

# JEOTERMAL KAYNAKLARIMIZIN SAĞLIKSIZ YÖNETİMİ

**Umran SERPEN**  
**Tahir ÖNGÜR**  
**Niyazi AKSOY**

## ÖZET

Bu çalışmada jeotermal kaynaklarımızın yönetimindeki sorunlar hem ülke bazında, hem de kaynak bazında ortaya konulmuştur. Sağlıksız yönetimlerin nasıl ve neden olduğu anlatılmış ve sorunlar açıklanmıştır. Bu kaynakları sağlıklı yönetmek için “Bütünleşik (İntegre) Kaynak Yönetimi” önerilmiş ve bunun nasıl gerçekleştirileceği sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bütünleşik Kaynak Yönetimi, Jeotermal santraller, Merkezi Isıtma Sistemleri, Çökeltme, Geri basma, Kaplıcalar.

## ABSTRACT

In this study, problems in managing our geothermal resources are addressed on both country and field scales. Reasons are presented for why and how poor managements are born. The “Integrated Resource Management” concept and its implementation is proposed to better manage these resources.

**Key words:** Intergarted Resource Management, Geothermal Power Plants, District Heating Systems, Scaling, Re-injection, Spa.

## 1.GİRİŞ

Jeotermal yasa, Haziran 2007’de TBMM’de kabul edildi ve 2008 Haziran’da yürürlüğe girdi. Bu tarihler arasında da intibaklar yapıldı. Yasa çıkmadan önce 20’ye yakın Merkezi Isıtma Sistemi jeotermal kaynaklara bağlı olarak kurulmuş ve varolan kamuya ait bir santral yanında, bir de özel jeotermal elektrik santrali kurulup, işletmeye geçmiştir.

Özellikle jeotermal yasa çıktıktan sonra, özel sektörün ilgisinin artması dolayısıyla, jeotermal kaynakların elektrik üretimi, seracılık ve balneoloji vb. çeşitli alanlarda kullanımı hızla artmıştır. MTA’nın elindeki ruhsatları da satması hem bu kaynaklara ilgiyi, hem de kullanımın artmasına neden olmuştur. Tüm bu kullanımlar aynı zamanda jeotermal kaynaklarımızın sağlıksız bir şekilde işletilmesini de gündeme getirmektedir. Bu tür kullanımları aşağıdaki gibi örneklendirebiliriz:

Yüksek entalpili kaynaklarımız için seçilen santral tipleri, maalesef onlar için uygun değildir. Yapılan bu talihsiz seçimler sonunda, bu kaynaklarımızdan en üst düzeyde (maksimum) enerji üretimi yapılamamakta, bu seçimler silis çökmesini tetiklemekte ve santral iç tüketimleri aşırı yüksek olmaktadır. Orta entalpili kaynaklarımızda da uygulanan yanlış işletme parametreleri de ciddi çökeltme sorunlarına neden olmuştur.

Merkezi ısıtma sistemleri jeotermal kaynaklar dikkate alınmadan, kaynak kapasitesinin üzerindeki kapasitelerde kullanıldığı için, bazılarının kaynakları tükenme noktasına gelmiş ve bazılarının ise doğal gaz ile hatta kömür ile desteklenmesi söz konusu olmuştur.

Geri basma jeotermal kaynaklarımızın sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından hayati öneme sahiptir. Maalesef, yüzde yüz geri basma yalnızca bir iki sahada uygulanmakta olup, kaynaklarımız tükenme yolundadır.

Jeotermal kaynaklarımızın dağılımı dikkate alınmaksızın yapılan ruhsat alanlarının gelişigüzel belirlenmesi, komşu ruhsatlar arasında mahkemelere varan sorunlara neden olmuştur. Ayrıca, komşu ruhsatların kaynakları kendi yararlarına aşırı kullanma olasılığı onlara herkese verecek niteliktedir.

Satışa çıkarılan tüm jeotermal kaynaklar, özellikle kültürümüzün bir parçası olan doğal akış sahibi Kaplıcalarımız, bunların civarındaki ruhsatları satın alanların bu kaynaklar üzerinde yapacakları işlemler sonucu kaybolmaya yüz tutacaklardır. Daha şimdiden birçok kaplıca suyumuz kaybolmuştur.

Tüm bu örneklerin ışığı altında, bu kaynakların nasıl işletilmesi gerektiği ve şimdiye kadar ortaya ortaya çıkan sorunların çözümleri sunulacaktır.

## 2. BÜTÜNLEŞİK KAYNAK YÖNETİMİ

Bu yaklaşım ülkenin tüm jeotermal kaynaklarının yönetimi ve bireysel kaynakların yönetimi olmak üzere 2 yolla uygulanabilir.

