

JEOTERMAL SULAR ve ÇEVRE

Sevgi TOKGÖZ GÜNEŞ
sevgi.tokgoz@deu.edu.tr

Cihan GÜNEŞ
cihan.gunes@deu.edu.tr

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından yüksek, kullanımı açısından oldukça düşük seviyelerde olmasına rağmen, gün geçtikçe gözlemlenen kullanım artışları nedeniyle yenilenebilir enerji kullanımı açısından oldukça umut verici düzeydedir. Ancak, kullanım artışına bağlı olarak jeotermal atık suların arsenik, bor ve ağır metaller gibi çevresel etkilerini sınırlayabilecek yeni teknolojiler ve etkin uygulamaların geliştirilmesine de ihtiyaç vardır.

Özellikle, Batı Anadolu'da önemli havzalardaki jeotermal su potansiyelinin yüksek olması çevresel açıdan çok önemli soruları akıllara getirmektedir. Örneğin; havza içindeki alüvyon akiferlerin ne kadarı jeotermal sudan etkilenmemiş ve temiz kalmış durumdadır, karışım zonunun boyutu nedir? Gediz (Seferihisar, Balçova, Alaşehir ve Salihli), Kütahya (Simav) ve Büyük Menderes (Aydın ve Denizli) gibi birçok havzadaki bor ve arsenik kirliliğinin nedeni jeotermal kaynaklar ise, ne kadarı jeotermal üretim ve yeraltı suyu kullanımı gibi antropojenik etkilerle ortaya çıkmıştır? Jeotermal su üretim artışı mevcut temiz suları ve sıcak-soğuk su karışımlarını nasıl etkileyecektir, kirlilikler azalacak veya artacak mıdır? Havza yönetimi açısından oldukça kirliletiçi içerikteki jeotermal suların kullanımı sınırlanabilir mi, kirlileten öder prensibi uygulanabilecek midir? Tarımsal açıdan en önemli kirliletiçi olan bor sorunu çözülebilir mi? Su yönetimi çalışmalarında jeotermal atık sular açısından ileriye dönük hangi tahmin modelleri yapılmaktadır? Soruları daha uzatmak mümkündür, ancak cevaplar önümüzdeki günlerde hem havza yönetimlerini hem de toplumun önemli bir kesimini önemli kararlar almaya itecek boyutlardadır. Örneğin, Gediz Havzası'nda incelediğimiz Turgutlu-Alaşehir arasındaki bölgenin yeraltı sularının tamamına yakını arsenik ve bor kirliliği içermektedir.

Ülkemizde çıkarılan sıcak suyun kullanıldıktan sonra bertarafı konusunda değişen koşullara uygun farklı uygulamalar yasal mevzuat kapsamına alınmıştır. Ancak bu, çevresel açıdan sorunları sınırlayan veya çözen bir durum değildir. Üstelik ÇED açısından jeotermal atık suyun yaratabileceği sorunların çözümünü içeren bir çalışma ya da proje de bulunmamaktadır. Ancak, sorunun çözümü açısından sınırlı da olsa olumlu sayılabilecek gelişmeler de vardır. Birçok sahadaki jeotermal suların kirliletiçi etkileri akılcı bir su yönetimi ile sorun olmaktan çıkarılabilir. Örneğin, Balçova-Narlidere havzasında jeotermal kaynaklı arsenik tamamen, bor ise %80 oranlarına kadar suların karışımı ve adsorbsiyon süreçleri ile 2 km'lik akım yolunda doğal olarak arıtılmaktadır. Buradaki bor adsorbsiyonunun nasıl artırılacağı konusunda sahaya özel çalışmalara ihtiyaç vardır. Benzer olarak birçok sahada karışım modellemeleri yardımı ile havza-alan eşik değerleri belirlenerek üretimin alüvyon akiferlerdeki baskıları kontrol altında tutulabilir. Ayrıca, jeotermal reenjeksiyon öncesi kimyasal reçeteler ile sıcak suların içerikleri belirli oranlarda artırılarak alüvyon akiferde sulama açısından sorun olmaktan çıkartılabilir.

