**Jeotermal Enerji Uygulamalarının Su Kirliliği Üzerine Etkisi**

**Giriş:**

Dünyada nüfus artışı, sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle artan enerji ihtiyacı; yaygın olarak kullanılan fosil yakıt kaynaklarının tükenebilir olması dünyayı bir enerji darboğazına sürüklemiştir. Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %90’ ı fosil yakıtlar olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğal gazdan karşılanmaktadır. Enerji kıtlığına fosil yakıtların çevreye verdiği zararların da eklenmesi üzerine sürdürülebilir, temiz ve çevre dostu enerji kaynakları arayışı başlamıştır. Bu arayış içerisinde Jeotermal Enerji dışa bağımlı olmaması, yenilenebilir ve çevre dostu olması, düşük maliyetli olması gibi özellikleriyle dikkat çekmektedir.

Jeotermal enerji; yerkabuğunun, çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları bölgesel atmosferik sıcaklıkların üzerinde olan, normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar, gazlar içeren sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Jeotermal akışkanı oluşturan sular genelde meteorik kökenli olduğu için Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli olduklarından, yeraltındaki hazneler sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Bu nedenle pratikte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir ve sürdürülebilir kaynak niteliğindedirler.

Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli olan parametreler; yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan (beslenme), akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaç ve ısının kaybını önleyen örtü kayaçtır. Dünyanın merkezinde sıcaklığı 4200° C’yi bulan magma adı verilen eriyik kütle bulunmaktadır. Tektonizmanın yarattığı kırık ve zayıflık zonlarından kabuk içerisinde sığ derinliklere ve/veya yer yüzüne kadar ulaşan magma faaliyetleri jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturur. Yeryüzünden kırık ve çatlaklar boyunca süzülen meteorik sular derinlerde ısındıktan sonra gözenekli ve geçirimli olan rezervuar kayaç içinde birikir. Bu suların bir kısmı fay hatları boyunca yükselerek yeryüzüne ulaşırlar ve jeotermal kaynakları oluştururlar. Üzeri geçirimsiz bir örtü kaya ile kuşatılan ve çoğu zaman yeryüzüne ulaşamayan rezervuar kaya içerisindeki jeotermal akışkan sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkarılır.

Ülkemiz jeolojik ve coğrafik konumu itibarı ile aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal açıdan dünya ülkeleri arasında zengin bir konumdadır. Ülkemizin her tarafında yayılmış 1000 adet civarında doğal çıkış şeklinde değişik sıcaklıklarda birçok jeotermal kaynak mevcuttur.

Ülkemizin jeotermal potansiyeli oldukça yüksek olup, potansiyel oluşturan alanların %78` i Batı Anadolu`da, %9`u İç Anadolu`da, %7`si Marmara Bölgesi`nde, %5`i Doğu Anadolu`da ve %1`i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın %90`ı düşük ve orta sıcaklıklı olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar v.s. ) için uygundur. %10`u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerji üretimi) için uygundur. Jeotermal kaynaklar yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bugün için ülkemizde elde edilen jeotermal enerjiden elektrik üretimi, ısıtma (sera ve konut), termal ve sağlık turizmi, endüstriyel mineral eldesi, balıkçılık, kurutmacılık vb. gibi alanlarda yararlanılmaktadır.

Jeotermal enerjiden yaygın bir şekilde yararlansak da şunu unutmamalıyız ki; çevreye doğrudan ya da dolaylı bazı zararlar vermeden enerjiyi kullanılabilir başka bir forma dönüştürebilmenin herhangi bir yolu yoktur. Jeotermal enerjinin kullanımı, en az kirlilik yaratan formlardan biri olarak kabul edilmesine rağmen, onun da çevreye bazı olumsuz etkileri vardır. Örneğin, bir santralden atık suyun herhangi bir su havzası veya nehre atılmasıyla sıcaklığın 2-3°C artması bile ekosisteme zarar verebilir. Isı enerjisi dışında jeotermal akışkan çok miktarda çözünmüş mineraller de içerir.

Jeotermal enerjideki kirleticiler genellikle elde edildiği bölgeyle ilişkilidir. Jeotermal suların içerisinde arsenik, bor, selenyum, kurşun, kadmiyum, sülfür, cıva, amonyak, radon, karbondioksit ve metan bulunabilmektedir. (Güler ve Çobanoğlu,1997:18)

Jeotermal akışkanın kullanıldıktan sonra atımında 2 temel yöntem vardır: reenjeksiyon ve yüzey sularına boşaltma. Enerji üretimi sırasındaki buharlaşma nedeniyle jeotermal atık suyun içerisinde mineraller jeotermal akışkana göre daha derişik konsantrasyonda bulunmaktadır. Reenjeksiyon sistemi temelde bu atık suyun tekrar yeraltı kaynağına verilmesidir. Mineral içeriğinin tekrar yeraltı suyu kaynağına kazandırılması yönünden avantajlı olsa da mühendislik sistemleri gerektiren pahalı bir yöntemdir. Yüzeysel sulara boşaltımda ise yüzeysel sulardaki mineral konsantrasyonları değişiklik göstermekte bazı durumlarda bu sular içme ve kullanma, tarım sulama suyu kalitesini değiştirebilmektedir.