### 2.1. Ülke Jeotermal Kaynaklarının Yönetimi

“Bütünleşik Kaynak Yönetimi” ülkelerin jeotermal kaynaklarının yönetilmesi için 1990’lı yıllarda ortaya atılmış bir kavramdır. Bu yönetim biçimi ülkenin jeotermal kaynaklarının yönetiminde adeta bir yol haritası denilebilir. İlk defa Luketina (2000) tarafından dünya kamuoyuna duyurulan bu yaklaşım [1], aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

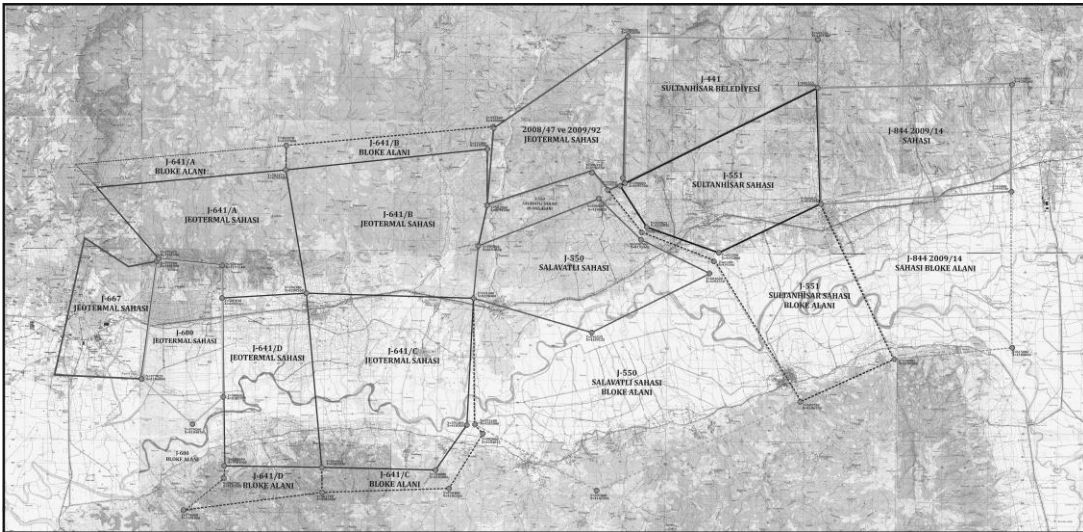
- 1) Jeotermal sahaların denetimli gelişimiyle jeotermal kaynakların korunmasının sağlanması,
- 2) Jeotermal kaynakların sürdürülebilir yönetimle işletilmesinin sağlanması,
- 3) Yatırımcıları çekebilmek amacıyla güven ortamının sağlanması için:
  - başarılı projelerin idari ve teknik yönlerinin açıklanması,
  - kısıtlamaların mümkün olduğu kadar basit ve az tutulması,
  - arama riski taşıyan etkinliklerin desteklenmesi,
- 4) Gerçekleştirilen işlemlerin yakından gözlenerek çevrenin korunması,
- 5) Doğal güzellikleri olan özel jeotermal kaynakların korunması.

Bu çerçevede Y: Zelanda ‘daki yasaya konulmasının amacı, “ülke sınırları içinde önceden bulunmuş veya varlığı yeni belirlenecek jeotermal enerji kaynaklarını, toplum ve ülke hizmetine sunmak üzere ülke çıkarları dikkate alınarak, çevreyle uyumlu, sürdürülebilir ve bütünleşik işletme yönetimini sağlamak ve teşvik etmek için, gerekli esasları düzenlemek” olarak belirtilmiştir[1].

Benzeri bir evrensel yaklaşımı ülkemizde yerleştirmek ve kaynaklarımızın sağlıklı çalışmasını sağlamak amacıyla, jeotermal yasa çıkarılmadan yıllarca önce birçok öneri yapılmıştır [2, 3, 4, 5]. Bunlar hiç dikkate alınmadan, maden kanunundan kopyalanarak hazırlanan yasa yukarıdaki ilkeleri hiç dikkate almayan bir yaklaşım sergilemiştir. Bundan ötürü, kaynaklar sağlıksız bir şekilde yönetilmekte, hem devlet hem de özel sektör birbirleriyle kavgalı duruma düşüklerinden, birçok dava açılmıştır. Bütünleşik Kaynak Yönetimi felsefesine uyulmadığı için ortaya çıkan bu sorunlara, aşağıdaki örnekler verilebilir:

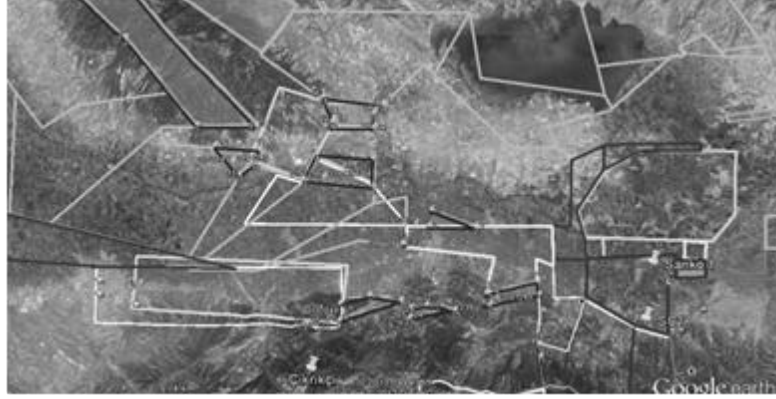
- Birinci madde, kaynakların yeraltı ve yerüstündeki durumlarının korunmasıyla ilgilidir. Devletin elinde yeraltı kaynaklarını denetleyecek ve denetimli gelişmesini sağlayacak ne bir yasası, ne de bir alt yapısı ve “know-how” u maalesef yoktur. Bunun denetim dışı olmasıyla birlikte, devlet tüm kaplıca yörelerini satarak, adeta yeryüzündeki kültür varlıklarını kaybetmek için elinden geleni yapmıştır. Ülkenin kültür varlığı olan doğal akışlı kaplıcalar, birer birer ortadan kalkmakta ve kalkacaktır. Bu konuda en iyi örnek, uluslararası olarak tanınan Bergama’daki Kleopatra kaplıcası sularının yok olmasıdır. Ege Bölgesi’nde korunması gereken birçok kaplıca (Burhaniye/Karaağaç, Küçükkuş vb.) satıldığı için, işletmeciler ve yerel halk arasında dava konusu olmaktadır.
- İkinci maddede devlet tarafından yasa ve yönetmelikte herhangi bir yönlendirme yapılmamıştır. Bilimsel yöntem ve yeni teknolojiler uygulanmadan yapılan denetimlerin de bir faydası olmayacaktır. Birinci ve ikinci madde çerçevesinde geçen yıl Alaşehir yakınlarında cereyan eden denetimsiz püskürme (blowout) olayı, çok tipik bir örnektir. İdare bu konuda herhangi ciddi bir müdahale yapmamış olup, çevreye ve kaynağın kendisine verilen ve verilecek zararı devam ettiren bu kaynaktan akış halen içten içe devam etmektedir[6].
- Üçüncü maddede yatırımcıları çekmek ve güven ortamı yaratmak için herhangi bir yönlendirme ve destek yoktur. Bunun bir nedeni de, yatırımcıların aşırı hevesli ve istekli olmaları olabilir.
- Dördüncü maddede çevre ayrıca başka yasa ile korunması gerekirken, sular derelere ve nehirlere salınmaktadır.
- Beşinci maddeye örnek olarak Sındırgı-Hisaralan’daki doğal akışların [7], tıpkı Karahayıt’ta olduğu gibi, yakında yok olabileceğini dikkate almak gerekir. Pamukkale’nin de son 50 yılda giderek karardığı, geçmiş on yıllar boyunca gözlenmiştir.

Kaynakların kamuya ait olan işletme haklarının devredilmesinde son derece rastgele bir yaklaşım sergilenmiştir. B. Menderes havzasında, tanınan ve bir miktar araştırılmış kaynaklar az çok bütün olarak ayırt edilirken, Gediz havzasında ise, kaynak ruhsat paylaşımları tam bir “vahşi batı” tarzı şeklinde cereyan etmiştir. Şekil 1’de B. Menderes’teki ruhsat dağılımları görülmektedir. Burada grabenin ortasında kalan, az bilinen bölgeler, bloke alan olarak bağlanmış, ama esas işletilen kaynaklar arasında (Salavatlı-Sultanhisar dışında) bir bloke alan konulmamıştır. Bazı jeotermal kaynaklar, doğanın hiçbir zaman düzgün olmamasına karşın, Yılmazköy-Umurlu ve Germencik-Erbeyli ve Ömerbeyli-Erbeyli’de olduğu gibi, düz bir çizgi ile ikiye ayrılmıştır. Bunlar gelecekteki ihtilaflara yol açabilir. Şimdiden açılmış davalar bulunmaktadır. Ayrıca, B. Menderes Grabeni’nin güney yakasında da gelişigüzel bir ruhsat dağılımı oluşmuştur. Öte yandan, graben ortasındaki bloke alanların önemli olasılık barındırdığı, bazı kısımların ruhsat alanı olarak verilmesi ve bazılarının da komşu ruhsat alanlarına bitişik anomalileri dolayısıyla bilinmekte ve bu bu açığa çıkmamış olasılık değerlendirilememektedir.



Şekil 1. B:Menderes Grabeni’nde ruhsat dağılımları[8].

Vahşi batı tarzı paylaşımın sürdüğü Gediz grabeninde ise, durum daha da vahimdir. Şekil 2 bu havzadaki ruhsat paylaşımını göstermektedir. Bu havzada bir kenarının kalınlığı 50 m olan ve 2 km uzunluğundaki üçgenin tepesinde sıfırlanan bir ruhsat alanı örnek alınabilir. Bu ruhsat alanında delinmek istenen bir kuyu diğer ruhsat alanına geçmesi dolayısıyla, durdurulmuştur. Ruhsat alanının içinde bile delinse, kuyunun 2500 m derinliklerde bu ruhsat alanı içinde kalacağına garanti yoktur. Kalsa bile, bu kuyudan yapılan üretim, komşu ruhsattaki kaynağı kesin etkiler. Bunun çözümü olamaz.



Şekil 2. Gediz Grabeni'nde ruhsat dağılımı.

## 2.2. Saha Temelinde Jeotermal Kaynak Yönetimi

Geçmişten beri işletilen, özellikle düşük entalpili jeotermal kaynaklarımızın belli bir “Bütünleşik Jeotermal Kaynak Yönetimi” ile çalıştırılması söz konusu değildir. Kaynakların işletilmesi ve geliştirilmeleri gelişigüze'dir. Bu kaynaklardan bazıları tükenme yolundadır. Bunlara örnek olarak Bigadiç, Sandıklı ve Balçova verilebilir. Bigadiç doğal gaz, Sandıklı kömür takviyesi ile sürdürülebilmekteyken, Balçova da doğal gazla takviye isteminde bulunmuştur. Bir kış Gönen'de, yeteri kadar ısı üretilmediği için, merkezi ısıtma sistemi bir ay boyunca kapatılmıştır. Bazı merkezi ısıtma sistemlerinde otomasyona gidilmesi ve sistem tasarımlarında düzeltmeler yapılması, abonelere ısı ölçer ile ısı satılması gibi olumlu adımlar tasarruf sağlamasına rağmen, merkezi ısıtma sistemleri kapasitelerinin kaynağa göre büyük olması dolayısıyla, sorun ortadan kalkmamaktadır.

