). Svartsengi jeotermal sahasında üretim yüzünden farkedilebilir yükselti ve gravite değişikliği saptanmıştır. Svartsengi'deki maksimum çökme 10 mm/yıl ve gravite düşüşü 5µgal/yıl'dır. Dünyadaki diğer alanlar ile karşılaştırıldığında bu değer çok yüksek değildir. Svartsengi

Glowacka, Meksika Cerro Prieto jeotermal sahasında çökmenin ortalama olarak 100 mm/yıl olduğunu belirtmiştir. Filipinlerde Bulalo jeotermal sahasında gravite azalmasının 26 µgal/yıl olduğu açıklanmıştır. Mosson ve Segall ABD Kalifornia Geysir sahasında çökmenin 48 mm/yıl olduğunu 1973'ten beri toplam çökmenin 1.09 m olarak kaydedildiğini belirtmiştir. Vadon ve Sigmundsson Svartsengi, İzlanda'da maksimum çökmenin 20 mm/yıl olduğunu ölçmüşlerdir. Yine Massonnet ABD East Mesa jeotermal sahasında çökmenin 19 mm/yıl olarak tespit etmişlerdir.

### 1.3.5 Depremlerin Oluşumu

Jeotermal sahalar genellikle yüksek sismik aktiviteli alanlarda oluşurlar. Bu durumda, tümüyle jeotermal alandan çekimle ilgili olmayan depremler sürekli olur. Düşük ölçekli mikro depremler sismik olaylardır ve sadece cihazlar ile ölçülebilir. Bu sismik aktivite jeotermal sistemler aktif olarak üretilsin yada üretilmesin vardır ve yeraltı yüzeyi kolları boyunca suyun akışı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Pek çok jeotermal sahada mikro deprem aktivitesinin araştırılması yapılmaktadır ve bölge fay yapılarının pozisyonu hakkında bilgi verebilecek yer kanıtları vardır.

Üretim ve reenjeksiyonu direkt etkileyen mikro depremler Geysers'de gözlemlenmiştir. Fakat dünyada herhangi bir yerde sismiğin neden olduğu üretim zararı kayıtlanmamıştır.

Sıvının derin formasyonlara enjeksiyonunda depremlere neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu olay; Colorado'da Rock Flats alanında 3000 m derinliğe atık suyun enjeksiyonundan sonra bölgeye yakın şehirlerde pek çok sayıda depremin hissedilmesi ile saptanmıştır. Benzer şekilde, Wairakei'de jeotermal sahasında yüksek basınç altında reenjeksiyon bölgede depremlerin hissedildiğinde durdurulmak zorunda kalınmıştır.

Ohaaki sahasında 1987-1992 yılları arasında sismik ölçümler yapılmıştır. Gözlemler sonucunda üretim sırasında sismik aktivitenin düşük olduğu saptanmıştır.

### 1.3.6 Atık Isı

Farklı elektrik üretimi yöntemleri için atık ısı miktarları aşağıdaki gibidir.

İşlem	Atık Isı ( $\times 10^{10}$ kWh/yıl)
Nükleer	1.86
Kömür	1.2
Fuel Oil	1.2
Doğal Gaz	1.2
Buhar Baskın Jeotermal	4.5
Su Baskın Jeotermal	9.7

Jeotermal sistemlerden enerji üretilmesiyle büyük oranda atık ısı oluştuğundan bunun çevresel olarak kabul edilmesi için dağıtılması gereklidir.

Buhar baskın sistemlerdeki atık ısı soğutma kulesi atıkları formunda atmosfere yada soğutma kuleleri su dış akımları formunda yüzey sularına deşarj edilebilir. Su baskın sistemlerde; atık ısı su ve buharla ayrılır. Su baskın jeotermal sistemlerin su içeriklerindeki atık ısı miktarı binary cycle tesislerde arttırılmaktadır. Bu yolla, sıcaklık azaltılır ve sonuç olarak çevresel etki azaltılır. Aynı şekilde, pek çok jeotermal işletmeler şimdilerde atık jeotermal sıvıyı derin reenjeksiyon ile atar ki reenjeksiyon ısı içeriği yüzünden çevresel etkileri kabul edilebilirdir.

