

## AYVACIK-TUZLA BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARDAN METAL/MİNERAL KAZANIM OLANAKLARI

**Ziya Sedat CETİNER (ORCID: 0000-0002-2340-3043)\***

*Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye*

*Geliş / Received: 08.02.2017  
Kabul / Accepted: 14.08.2017*

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı Biga Yarımadası'nda ticari olarak önem atfedebilecek metal ve mineral içeren jeotermal sahaların jeolojik ve jeokimyasal sınırlarını tanımlayıp, sürdürülebilir bir geri kazanım teknolojisini özgün bir fizibilite analizi ile bütünleştirerek değerlendirmektir. Biga Yarımadası özelindeki jeotermal kaynakların fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları incelendiğinde, yüksek sıcaklığa ( $T>60^{\circ}\text{C}$ ) ve nispeten asidik pH değerlerine sahip kaynakların yeterli miktarda ticari değere sahip materyali sağlayabileceği öngörülmektedir. Gerçekleştirilen pilot ölçekli fizibilite analizine göre Tuzla jeotermal sahası temel alındığında jeotermal akışkandan günde yaklaşık 22 Kg Li metali üretebileceği hesaplanmıştır. 10 yıllık bir işletme süresi göz önüne alındığında fayda-maliyet oranı (F/M) 3,71 olarak belirlenmiştir. Birden büyük olan bu oran yapılacak geri kazanım yatırımının karlı olduğunu işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal kaynaklar, metal-mineral geri kazanımı, Tuzla, lityum

## METAL/MINERAL RECOVERY FROM GEOTHERMAL RESOURCES IN AYVACIK-TUZLA REGION

### ABSTRACT

The aim of this study is to identify and analyse the prospective areas in the Biga Peninsula in terms of geothermal waters as a source of commercially valuable materials. Identified potential sources will be evaluated integrating a sample cost analysis for a pilot reclamation process. The review of the geochemistry of geothermal resources in the Biga Peninsula indicates that geothermal waters with high temperature ( $T>60^{\circ}\text{C}$ ) and slightly acidic pH values will yield sufficiently quantifiable dissolved commercial element concentrations. In this respect, pilot feasibility analysis showed that a geothermal fluid representing Tuzla geothermal resources could produce approximately 22 Kg Li metal per day. Benefit-cost ratio was calculated to be 3.71, showing that such an investment is profitable for a ten years of operation.

**Keywords:** Geothermal waters, metal-mineral recovery, Tuzla, lithium

### 1. GİRİŞ

Günümüzde jeotermal kaynakların kullanımı doğrudan (elektrik üretimi ve ısı kullanım) ve/veya dolaylı (sağlık ve turizm) olmak üzere iki ana grupta ele alınmaktadır [1]. 2014 yılı sonu itibariyle jeotermal enerji elektrik santrallerinin dünya çapında kurulu gücü 12640 MW olarak rapor edilmiştir [2]. Diğer taraftan, jeotermal suların (akışkan) kimyasal kompozisyonları incelendiğinde Avrupa Birliği tarafından hazırlanan "teknolojik açıdan kritik elementler" sınıflanmasına [3] dâhil olan birçok metalik maden ve mineralce de zengin

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 286 218 00 18; e-mail / e-posta: zscetiner@gmail.com

## AYVACIK-TUZLA BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARDAN METAL/MİNERAL KAZANIM OLANAKLARI

olduğu bilinmektedir. Literatürde jeotermal kaynaklardan kimyasal bileşiklerin elde edilmesi hususunda bilinen ilk uygulamanın 1818 yılında Larderello, İtalya’da termal havuzlardan borik asit üretimi ile başladığı bilinmektedir [4]. Yeni Zelanda ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi bazı ülkelerde jeotermal kaynaklarda ticari değeri yüksek elementler bulunduğu ve buradan geri kazanılan metalik maden potansiyelinin ekonomik anlamda işletilebilecek düzeylerde olduğu bilinmektedir. Örneğin, Yeni Zelanda’daki farklı jeotermal kaynaklarda altın için 0,03-2,10 mg/L; gümüş için 0,4-19,10 mg/L; arsenik için 170-4860 mg/L; bakır için 490-4700 mg/L; antimon için 125-2080 mg/L ve tellür için 1,8-7,5 mg/L konsantrasyon değerleri rapor edilmiştir [5]. Diğer taraftan, özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Yeni Zelanda’nın öncülüğünde jeotermal akışkandan metalik maden ve minerallerin (Ör. Cu, Zn, Au, Ag, Bor, Silika) kazanılmasına yönelik pilot uygulamaların hem deneysel hem de endüstriyel ölçekte yapıldığı uzun yıllardır bilinmektedir [6-9].