Kaynaklar işletilirken, kaynakla ilgili başka işletmelere izin verildiği ve kaynak yönetimi tek elden yapılamadığı için, kaynak israf edilmekte ve çevre kirletilmektedir. Örnek olarak Dikili'yi göstermek mümkündür. Fazla ısı çekimi dolayısıyla, zeminde oturmalar başlamıştır (Şekil 3). İkinci bir örnek, Afyon'dan verilebilir. Afjet'e ortak olan Afyon Ticaret Odası'na tahsis edilen bir Afjet kuyusu, gereksiz olduğu halde sürekli çalıştırılarak, hem kaynağın tükenmesine hem de akıtılan jeotermal su ile Bakırçay ve Eber Göl'ünün kirlenmesine katkıda bulunmuş ve geçmişte İdare bu duruma müdahale edememiştir. Kuyu arıza yapınca bu durum sona ermiş ve Ticaret Odası işlettiği Gecek kaplıcasına, olması gerektiği gibi, Afjet'ten jeotermal su almaya başlamıştır. Yine aynı yerde Ömer Kaplıcasını işleten özel girişimci, AF-23 no.lu kuyuyu gereksiz yere yıllarca çalıştırmış, hem kaynağa ve hem de çevreye zarar vermiştir. Yine aynı yerde, Oruçoğlu turizm işletmesi, Afjet'ten su almak yerine, kuyular delerek, Afjet'in kaynağından uzun yıllar jeotermal akışkan çekmiş, kaynağı etkilemiş ve yeryüzüne deşarj etmiştir. Şimdilerde Afyon'da İdare'nin turizm işletmelerine tek elden su dağıtma girişimi son derece olumludur.



**Şekil 3.** Dikili Sahasında Zemin Oturmaları.

Elektrik üretiminde de sorunlar bulunmaktadır. Özellikle yüksek entalpili sahalarda santral seçimlerinde hatalar gözlenmektedir. Bu sahalarda kurulan santraller silis çökmesi gözardı edilerek, tasarlanmıştır. Bunun sonucunda geri basma kuyularında oluşan silis çökmesi sorunları, tüm dünyadaki bu tür santrallarda yaşanmakta olup, evrensel bir problemdir. Yüksek entalpili sahalarda bunun önüne geçmek için bazı fedakarlıklar yapıp, amorf silis aşırı doymuşluğunu engellemek gerekmektedir. Bunun için klasik ve modası geçmiş santral tasarımları yerine, modern ve yaratıcı tasarımlar daha etkili ve yararlı olacaktır. Yüksek entalpili sahalarda sorun yalnız bu konuyla sınırlı olmayıp, bu sahalarda jeotermal akışkanların daha yüksek miktarda CO<sub>2</sub> içermesi dolayısıyla, yoğunlaştırıcı sistemlerde biriken CO<sub>2</sub>'i elimine etmek yüksek iç tüketim yükleri oluşturmakta ve elde edilen net güçler klasik santral tasarımlarında büyük kayıplara uğramaktadır. Halbuki modern tasarımlarda CO<sub>2</sub>'ten güç harcamadan kurtulmak mümkündür [9, 10].

Aslında, bu olayları bilimsel açıdan incelemek ve yeni teknolojilerle (binary ve kombine çevrimler) eskileri (çift flaşlı sistemler) hesaplanan güç bazında karşılaştırmak gerekir. Bunu sağlıklı yapabilmek için, öncelikle bir jeotermal santralin kazanı olan jeotermal rezervuar özelliklerine bakmak gerekiyor. Ülkemizdeki orta entalpili rezervuarlarımız ağırlıkça % 1.5-2.5 arasında çözünmüş CO<sub>2</sub> içermektedirler ve karbon dioksit te santrallarımızda türbinin boşaldığı yoğunlaştırıcıda yoğunlaşmadığı için birikerek, türbin verimini ciddi bir şekilde düşürmektedirler. Bunu önlemek için CO<sub>2</sub> "steam ejectors" (düşük CO<sub>2</sub> içeriği için) ve kompresör ve/veya "steam ejector" birlikte kullanılarak (yüksek CO<sub>2</sub> içeriği için) çıkarılmakta ve yoğunlaştırıcıda boşluk yaratılmaya çalışılmaktadır. Bu donanımların kullanılması, santral iç tüketimini (parazitik yükler) ciddi ölçüde artırmaktadır. CO<sub>2</sub> miktarı arttıkça, onu elimine etmek için kullanılan iç tüketim önemli ölçüde artmaktadır.

Kaplan ve Serpen, (2010)'nin Türkiye'deki jeotermal sahalarda için yaptıkları çalışma [9], eski ve yeni teknolojilerdeki santralleri karşılaştırma için ışık tutmaktadır. Bu çalışmada, çift-flaş seçeneği için her bir entalpi seviyesinde 1. ve 2. flaş basınçlarını en iyi hale getirmek amacıyla, birkaç simülasyon yapılmış ve kaynak parametrelerinden en üst çıkış gücü hesaplanmıştır. Yüzde sıfır ve on karbon dioksit içerikleri için iki fazlı ve binary seçenekleri arasındaki güç üretimleri sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmektedir.