GİRİŞ

Yüzey ve yeraltı sularında su seviyesini ve kalitesini korumak, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında hayati öneme sahiptir. Herhangi bir ortamdan (yüzey-yeraltı suyu) alınan suyun yeri, genellikle artan oranlarda kullanmaya bağlı kirlenmiş su, ortamdaki kalan su, yağış suları, yüzeysel sular (deniz-göl-akarsu) veya bunların tümünün kombinasyonunda tekrar depolanması ile tamamlanır. Alınan suya göre tamamlanan suyun kalitesinin tahmin edilerek istenilen oranlarda depolamanın yapılması ve temsili izleme ile iyi durum eğilimi yaratabilme bilinçli sürdürülebilir bir su yönetimidir. Havzada mevcut durumda depolamanın nasıl olduğunun ve bizim bunu nasıl ve hangi oranlarda değiştirdiğimizin, ileriye dönük havza ile ilgili hangi planlarımızın olduğu ve suların kalitesi ve miktarında iyi durum eğilimi yaratmak için beslenme ve kullanıma bağlı kaliteyi nasıl değiştirebileceğimizin bilinmesi veya tahmin edilebilmesi alan ve havza özelinde çok önemlidir.

Batı Anadolu'da hem doğal hem de yeraltı suyu kullanımına bağlı oluşan su seviyesi düşümünün yarattığı hidrolik etkiler batıda deniz suyu girişimi ve havza içinde jeotermal su gibi kirlilik içeren suların yayılmasına aracılık etmektedir. Özellikle, yerleşim alanlarında yeraltı suyunun kullanıldıktan sonra denize boşaltılması hidrolik basıncı azaltarak deniz suyu girişimini arttırmaktadır. Diğer önemli sorun oluşan hidrolik düşüme doğru jeotermal ve indirgen suların hareketidir. Jeotermal sular doğal hidrolik hızlı akım şartları nedeni ile birçok alanda hem doğal hem de kullanıma bağlı kirlilik etkileri yaratmaktadır.

Son 50 yıldır giderek artan tarımsal, kentsel ve endüstriyel su ihtiyacı yeraltı sularının bazı alanlarda yüksek kullanımına bağlı olarak su tablasında 100 m'nin üzerinde düşüşler oluşmasına neden olmuştur. Bu kullanımın yarattığı seviye düşümü, özellikle atık suların egemenliğinde tamamlanmaktadır. Eğer ortamda jeotermal bir kullanım varsa atık suyun deşarj edilme oranında akiferin üst zonlarında (suyun sıcaklığı nedeni ile) hızlı bir yayılıma girmekte ve çok geniş alanlara kadar yayılabilmektedir. Sıcak atık suyun yayılma hızı ve yönü yeraltı suyu kullanım (içme, sulama,...) yönüne doğru ve hidrolik düşümlerle artmaktadır. Eğer yeraltı suyu seviyesi yüzeyin hemen altında ise sıcak su boşalmaları yüzeysel sulara da karışmaktadır.

Gediz (Seferihisar, Balçova, Alaşehir, Salihli, Turgutlu,...), Kütahya (Simav, Gediz,...) Bakırçay (Dikili, Bergama,...) ve Büyük Menderes (Aydın ve Denizli) gibi havzalarda jeotermal kaynaklı bor, arsenik ve ağır metal kirlilikleri tespit edilmiş (Tokgöz Güneş ve Güneş, 2009) ve günümüzde de kirlilikler halen yayılarak devam etmektedir. Ancak, oluşan jeotermal kirliliklerin bazı alanlarda atık su kaynaklı olduğu belirli iken bir çoğunda ne kadar atık su ya da doğal jeotermal içerik olduğu da belirli değildir. Üstelik yeraltı ve yüzey suyu kullanımlarına bağlı yeni akım dinamiklerinin oluşması ve jeotermal su kullanımlarının artışı karışımların çok daha geniş alanlara yayılmasına neden olarak kirlilik sorunlarının büyümesine neden olmaktadır.