Doğal eşik değerinde zenginliğe sahip olan jeotermal sulardaki metal ve mineraller özellikle su-kaya etkileşiminin mevcut jeolojik ve tektonik yapı ile olan ilişkisine bağlı olarak alansal dağılım bakımından heterojen bir yapı göstermektedir. Örneğin, ABD’de çinko ve bakır bu bağlamda hedef metaller olarak ön plana çıkarken, Yeni Zelanda’da altın ve gümüş üretiminin [10] ön plana çıkmasına temel olan jeolojik sınır koşulları bulunmaktadır. Bu kapsamda, geri kazanım sürecinin belki de temel basamağı jeotermal akışkandan elde edilmesi hedeflenen kimyasal içeriğin (metal ve/veya mineral) jeolojik yapı ile ilişkisinin ve sınırlarının çok net olarak çözümlenmesi olmalıdır. Diğer önemli bir etken ise kazanılması hedeflenen metal veya mineral için en uygun metot ve bu metoda ait parametrelerin seçilmesidir. Son yıllarda özellikle biyolojik temelli araştırmaların da devreye girmesiyle solüsyon madenciliği konusunda uygulanabilecek yöntemleri fizikokimyasal ve biyolojik temelli olmak üzere iki ana grup [11] altında toplamak mümkün olmaktadır (Tablo 1).

**Tablo 1.** Akışkandan metal kazanımı süreçlerinin avantaj ve dezavantajları

Metot	Avantajları	Dezavantajları
<b>Fiziko-kimyasal Metotlar</b>		
Kimyasal Çökeltme	Uygulaması basit ve düşük maliyetli	Yüksek atık miktarı
Kimyasal Koagülasyon	Ürünün su muhtevasının az olması	Yüksek maliyetli, fazla miktarda kimyasal kullanımı
İyon Değişimi	Metal Seçebilme	Yüksek maliyet
Aktif Karbon	Yüksek geri kazanım potansiyeli	Aktif Karbon maliyeti
Elektrokimyasal ve Membran	Düşük atık miktarı ve yüksek geri kazanım potansiyeli	Yüksek kurulum maliyeti
<b>Biyolojik-tabanlı Metotlar</b>		
Biyosorpsiyon	Yüksek geri kazanım potansiyeli ve düşük maliyet	Düşük seçicilik
Biyolojik Biriktirme	Yüksek Seçicilik	Yüksek maliyet ve yavaş süreç

Laboratuvar çalışmaları ve pilot ölçekte endüstriyel uygulamaları başarı ile tamamlanmış olan bu yöntemlerin doğal olarak kendine has avantajları ve dezavantajları vardır [11]. Bu kapsamda, hangi yöntemin belirli bir jeotermal sistem için en uygun sonuçları sağlayacağını belirlemek için, kazanılması hedeflenen metal/mineral konsantrasyonunun yanı sıra akışkana ait diğer termodinamik parametrelerin (pH, sıcaklık, vb.) hassas bir şekilde belirlenmesi gerekir.

Ülkemizde, 2007 yılında yapılan yasal değişiklikler ve 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” sonrası özel sektör yatırımlarının özellikle elektrik üretimi uygulamalarında hızla artmasına rağmen, jeotermal kaynakların kimyasal potansiyelinin kullanımına ilişkin gelişmeler sıvı CO<sub>2</sub> üretimi ile sınırlı kalmıştır [12, 13]. Bu nedenle, jeotermal sahaların ısı potansiyelleri başta olmak üzere tüm fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bütünlük bir biçimde değerlendirilmesi ülkemizin enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına ve sanayide teknolojik açıdan kritik hammadde ihtiyacının karşılanmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi için elzemdir. Bu çalışma ile Ayvacık-Tuzla bölgesi özelinde jeotermal kaynakların jeolojik yapısı ile birlikte jeotermal akışkana ait temel termodinamik verilerin bütünlük bir sistemde (Biga Yarımadası) değerlendirilmesi ve hedeflenen bir sahada (Tuzla Jeotermal Sahası) geri kazanım sistemi kurulması durumunda fizibilite analizinin yapılması amaçlanmıştır.