**Çizelge 1.** Yüzde Sıfır CO<sub>2</sub> ile Güç Üretimleri [9].

Akışkan Entalpisi (kJ/kg)	950	1000
Çift Flaş gros (kW)	25,700	28,900
Çift Flaş net (kW)	23,100	26,000
İki Faz Binary gros (kW)	26,900	29,600
İki Faz Binary net (kW)	23,900	26,300
Ayrışma Basıncı (Çift Flaş) (bara)	6	7.5
İkinci Flaş Basıncı (bara)	1.1	1.2
Ayrışma basıncı Binary için (bara)	11	11

**Çizelge 2.** Yüzde 10 CO<sub>2</sub> ile Güç Üretimleri [9].

Akışkan Entalpisi (kJ/kg)	950	1000
Çift Flaş gros (kW)	23,100	26,000
Çift Flaş net (kW)	17,900	20,200
İki Faz Binary gros (kW)	25,500	28,100
İki Faz Binary net (kW)	22,700	25,000

Çizelgelerden elde edilen sonuçlara bakılınca; hem yüzde sıfır CO<sub>2</sub>, hem de %10 CO<sub>2</sub> içeriği miktarlarında iki faz binary'nin daha avantajlı olduğu görünmektedir. Avantaj entalpi arttıkça azalmakta, ancak, CO<sub>2</sub> içeriği arttıkça iki faz binary lehine önemli bir ölçüde artmaktadır. Tüm bunların nedeni, binary sistemlerde buhar proseslerindeki yoğuşturucu sistem (kondenser) olmadığından, CO<sub>2</sub> eliminasyonu için ek güç harcanmamakta ve ısı değişimi sırasında buhar yoğuşurken yoğuşmayan CO<sub>2</sub> gaz basıncı nedeniyle dışarıya atılmaktadır.

Jeotermal rezervuarların santral tasarımına diğer bir etkisi, kimyasal içerikleri dolayısıyladır. Yukarıdaki güç tahminleri 105°C'lık 2. ayrışmaya göre yapılmaktadır. Halbuki bizim bu kaynaklarımızın içerdiği SiO<sub>2</sub> dolayısıyla bu sıcaklıkta amorf silis aşırı doymuş hale geleceği için, silis içeriğine bağlı olarak 115-125°C altında 2. ayrışmanın yapılması sistemde ve özellikle geri basma kuyularında silis çökmesine ve bu kuyuların elden çıkmasına neden olabilir. Ayrışmanın bu sıcaklıklar üzerinde yapılması da güç üretimini önemli ölçüde azaltacaktır.

Bir başka sorun da, santrallerin çalışma basıncının düşürülerek, daha düşük kuyubaşı basınçlarında daha fazla buhar elde edilmeye çalışılmasıdır. Bu da ciddi çökme sorunları yaratmaktadır. Bundan dolayı sürekli çalışmayan santral ülkemizde vardır.

Jeotermal kaynak yönetiminde diğer bir sorun da geri basmadır (reenjeksiyon). Geri basma yapılmayan sahalarda rezervuar basıncı düştüğü için, uzun dönemde kuyuların üretilebilirlikleri de düşer. Bildiğimiz kadarıyla, ülkemizde tam, %100 geri basma yalnızca 2 sahada yapılmaktadır. Bu nedenle, bu sahalarda basınç düşümleri söz konusu değildir. Ama diğer sahalarda basınç düşümü ile "infill drilling" denilen ara sondajlara başlanmıştır bile. Bazen seyahat ederken, önemli sahalardan hala derelere ve nehirlere atık su deşarjı görülmektedir. Son zamanlarda, Enerji Bakanlığının elektrik santrallerinin kabulü sırasında geri basmanın yapıldığını tespiti, son derece olumlu bir adım olmakla birlikte, uzun dönemde geri basmanın takibi, jeotermal kaynaklarımızın yenilenebilirliği ve sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşımaktadır.

Sahalarımızın sağlıklı bir şekilde idare edilmesini sağlayacak bireysel saha temelinde "Bütünleşik Kaynak Yönetimi"nin esasları aşağıda sunulmaktadır[11,12]:

Jeotermal kaynak yönetimi herhangi bir rezervuar için aşağıdaki farklı hedeflere sahip olabilir:

- İşletme maliyetini en alt seviyeye çekmek.
- Enerji üretimini en üst seviyeye çıkarmak.
- Sürekli enerji üretimini sağlamak.
- Çevre etkilerini en alt seviyeye indirmek.,
- Çökme ve korozyon etkileri gibi çalışma sorunlarını önlemek.

- Ülkemizin enerji politikasına bağlanmak.

Gerçek yönetim hedefleri yukarıda listelenenlerden 2 veya daha fazlasının karışımıdır. Rezervuar yönetiminin en zor kararı, zaman sürecidir. Bazan rezervuarı kısa dönemde tüketmek finansal olarak daha kârlı olabilir ama, uzun dönemli güvenilir enerji tedariki, politik ve sosyolojik olarak daha kabul edilebilir bir durumdur. Yönetim, genelde donanımların ömrü olan 30-40 yılı tercih eder. Birçok jeotermal rezervuar (Wairakei, Larderello, vb.) bundan daha uzun süre üretim yapmışlardır ve devam etmektedirler.