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre 31500 MW ve bu miktarın % 77,9'u Batı Anadolu'da bulunmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2013). Bu oldukça avantajlı bir durum olmasına rağmen, bu ısıyı barındıran suyun miktarı Batı Anadolu'daki termal suları barındıran havzaların sularını kullanılamaz hale getirecek boyuttadır. Mevcut durumda, termal sulara yakın alanlarda yüzey ve yeraltı suyu kirlilikleri varken tam kapasiteli kullanım için öngörü yapmak bile korkutucudur. Bu durumda, hem güncel kullanımı sürdürülebilir kılmak hem de kapasite

* Bu bildiri Çevre Mühendisleri Odası adına düzenlenmiştir.

artışının önünü açacak jeotermal su ile ilgili mevcut atık su bertaraf sistemin iyileştirilmesine ve/veya yeni bir arıtma stratejisinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Sıcak Suların Genel Özellikleri ve Kirlilik

Batı Anadolu'daki sıcak sular uzun yıllardır çevre, makine, jeoloji, maden, kimya gibi disiplinlerden birçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve halen kökeni, içeriği, döngüsü ve sorunlarını çözmeye yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Ancak, konu çevresel açıdan incelendiğinde yapılan araştırmalar oldukça sınırlıdır. Konuyu sınırlayan en önemli etken suyun kimyasal olarak çok yüksek oranda çözünmüş içerik ve kirlleticiler barındırmasıdır. Örneğin Tablo 1'de, Gediz Havzası ve Balçova bölgesindeki jeotermal suların yeraltı suları üzerinde yarattığı arsenik ve bor kirlilikleri gösterilmektedir. Ayrıca, sıcak suların yüksek indirgen özellikleri, akiferler üzerinde oluşturduğu desorbsiyon şartlarına bağlı kirlilikler nedeni ile ilave olumsuz etkiler de yapılabilmektedir.

Balçova alanında sıcak atık su, alüvyon akiferdeki yeraltı suları üzerinde büyük bir kirleticiliğe sahip olan yüksek çözünmüş konsantrasyonlar (1637-2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), As (0.176-0.419 ppm) ve B (7.7-14.5 ppm) gibi toksik bileşenlere sahiptir. Jeotermal su kimyası, reenjeksiyon noktasından hidrolik akım yönünde denize kadarki akım yolunda önemli değişimlere uğramaktadır. Akım yolu başlangıcında pH ve elektriksel iletkenlik değerleri sırası ile 6.3 ve 946 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iken akım yolu sonunda 7.45 ve 5720 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (deniz suyu girişi) değerlerine kadar çıkmaktadır. As konsantrasyonu, jeotermal alana yakın birkaç örnek dışında alınan diğer tüm numunelerde kabul edilebilir limitlerin (10 ppb) altındadır. Ancak, bor konsantrasyonları ortalama 2.8 mg/L olarak yasal limitlerin üzerinde olmasına rağmen oldukça azalmıştır. Tüm akifer dikkate alındığında derinlik artışı jeotermal suyun hakimiyetini sonuçlamakta ve kirlilikleri artırmaktadır. Yağış, temiz yeraltı ve yüzey sularının karışım zonu olan akiferin üst kısımları, kirliliklerin en az olduğu kısımlardır. Ayrıca, jeotermal su akım yolu önünde deniz suyu girişi yok iken akım yolunun etrafında deniz suyu girişimleri oluşmaktadır. Bu durum, ortamda yaratılan yüksek akım şartlarına bağlı deniz suyu girişi ile ilişkili olabilir.