Atmosfere deşarj bölgesel iklimi etkiler, oysa yüzey sularına deşarj bölgesel bitkisel yaşamı etkiler. Genelde, biyolojik etkiler daha tehlikeli olarak kabul edilir. Bu yüzden eğilim yüzey deşarjından çok buharın atmosferik deşarjına doğrudur.

Jeotermal enerjinin termal etkisi global ısınma açısından önemlidir. Bunun için tesisin kütle transfer şeması belirlenip izlenmelidir. Analizlerde doğal ısı girişi e ısı çıkışı belirlenmelidir.

Farklı ısı kaynaklarının global ısınmaya etkisi farklı olmaktadır ve bunun için Global Warming Potential (GWP) geliştirilmiştir. Karbondioksit referans madde olarak alınmıştır. Örneğin; 1 kgCO<sub>2</sub>-Eq/kgCO<sub>2</sub>. Diğer sera gazları metan (CH<sub>4</sub>, XkgCO<sub>2</sub>-Eq/kgCH<sub>4</sub>) ve azot dioksit (N<sub>2</sub>O, XkgCO<sub>2</sub>-Eq/kgN<sub>2</sub>O)

### 1.3.7 Zararlı Atıklar

Jeotermal çalışmalar önemli miktarda zararlı atık üretebilir ve bunun için bunların uygun depolama yöntemlerinin bulunması gereklidir. Jeotermal sular ağır metal –özellikle arsenik-içerirler zararlılar sınıfına sokulurlar. US'de zararlı atık depolama alanları varken, çoğu ülkelerde bu atıkların bölgesel alanda depolanması gerekmektedir.

Sondaj boyunca sondaj çamuru; yağ ve petrol ürünleri ve çimento atıkları formunda üretilir. Sondaj çamurları alkalidir ve yüksek konsantrasyonda krom ve pek çok kimyasali beraberinde içerir. Sondaj çamuru ya kuyuda sirkülasyonda kaybedilir yada sondaj sonunda katı atık olarak atılır. Çimentolama silika flor gibi zararlı olabilecek bazı içeriklerine rağmen normal olarak zararlı olarak tanımlanmaz. H<sub>2</sub>S'in azalması istendiği buhar baskın sistemlerde sondaj süresince kullanılan kimyasallar zararlı olabilirler ve özel olarak saklama gerektirirler.

Güç santrali tarafından üretilen temel katı atıklar soğutma kulesi sulu çamurdur. H<sub>2</sub>S azaltılın yada azaltılmasın bunlar normalde baskın olarak sülfürü muhtemelen cıva ile içeriğidir.

Daha sonraki atık yalıtım maddesi olarak asbestin kullanılması bazen zararlı kabul edilmektedir.

## 2. ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ (ÇED) VE ZARARLI ETKİLERİN AZALTILMASI

Çevresel etki değerlendirmesi arazi gelişimi için uygulamalarda birinci ve en önemli dökümandır. ÇED aşağıdaki potansiyel etkileri içerir;

**Hava Kalitesi:** Atmosferdeki kirlenici gazların konsantrasyonları, tahmini gaz salınımı ve buhar deşarj kimyası, kirlenici seyrelmesi, atmosferde dağılımı, hava kalitesi kriteri ile yağ ve kuru çökelim oranları ve bitki ve yüzey sularında ikincil etkilerin bilgilerini içermektedir.

**Arazi:** Bölgesel arazi kullanımı genel bakışı ve insan nüfusunun dağılımı, bölgesel bitki dağılımı, karasal ekosistem, toprak tipi, gaz deşarjının (ikincil etki) potansiyel etkileri ve yüzey suyu kirlenmesi (sulama), çökme potansiyeli ve jeotermal yapısını içerir. Topraktaki jeotermal kirlenicilerin başlangıçtaki değerleri de ölçülmelidir.