Jeotermal kaynak yönetiminde genel olarak uygulanan yönetim seçenekleri aşağıda verilmektedir:

- Üretim stratejisinin değişimi (üretimin artması/eksilmesi).
- Geri basma stratejisinde değişim.
- Ara kuyular olarak adlandırılan (in-fill wells) ek kuyuların delinmesi.
- Kuyu tamamlama şekillerinin değişmesi.
- Yeni üretim veya geri basma alanlarının aranması.

Bir jeotermal rezervuarın yönetimi, jeotermal sistem hakkındaki uygun bilgilere dayanır. Başarılı bir jeotermal yönetim programı için gerekli bilgiler aşağıda sunulmaktadır:

- Rezervuarın hacmi, geometrisi ve sınır koşulları hakkındaki bilgiler.
- Geçirgenlik, gözeneklilik, yoğunluk, ısı kapasite ve iletkenlik gibi rezervuar kayaç özellikleri hakkındaki bilgiler.
- Sıcaklık ve basınç dağılımı gibi rezervuardaki fiziksel koşullar hakkındaki bilgiler.

Bu bilgiler, rezervuarın arama ve işletme aşamalarında sürekli toplanırlar. Başlangıç verileri yüzey aramadan, diğer bir deyişle, jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal verilerden sağlanır. Daha sonra, sondaj sırasında log ve testler ek bilgiler sağlar. Bunun üzerine “kavramsal jeolojik model” kurgulanır. Jeotermal sistemlerin doğası ve özellikleri hakkında en önemli veriler, uzun dönem üretime tepkilerin dikkate izlenmesiyle” elde edilir. Matematik modeller bu veriler üzerine bina edilerek, yönetimin karar seçeneklerinin sağlayacağı gelecekteki üretimler tahmin edilebilir. Bundan ötürü, işletme sırasında dikkatli bir rezervuar gözlemi (monitoring) başarılı bir kaynak yönetimi programının elzem olan kısmıdır. Eğer jeotermal sistemin anlaşılması ve algılanması uygunsa, gözleme rezervuardaki değişimlerin önceden görülmesini sağlar. Üretim (elektrik üretim veya ısı) kapasitesinin azalması gibi arzu edilmeyen değişiklikler ve kuyuda veya yüzey donanımlarında çökme veya korozyon gibi çalışma sorunları önceden algılanır.

Jeotermal rezervuardan akışkan çekilmesi her halükarda rezervuar basıncında bir miktar azalmaya neden olur. Bunun tek istisnası, çekilen miktarın rezervuarın doğal beslenmesinden az olma durumudur. Jeotermal sistemin doğasına ve özelliklerine bağlı olarak basınç düşümü az veya çok olabilir. Bundan ötürü basınç değişimi, aşağıda verilen daha başka değişikliklerle, kendini ifade eder[11]:

1. Rezervuar Basıncının Azalması
  - Yüzey etkinliklerindeki azalma,
  - Kuyu üretimlerinde azalma,
  - Kuyuiçi seviyelerin düşmesi,
  - Yüksek entalpili rezervuarlarda artan kaynama.
2. Artan Beslenme (Recharge)
  - Rezervuar akışkanının kimyasal kompozisyonunda değişiklikler,
  - Rezervuar akışkanı sıcaklık/entalpi değişimi,
  - Kuyu sıcaklık profillerinde değişimler.
3. Yüzeyledeki zeminde oturma. Yüzeyle donanımlarına zarar verebilir.

Rezervuar basıncının ne miktarda ve ne kadar hızlı düşeceği, bir yandan üretim debisi, diğer yandan da jeotermal sistemin büyüklüğü ve özellikleri tarafından belirlenir. Beslenmenin sınırlı olduğu sistemlerde basınç üretimle sürekli düşerken, bazı sistemlerde basınç düşümü nedeniyle sisteme

soğuk su girer. Bu soğuk su, akışkan entalpisini azaltarak, ısı kalitesini düşürür. Basınç ve sıcaklık düşümleri, jeotermal sistemlerin durumlarını sınırlayan iki faktördür.

Üretime olan rezervuar tepkisini sayısallandırmak için, genel olarak aşağıdaki parametrelerin izlenmesi gerekmektedir[11]:

1. Üretim kuyularının kütleli debilerinin geçmişi,
2. Üretilen akışkanın sıcaklık veya entalpsi,
3. Üretim kuyularının kuyubaşı basınçları veya su seviyeleri,
4. Üretilen akışkanın kimyasal içeriği,
5. Gözlem kuyularında rezervuar basınçları,
6. Gözlem kuyularında sıcaklık profilleri.

Değişik özellikler ve parametreler yanında, bunları ölçmek için değişik yöntemler kullanılacaktır. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin izlenmesi vurgulanırken, daha az geleneksel özellikler de dikkate alınacaktır. Jeotermal rezervuar mühendisliği açısından en önemli alet olan “Jeotermal Rezervuar Modellemesi” “Bütünleşik Kaynak Yönetimi”nin önemli bir elemanı olacaktır. Geri basma da Bütünleşik Kaynak Yönetiminin önemli bir parçası olarak çalışmaların en kıymetli elemanı olacaktır.

Bütünleşik Kaynak Yönetiminin bir başka elemanı, bu yönetimin en uygun hale getirilmesidir (optimizasyon). Kaynak yönetiminin en uygun hale getirilmesinin nihayi hedefi de[11]:

- Kuyu üretilebilirlikleri ve su basma kapasitelerini en üst düzeye çıkarmak,
- Zamanla üretilebilirlik ve su basma kapasitelerindeki azalmayı en alt düzeye indirmek.