Gediz Havzası'nda, hem doğal hem de kullanıma bağlı etkileri kolayca gözlemleyebilmek mümkündür. Bozdağ temiz yüzey ve yeraltı sularının karışım yaparak havzadaki alüvyon akiferde kirlilikleri azaltması, havza önlerinde mevsimsel olarak sıcak suların kullanımına bağlı değişim göstermektedir. Ayrıca, sıcak suların fay zonlarına reenjeksiyon yapılsa bile (döngüye girmemesi nedeni ile) suyun tekrar yükselerek havzadaki yeraltı suyu seviyesi üzerinden yayılım göstermesi kuvvetle muhtemeldir. Bu alanlarda, sıcak suların hareketi ile ilgili ayrıntılı incelemelere gerek vardır.

Tablo 1. Gediz Havzası ve Balçova bölgesindeki soğuk ve jeotermal suların özellikleri. Jeotermal suların yeraltı suları üzerinde yarattığı arsenik ve bor kirlilikleri.

Örnek Adı	Ec µS/cm	DO mg/L	T °C	Eh mV	pH	NO3- mg/L	Na mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl mg/L	HCO3 mg/L	SO4-2 mg/L	As µg/L	B µg/L
Bozdağ M. A. Kaynak	68	6.75	22	388	7.75	2.2	7	9	2	6	32	3	<0.5	31
Bozdağ Kırkoluk	189	7.78	12	458	7.7	2.2	6	29	4	3	97	12	1.4	13
Bozdağ Çamyayla	367	6.33	14	341	7.43	1.3	11	64	7	8	222	9	2	18
Gediz Havzası Köseali Köyü DSİ Kuyusu 60117 nolu	1130	6.43	21	268	7.13	16.4	105	85	44	50	503	93	2.8	1838
Gediz Havzası Karaoğlanlı Köyü M. O.	847	0.49	19	277	6.94	7.5	31	123	27	27	372	108	70.4	60
Gediz Havzası Salıhlı Çıkışı Benzin İstasyonu	477	0.10	19	-17	7.48	2.2	20	71	9	12	251	36	751	19
Gediz Havzası Salıhlı Çıkışı Benzin İstasyonu	566	2.12	21	207	7.32	2.2	69	43	14	5	326	6	1277	117
Alaşehir Deresi	835	-	20	245	7.06	-	142	149	87	156	824	240.0	31	1393
Gediz Havzası 35m sondaj	593	6.2	19	404	6.90	7.5	55	64	9	13	274	57.0	0.8	3719
Balçova Atık Jeotermal Su	1902	-	55	-	7.88	-	408	18	5	183	608	199.0	306	10500
Balçova temiz yeraltı suyu	544		21		7.29	-	10	3	23	20	295	24.0	1.8	100
Balçova kirlili yeraltı suyu	1815		42		6.30		347	21	8	170	436	288.0	170	8500
Balçova kirlili yeraltı suyu	1872	-	27	-	7.00		180	114	33	120.0	530	296.0	1	4400

Yasal Çerçeve

Son yıllarda birçok alanda gerçekleşen hızlı gelişim, yaşam kaynağımız olan su kaynaklarımızda giderek artan kirlilik eğilimlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Avrupa Birliği (AB) ülkeleri, sularının yasal olarak korunmaya ihtiyacı olduğunu belirterek belki de dünyadaki en kapsamlı çalışmaları gerektiren hukuksal altyapıyı oluşturmaya başlamıştır. Ana amaç, tarımsal, endüstriyel ve evsel gibi her türlü insan kaynaklı kirlenici emisyonun sular üzerinde yarattığı baskıları azaltarak daha çevreci ve rekabetçi gelişme sağlamaktır. Su Çerçeve Direktifi çalışmalarına, özellikle yeraltı suları konusunda antropojenik etki öncesi ve sonrasında temel alan suların tanımlama, sınıflama ve eğilimlerini belirleyebilecek metodolojileri geliştirmek için altyapı projeleri (BASELINE ve BRIDGE) ile başlanmıştır. Havza, ülke ve AB boyutunda su kalite parametrelerinin doğal seviyesi (NBL) ve antropojenik etkiyi sınırlayan eşik değerlerin (TV) tanımlanması için farklı veri ve bilgi seviyesine göre metodoloji geliştirilmektedir.