Bu çalışmadaki amacımız yüzeysel sulardaki mineral değişimlerinin ne miktarda olduğunu bulmak, içme ve kullanma suyu, tarım sulama suyu kalitesini bozmayacak şekilde atık su bertarafını sağlayacak yöntemlerin önemini vurgulamaktır.

**Yöntem:**

Google Scholar arama motoru üzerinden ‘ Jeotermal enerji, çevre kirliliği, su kirliliği’ kelimeleri kullanılarak yapılan aramalarda 3.650 yayına ulaşılmış olup bunların arasından Türkiye’ nin jeotermal bölgelerinde yüzeysel sularda bor, arsenik ve/veya cıva ölçümü yapılan 4 çalışma derlenmiştir.

**Bulgular ve Tartışma:**

Ülkemizde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ nde içme suyu ve tarım sulama suyu kalitesi belirli parametrelerle sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırmaya göre su kalitesi sınıfları:

Sınıf I - Yüksek kaliteli su;

• 1) İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan yüzeysel sular,

• 2) Yüzme gibi vücut teması gerektirenler dahil rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir su,

•3) Alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,

• 4) Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte su,

Sınıf II - Az kirlenmiş su;

• 1) İçme suyu olma potansiyeli olan yüzeysel sular,

• 2) Rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir nitelikte su,

• 3) Alabalık dışında balık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,

• 4) Mer’i mevzuat ile tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu,

 Sınıf III - Kirlenmiş su;

• Gıda, tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler hariç olmak üzere, uygun bir arıtmadan sonra su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir nitelikte su ve sanayi suyu,

 Sınıf IV - Çok kirlenmiş su;

 • Sınıf III için verilen kalite parametrelerinden daha düşük kalitede olan ve üst kalite sınıfına ancak iyileştirilerek ulaşabilecek yüzeysel sular.

**Tablo-1:** Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (İnorganik Kirlenme Parametreleri)

|  |  |
| --- | --- |
|  | **SU KALİTE SINIFLARI** |
| **İnorganik Kirlenme Parametreleri** | **I** | **II** | **III** | **IV** |
| **Cıva (µg Hg/L)** | **0,1** | **0,5** | **2** | **>2** |
| Kadmiyum (µg Cd/L) | 3 | 5 | 10 | >10 |
| Kurşun (µg Pb/L) | 10 | 20 | 50 | >50 |
| **Arsenik (µg As/L)** | **20** | **50** | **100** | **>100** |
| Bakır (µg Cu/L) | 20 | 50 | 200 | >200 |
| Krom (toplam) (µg Cr/L) | 20 | 50 | 200 | >200 |
| Krom (µg Cr+6/L) | Ölçülemeyecek kadar az | 20 | 50 | >50 |
| Kobalt (µg Co/L) | 10 | 20 | 200 | >200 |
| Nikel (µg Ni/L) | 20 | 50 | 200 | >200 |
| Çinko (µg Zn/L) | 200 | 500 | 2.000 | >2.000 |
| Siyanür (µg CN/L) | 10 | 50 | 100 | >100 |
| Florür (µg Fl/L) | 1.000 | 1.500 | 2.000 | >2.000 |
| Serbest klor (µgCl2/L) | 10 | 10 | 50 | >50 |
| Sülfür (µg S/L) | 2 | 2 | 10 | >10 |
| Demir (µg Fe/L) | 300 | 1.000 | 5.000 | >5.000 |
| Mangan (µg Mn/L) | 100 | 500 | 3.000 | >3.000 |
| **Bor (µg B/L)** | **1.000** | **1.000** | **1.000** | **>1.000** |
| Selenyum (µg Se/L) | 10 | 10 | 20 | >20 |
| Baryum (µg Ba/L) | 1.000 | 2.000 | 2.000 | >2.000 |
| Alüminyum (µg Al/L) | 0,3 | 0,3 | 1 | >1 |
| Radyoaktivite (Bq/L) (alfa) | 0,5 | 5 | 5 | >5 |
| Radyoaktivite (Bq/L) (beta) | 1 | 10 | 10 | >10 |

Balçova jeotermal sahasında yapılan bir araştırmada sıcak ve soğuk su noktalarından, ayrıca yüzey su noktalarından örnekler alınarak bor ve arsenik konsantrasyonları incelenmiştir.