Kuyu üretilebilirlikleri ve su basma kapasitelerini en üst düzeye çıkarmak için:

- Kuyuları yüksek akış kapasitesi olan bölgelere yerleştirmek,
- Kuyu aralıklarını hem yatay hem de düşey olarak birbirlerini kötü etkilemeyecek kadar uzak seçmek,
- Kuyu içi rezervuar kalınlıklarını rezervuarın tüm akışını sağlayabilecek kadar kalın seçmek.
- Kuyu çaplarının en uygun olanını seçmek.

Kuyu üretilebilirliklerindeki düşümleri en alt düzeye indirmek, aşağıdaki adımları izleyerek sağlanabilir:

- Kuyudibinde biriken malzemenin dönemli izlemesi ve mekanik denetimi.
- Kuyu içi ve hatta rezervuarda kimyasal çökelmenin dönemli izlenmesi.
- Rezervuar basıncının geri basma ile korunması.
- Soğuk su girişi ile entalpi kaybının en alt düzeye indirilmesi.
- Beklenmeyen kuyu arızaları başlarsa, ani acil tedbirlerinin alınması.

Kuyulardaki mekanik kuyu sorunları, periyodik “workover” denilen müdahalelerle denetlenir. Çökelme ise, bu olayı en alt düzeye indirecek sıcaklık ve basınç koşullarının kuyularda korunması ve sürekli inhibitör enjeksiyonu veya periyodik mekanik temizlik ile sağlanır. Rezervuar basıncının korunması ve entalpi kaybının en alt düzeye indirilmesi,, en iyi şekilde rezervuar davranışının sayısal modellenmesi (numerical simulation) ile sağlanır.

Jeotermal kaynak üretiminin yönetimi ve onun en uygun hale getirilmesinin en zor ve meydan okuyan yönü, etken bir geri basma stratejisi geliştirmekten geçer. Birçok proje kötü tasarlanmış geri basma stratejisi ve kötü üretim pratiklerinden zarar görmüştür. Sağduyu kadar rezervuar mühendisliği pratikleri, pratikte uygulanabilir bir geri basma stratejisini aşağıdaki gibi belirler:

- Üretim zonundan daha derin seviyelere geri basma (ki, daha soğuk basılan su daha yoğun olduğu için, ısınmaya kadar üretim zonunun altında kalsın).
- Sahanın içine değil de, kenarlarına basılması.



- Üretim ve geri basma kuyuları arasında uygun mesafenin korunması (tipik olarak 1 km), eğer basınç korunması için saha içine basılması gerekli değilse. Eğer öyleyse, en az 400-500 m mesafeyi korumak.
- Gravite etkisinden faydalanmak için, topoğrafik olarak aşağıdaki yerlere basmak.
- İzleyici testlerinden çıkan izleyicileri üretim kuyularından gözlemek (önceden tedbir alabilmek için).

Hiçbir proje yukarıdaki sorunların hepsiyle baş başa kalmazken, tüm projeler bunlardan bazılarını dikkate almak zorundadır. Uygun jeolojik modelleme, kuyu testleri, rezervuar mühendisliği analizleri, sayısal modelleme ve bazı durumlarda çökme ve korozyon için kimyasal simülasyon yoluyla, kaynak yönetimini en uygun hale getirmek mümkündür.

Bir jeotermal kaynak kolaylıkla dokunulamaz, tartılamaz ve ölçülemez. Yeraltında, gözden uzak, sıcak geçirgen bir kayaç içindeki jeotermal akışkandan ibarettir. Bu kaynağı anlamak için, başlangıç keşif aşamasından, rezervuarın matematik simülasyonuna kadar değişen değişik teknikler uygulanır. Her bir yöntem, bir öncekinde kazanılan bilgi kümesi üzerine bina edilirken, hiçbir tekil yöntem tüm yanıtları sağlamaz. Bu yöntemlerin inandırıcılığı veri kalitesi yanında, onun dikkatli yorumuna dayanır. Bir jeotermal projede bu verilerin yönetimi hayati önem taşımakla birlikte, çoğu kez ihmal edilir. Çoğu zaman, kaynağın gelecekteki geliştirme ve olası boyutu hakkında karar aşamasına gelinceye kadar, önemi anlaşılır. Bu noktada, veri tabanındaki eksiklikler ve uygunsuzluklar, verilerin bulunması ve özellikle bunları toplayanlar ayrılmışlarsa, önem kazanır. Bundan dolayı, jeotermal veri yönetimi veri alma, depolama, bütünlük, geri alma, yorum ve sunum dahil olmak üzere tüm veri toplama yaklaşımını kapsar.