Benzer olarak ülkemizde de, AB ile uyum çerçevesinde bu yasal zemin oluşturulmaya başlanmıştır. Ayrıca, ülkemizde “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu” (resmigazete.gov.tr, 2013) jeotermal suları oldukça geniş bir kapsamda değerlendirmektedir. Bu iki kanuni çerçeve dikkate alındığında, yakın gelecekte birçok jeotermal sahada kirlilik sorunları gündeme gelecek ve önemli kararlar alınmasını gerektirecektir.

AB Su Çerçeve Direktifi çatısı dikkate alındığında, su çalışmalarında jeotermal sular öncelikli konular arasında değildir. Ancak, ülkemizdeki doğal potansiyeli ve yeraltı ve yüzey suları ile ilişkisi ve yarattığı kirlilikler bizim için konuyu öncelikli bir hale getirmektedir. Tarımsal ve endüstriyel gelişim, artan enerji ihtiyacı ve kaynaklarımızın kullanımı çok daha akılcı ve bütünleşik uygulamaları gerektirmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Günümüzde, atık sıcak sudan kurtulmanın en uygun yöntemi alınan suyun yakın yeraltı rezervuarlarına tekrar geri gönderilmesidir. Bu durumda, hem kirlilik sorunlarının ortadan kaldırıldığı düşünülmekte hem de sıcak suyun tekrar rezervuarı beslemesi sağlanarak ısı kayıpları azaltılmaktadır. Ancak, bu durum pratikte birçok sahada geçerli olmadığı gibi ciddi kirlilik sorunları da yaratmaktadır. Dahası, giderek artan kullanım ve kapasite artışı yeni stratejiler geliştirmeyi zorunlu kılmaktadır.

Batı Anadolu jeotermal sahaları ve alüvyon akiferleri arasındaki etkileşimi anlamak, yeni strateji geliştirmede çok önemli öngörüler sağlayabilir. Saha ve havza özelinde deniz, göl, akarsu deşarjı, fiziksel ve kimyasal arıtma ya da atık suya eklenecek kimyasal bir reçete ile akım yolunda doğal arıtım performansının artırılması gibi farklı seçenekler üzerinde çalışılması gereklidir.

Eğer uygun ve ekonomik arıtma seçenekleri geliştirilemez ise, havza yönetimi açısından oldukça kirlenici içerikteki jeotermal suların kullanımı sınırlanabilir. Yeni arıtma teknikleri geliştirilerek tarımsal açıdan en önemli kirlenici olan bor sorunu çözülebilir ve hatta termal sular arıtıldıktan sonra sulama amaçlı kullanılabilir.

Jeotermal suların sürdürülebilir yönetimi, jeotermal ve ortamını anlamayı, doğru, hassas, geçerli, tam ve yeterli veriler üreterek ileriye dönük çevresel öngörüler sağlamayı gerektirmektedir. Mevcut çevresel koşullar ve bu koşulları lehimize nasıl çevirebileceğimiz jeotermal suların geleceği açısından çok önemlidir ve net bir şekilde anlaşılmalıdır.

Katkı ve Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veri ve bilgilerin üretilmesinde, Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Desteklerinden yararlanılmıştır.

Kaynaklar

BRIDGE (2013) Background cRiteria for the IDentification of Groundwater Thresholds.
<http://nfp-at.eionet.europa.eu/irc/eionet-circle/bridge/info/data/en/index.htm> Accessed 15 January 2013

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2013, (güncelleme 12.08.2010)
<http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=jeotermal&bn=234&hn=&nm=384&id=40697>

Resmi Gazete, 2013
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/09/20130924.pdf>

Tokgöz Güneş, S., Güneş, C., 2009. Yeraltı Suyu ve Yüzeysel Sularda Jeotermal Kaynaklı Arsenik Hareketliliği. Dokuz Eylül Üniv. Müh. Fakültesi, Fen ve Müh. Dergisi, 3/2009.