**Tablo-2:** Balçova Jeotermal Sahasındaki sulara ait Bor ve Arsenik konsantrasyonları ve su kalite sınıfı

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Örnek No | **B (mg/L)** | **Su Kalite Sınıfı** | **As (µg/L)** | **Su Kalite Sınıfı** |
| **SW-1** | 0,0 | I | 1,5 | I |
| **SW-2** | 9,5 | IV | 182,4 | IV |
| **SW-3** | 3,4 | IV | 63,7 | II |

SW: Yüzey su noktaları

Türkiye’ nin ilk jeotermal enerji tesislerinden biri olan Denizli-Kızıldere jeotermal tesisinde yapılan bir çalışmada jeotermal atık sulardaki kimyasal kirleticilerin konsantrasyonları paylaşılmış olup borik asit ve arsenik konsantrasyonlarının yüksek derişimleri dikkat çekmektedir.

**Tablo-3:** Jeotermal alanlarda atılan jeotermal atık sulardaki kimyasal kirleticilerin konsantrasyonlarının tipik nehir suyu ile karşılaştırılması

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **H2S** | **NH3** | **H3BO3** | **Hg** | **As** | **Li** |
| **Kızıldere** | - | 20 | 160 | - | 0,6 | 4,5 |
| **Tipik nehir suyu** | <0,01 | 0,04 | 0,05 | 0,00004 | 0,002 | 0,003 |

Çanakkale Kestanbol jeotermal akışkanının hidrokimyası ve çevresel etkilerinin belirlendiği başka bir çalışmada ise yine su kalitesi düşük bulunmaktadır.

**Tablo-4:** Kestanbol Jeotermal akışkanının hidrokimyasal özellikleri Bor ölçümleri (mg/L)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Örnek adı | Örnekleme tarihi | Bor  | Su kalite sınıfı |
| K1 | Temmuz 2018 | 10,66 | IV |
| K2 | 10,43 | IV |
| K3 | 11,76 | IV |
| K1 | Ekim 2018 | 11,64 | IV |
| K2 | 19,11 | IV |
| K3 | 9,31 | IV |
| K1 | Ocak 2019 | 15,17 | IV |
| K2 | 16,8 | IV |
| K3 | 16,9 | IV |

Bu çalışmalarda da görüldüğü üzere jeotermal akışkan kullanıldıktan sonra kimyasal içeriği daha derişik olan jeotermal atık su yüzey sularına boşaltılmakta ve bu durum yüzeysel su kalitesini düşürmekte, kullanılabilir su kaynaklarını azaltmaktadır. Mühendislik yöntemleriyle iki çözüm yolumuz mevcuttur. Birincisi atık suyun çökeltme gibi işlemlerden geçirilip arıtılarak yüzeysel sulara boşaltılmasıdır. Bu şekilde elde edilen mineraller kimya endüstrisinde kullanılabilir. Diğer bir yöntem ise jeotermal atık suyun reenjeksiyon sistemi ile tekrar yeraltı su kaynağına verilmesidir. Bu yöntemin avantajı ise yeraltı su kaynağının mineral zenginliğini arttırmaktır. Ancak her iki yöntem de tesislere ek maliyet getirmektedir ve tesisler bu ek maliyetten kaçınmaktadır. Diğer enerji kaynaklarına göre zaten daha çevre dostu olan jeotermal enerji kaynakları; çıkarılacak yeni genelge ve yönetmeliklerle jeotermal atık suların arıtılması ya da reenjeksiyon yöntemi zorunlu koşulursa daha da çevre dostu olacaktır.

**Kaynakça:**

ÇAKIN, A., GÖKÇEN, G., EROĞLU, A., Jeotermal Uygulamaların Çevresel Etkileri: Balçova Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Örneği, *Jeotermal Enerji Semineri*

MARMARA, H., YÜCEL, D. Ş., ÖZDEN, S., YÜCEL, M. A., (2020) , Kestanbol Jeotermal Akışkanının Hidrokimyasının ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi, *Türkiye Jeoloji Bülteni,* G3, 97-116

ÖZKAYA, M. G., YARİYENLİ, H. İ., YONAR, G., (2008) *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi,* Cilt: 29 Sayı:2

ŞİMŞEK, C., Jeotermal Enerji Sahasında Bor ve Arsenik Kirliliği, *Jeotermal Enerji Semineri*

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, *Resmi Gazete* 31.12.2004/25687

[www.mmo.org.tr](http://www.mmo.org.tr)

[www.mta.org.tr](http://www.mta.org.tr)