**Su Kalitesi:** Yüzey ve yer altı sularının kirlenicilerinin geçmiş konsantrasyonları, tahmini atık su ve yoğunlaşma deşarj kimyası, yüzey ve yeraltı sularında kirlenici seyrelmesi ve dağılımı; bitkiler, omurgasızlar ve balıklar dahil susal yaşam detaylarını içerir.

**Sosyal Yapı:** Civardaki insan popülasyonunun incelenmesi, önceki jeotermal gaz çıkışları, gelişmeye bağlı olarak arazi ve su ihtiyacı, danışma prosesinin tamamlanması, ilgilerin belirlenmesi ve tazminatların belirlenmesini içerir.

ÇED ayrıca sahada kullanılan özel kimyasalların çevresel etkilerinin değerlendirilmesini de içerir. Bu sayede kullanılan kimyasalların sayım çizelgesinin yapılmasını, depolama ve saklamada ön önlemlerin alınmasını, yüksek riskli alanların belirlenmesini ve havaya yada suya sızma yada dökme olaylarında ölçümlerin alınmasını içerir. Sürekli ölçüm ve kontroller ile jeotermal enerji zararsız enerji kaynağı olmaktadır. ÇED ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerin tamamının gelişmiş ülkelerin gerisinde kalmakla birlikte Filipinler’de ÇED çalışmalarının 1977 yılından beri jeotermal projelerde istendiği dikkat çekicidir. Almanya Federal Cumhuriyeti jeotermal çalışmalarda ÇED işlemlerine bu tarihten on yıl sonra başlamıştır.

ÇED toplum çalışanlarına çevresel sonuçların anlaşılmasına yardımcı olur. ÇED basit ayarlamalar ile geliştirilebilir ve ülke standartlarına ayarlanabilir. Günümüzde Dünya Bankası ve Inter American Development Bankası projelerinde ÇED yerlamkatadır.

Genellikle jeotermal aktivitelerin tekbir etkisi göz önüne alınmaktadır. ÇED işlemi ancak işletme sırasında düzenli ölçüm ve kontrollerin yapılması ile etkili ve yararlı olabilir.

ÇED mutlaka multü disiplinler sistemde hazırlanmalıdır. Doüal ve sosyal bilimler devreye sokulmalıdır. Çevresel etkiler değerlendirme araştırmaları düzenli olarak yapılmalı ve düzenli olarak yayımlanarak halk bilinçlendirilmeli ve bilgilendirilmelidir. ÇED çalışmalarına hava emisyonları, hava kalitesi ve yeraltı ile yerüstü su kalitesi bilgileri dahil edilmelidir.

### 3. SONUÇ

Yapılan araştırmalar sonucu dünya nüfusunun %17’sinin elektrik ihtiyacının jeotermal enerji kullanımı ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjinin fosil yakıtların yerine kullanılması sera etkisi yapan gaz emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Fakat bununla birlikte jeotermal enerjinin kullanımı ile çevreye fiziksel ve kimyasal zararlı etkiler yapabilir. Bu amaçla jeotermal araştırma ve uygulamalarında gerekli olan jeolojik, jeofizik ve kimyasal bilgiler toplanmalı ve bunların değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu sayede jeotermal enerjinin çevreye verebileceği zararlara karşı önlem alınması ile çevreye dost olması sağlanmış olur.

Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjiye doğru yönelim göstermiştir. Aynı zamanda doğal kaynakların restorasyonu ve korunması, çevrenin olumlu etkilenmesinin sağlanması ve yaşam şartlarının kalitesinin artırılmasına aynı anda dikkat edilmesi gerekmektedir. Pek çok doğal kaynaklara göre jeotermal kaynakların çevreye etkisi olumsuz değildir. Ancak yine de eğer uygun ölçümler yapılmaz ve kontroller sağlanmazsa jeotermal enerji her ne kadar diğer enerji kaynakları gibi zararlı olmasa da çevreye negatif etkiler yapar.