### 3.TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ülkemiz jeotermal kaynaklarımızın hem idari olarak, hem de saha bazında sağlıklı yönetilemediği yukarıda anlatılanların ışığı altında ortaya çıkmaktadır. TBMM tarafından kabul edilen jeotermal enerji kanunu ile bu kaynakların yönetiminde yine yukarıda gösterildiği gibi birçok sorunlar olmakla beraber, en önemli ve olası çatışma çıkaracak problem, komşu ruhsatların birbirini etkilemesidir. Yine yukarıda bahsedildiği gibi, bazı komşu sorunlarının çözümü imkansız gibidir. Bu durumda uygulanacak en iyi yaklaşımın birleştirme (unitization) olduğu ortaya çıkmakta olup, bu konu X. Teskon Kongresinde işlenmiştir [13]. Bunun yanında, jeotermal yasada yapılabilecek bazı iyileştirmeler de, kaynaklarımızın daha sağlıklı ve sürdürülebilir işletilmesine mutlaka katkıda bulunacaktır [14]. Bu bağlamda yapılacak çok önemli bir değişiklik, ya farklı idareler arasında bir eşgüdüm sağlamak, ya da yetkin tek bir idarenin tesisi olabilir[15].

Bunun ötesinde, saha temelinde yönetim konusunda yapılması gerekenler de, kaynakların sürdürülebilir olarak işletilmesi açısından son derece önemlidir. Yukarıda “Bütünlük Kaynak Yönetimi” konusunda sunulanlar sistematik olarak uygulanırsa, jeotermal kaynaklarımızın çok daha sağlıklı olarak işletilebileceğini ve bu kaynakların sürdürülebilir olacağına inanıyoruz.

### KAYNAKLAR

- [1] LUKETINA, K.M., New Zealand Geothermal Resource Management-A Regulatory Perspective, Proceedings WGC 2000, Kyushu Tohoku, Japan, pp. 751-756, 2000.
- [2] SERPEN, U.,Jeotermal Enerji Yasa Taslağı ile İlgili Öneriler.Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül, İstanbul, pp. 201-210, 2003
- [3] SERPEN, U., Jeotermal Enerji Yasa Taslağı. VI. Ulusal Tesisat Kongresi Bildiriler Kitabı, 8-11 Eylül, İzmir, pp. 585-592,2003.

- [4] SERPEN, U., TOKSOY M., Regional Geothermal Management Policy in Turkey-A Regulatory Draft, Proceedings of Geothermal Resource Council Annual Meeting, Aug. 29-31, Vol. 25, San Diego, pp. 267-271, 2001.
- [5] SERPEN, U. ve ÖNGÜR, T., Yeni Jeotermal Yasa Üzerine Görüşler. TMMOB Jeotermal Kongre ve Sergisi, Bildiri Özetleri Kitabı, 21-24 Kasım, MTA Ankara,2007.
- [6] Öngür, T., Editör, (2012). Derinden dergisi 10, Temmuz.
- [7] ÖNGÜR,T. (Ed).Derinden dergisi 8, Haziran,2011.
- [8] TÜFEKÇİOĞLU, E., Kişisel iletişim,2013.
- [9] KAPLAN, U., and SERPEN, U.,Developing Geothermal Power Plants for Geothermal Fields in Western Turkey, Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April,2010.
- [10]KIVANÇ, A.H., SERPEN, U., Jeotermal Santrallerin Karşılaştırılması. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,İzmir, 13-16 Nisan 2011.
- [11]AXELSSON, G., AND GUNLAUGSSON, E., Long-Term Monitoring of High and Lowe Enthalpy Fields Under Exploitation. WGC Short Courses Kokonoe, Kyushu, Japan, 2000.
- [12]BLOOMQUIST, R.G., Project Management and Financing. WGC Short Courses Kokonoe, Kyushu, Japan,2000..
- [13]MIHÇAKAN, M. ALTUN, G., SERPEN, U.,Jeotermal Sahalarda Birimleştirme. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir, 2010.
- [14]ÖNGÜR, T. SERPEN, U. VE AKSOY, N., Jeotermal Kanunu Değiştirilmelidir. TMMOB Jeotermal Kongresi, 23-25 Aralık 2009, Ankara, s. 21-26,2009.
- [15]SERPEN, U., ÖNGÜR, T. VE AKSOY, N., Hukuk ve Kargaşa: Jeotermal Örneği. TMMOB Jeotermal Kongresi, 23-25 Aralık 2009, Ankara, s. 11-20, 2009.

## ÖZGEÇMİŞ

### Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarda çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından 2010 yılına kadar İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de öğretim üyesi olarak çalışmış ve emekli olmuştur. Halen NTU Jeotermal Danışmanlık Ltd şirketinde çalışmaktadır.

### Tahir ÖNGÜR

1944 yılında İstanbul'da doğmuş ve 1966 yılında İTÜ Maden Fakültesi'ni Jeoloji Yüksek Mühendisi olarak bitirmiştir. Jeotermal enerji projelerinde 44 yıllık jeoloji mühendisliği deneyimine sahiptir. Bunun ilk 14 yılı MTA Enstitüsü'nde, izleyen yıllardakiler ise özel kesimde kazanılmıştır. Türkiye'nin her yeri, özellikle de Ege Bölgesi'nde çok sayıda jeotermal arama ve geliştirme projelerinin geliştirilmesinde çalışmıştır. Halen NTU Jeotermal Danışmanlık Ltd şirketinde çalışmaktadır.

### Niyazi AKSOY

1984 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünü tamamladı. 1984–1995 arasında MTA Genel Müdürlüğü jeotermal projelerinde sondaj ve test mühendisi olarak göre yaptı. 2001 yılında DEÜ Uygulamalı Jeoloji ABD'den doktora derecesi aldı. Halen DEÜ'de Doçent olarak görev yapmakta olup, jeotermal enerji projelerinde sondaj, test, saha yönetimi konularında danışmanlık yapmaktadır.