### KAYNAKLAR

1. ALLİS, R. G. and T. H. HUNT, “Analysis of exploitation induced gravity changes at Wairakei Geothermal Field”, *Geophysics*, 51, 8, 1647-1660, 1986.
2. ANDRES, R. B. S and J. R. PEDERSEN, “Monitoring the Bulalo geothermal reservoir Philipines using precision garvity data”, *Geothermics*, 22, 5/6 395-402, 1993.
3. BADRUK, M., “Removal of Boron from Geothermal Brines of Kızıldere by means of Co-precipitation and Ion-exchange methods”, Ph. D. Thesis, 1998.
4. BROWN, K.; “Impacts on the Physical Environment”, *Environmental Safety and Health Issues in Geothermal Development*, Japan, 2000

5. Geothermal Education Office Web Pages, 2001
6. Geothermal Energy Association Web Page, 2001
7. Geothermal Energy Programme Web Pages, 2001
8. GLOWACKA, E., "Surface deformation in the area of Cerro Prieto (B.C. Mexico) and it relationship with seismicity, local tectonics and fluid extraction". *Geothermia, Rev. Mex. De Geoenergia*, 15, 1, 39-46, 1999
9. HUNT, T. M, BROMLEY, C.J, "Some environmental Changes Resulting from Development of Ohaaki Geothermal Field, New Zealand", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 621-626, 2000
10. IGA Web Pages, 2001
11. KALTSCHMITT, M., "Environmental Effects of Heat Provision from Geothermal Energy in Comparision to Other sources of Energy", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 627-632, 2000.
12. KRÍSTMANNSDOTTİR, H., SÍGURGEIRSSON, M., ARMANNSSON, H., HJARTARSON, H., And OOLAFSSON, M., "Suphur emission from Geothermal Power Plants in Island", *Geothermic*, 1999.
13. MASSONNET, D. ,T. HOLZER And H. VADON, "Land subsidence caused by the East Mesa geothermal field, California, observed using SAR interferometry", *Geophys. Res. Letters*, 24, 8, 901-904, 1997.
14. MOSSON , A. and P SEGALL, "Subsidence at the Geyser geothermal field, N. California from comparision of GPS and levelling surveys", *Geophys. Res. Letter*, 24, 14, 1839-1842, 1997.
15. ORTEGA, R. G, NUFÍEZ, M. Q., CUETO, R G., "H<sub>2</sub>S Dispersion Model at Cerro Prieto Geothermoelectric Power Plant", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 579-583, 2000.
16. WEBSTER, J.; *Chemical Contaminants and their Effects, Environmental Safety and Health Issues in Geothermal Development, Japan*, 2000
17. WHO (1993) *Guidelines for Drinking Water Quality*
18. World Bank Web Pages, 2001
19. MARANI, M., TOLE, M. And OGATO, L.; "Concentrations of H<sub>2</sub>S in Air Around The Olkaria Geothermal Field, Kenya" , *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 649-661, 2000.
20. ORTEGA, R., NUNEZ, M. And Cueto, O.; "H<sub>2</sub>S Dispersion Model Cerro Prieto Geothermoelectric Power Plant", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 579-584, 2000.
21. GLOWACKA, E., GONZALEZ, J. And NAVA, F.; " Subsidence in Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 591-596, 2000.
22. EYSTEINSSON, H., " Elevation and Gravity Changes at Geothermal Fields on The Reykjanes Peninsula, SW Iceland", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 559-564, 2000.
23. HUNT, T. And BLOMLEY, C.J.; "Some Environmental Changes Resulting From Development of Ohaaki Geothermal Field, New Zealand, *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 621-626, 2000.
24. GOFF, S.; " The Effective Use of Environmental Impact Assessments (EIAs) For Geothermal Projects", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 597-602, 2000.
25. LOPPI, S.;" Licken Quality in Geothermal Areas; *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 645-648, 2000.

## ÖZGEÇMİŞ

### Mebrure BADRUK

İzmir doğumludur. 1991 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 1994 yılında Yüksek Mühendis, 1998 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1991 yılından beri MTA Ege Bölge Müdürlüğünde Maden Mühendisi olarak çalışmaktadır. Jeotermal atık sızılardan bor uzaklaştırılması ve silika çökelimini önleme ile jeotermal sızılıların çevreye etkileri üzerine çalışmaktadır.