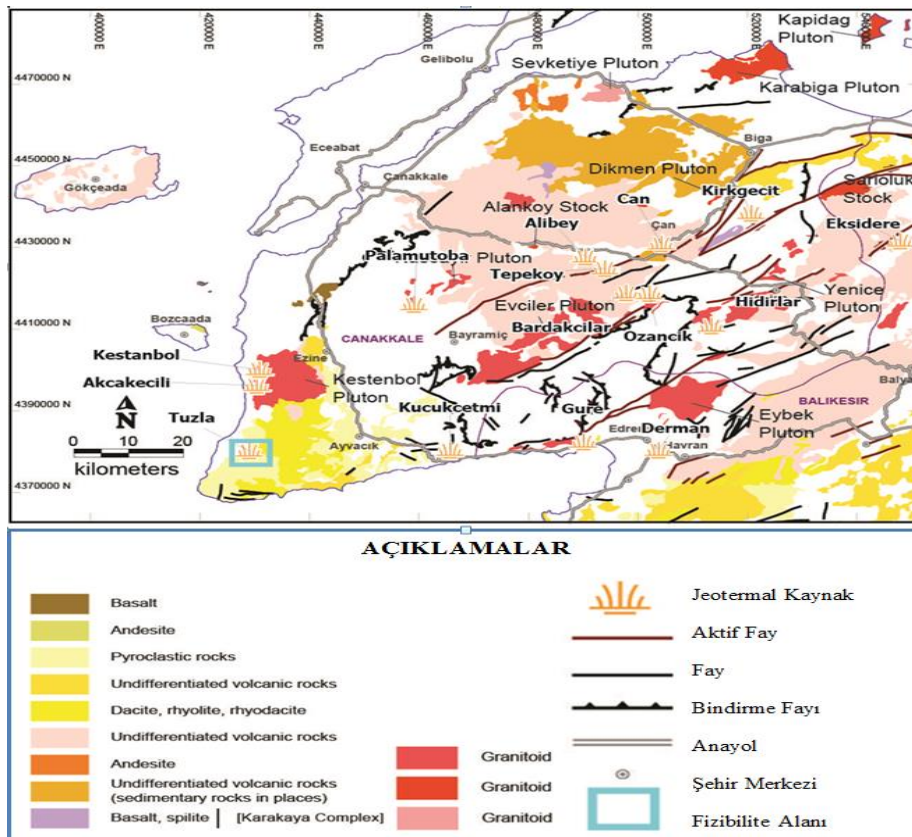
## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Jeolojik ve Jeokimyasal Sınır Koşullar

Biga Yarımadası'nın jeolojik geçmişi, jeotermal enerji potansiyelini de kapsayacak şekilde ekonomik değere sahip pek çok doğal kaynağın oluşumunu denetlemektedir. Bölgenin jeolojik ve tektonik yapısı ile ilintili olarak jeotermal kaynakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile bu özelliklere bağlı olarak kaynakların değerlendirilebilme potansiyelleri farklılıklar göstermektedir. Bu kapsamda, Biga Yarımadası elektrik enerjisi üretimi, sağlık ve turizm olmak üzere farklı amaçlar için özellikle son yıllarda yoğun bir arama geliştirme faaliyetine ev sahipliği yapmaktadır.

Biga Yarımadası, Kuzey Anadolu Fayı'nın batı uzantıları ve Batı Anadolu Graben sisteminin birlikte etkilediği bir alanda bulunmaktadır. Bu kapsamda Yarımada'da özellikle KD-GB uzanımlı fayların, açılma çatlaklarının ve diğer kırıkların gelişimi ile birlikte bölgede yer alan jeotermal kaynakların (Şekil 1) çoğunun bu tektonik mekanizma ile ilişkili olduğu bilinmektedir [14-17]. Bu fayların hem yüzeyde hem de yeraltında devamlılığının tespit edilerek haritalanması, jeotermal rezervuarların beslenme sistemi ve ısı kaynaklarının (magmatik ve radyojenik) bütüncül bir bakış açısı ile değerlendirilebilmesine imkân verecektir.

Yarımadadaki jeotermal saha ve jeolojik yapı arasındaki ilişki incelendiğinde söz konusu kaynakların ağırlıklı olarak granitik ve volkanik kayalar ile dokanaklı olduğu görülmektedir (Şekil 1). Özellikle, Yarımada'nın Güneybatısında Tuzla sahasında ölçülen R/Ra (1.44/0.80) değerleri yaklaşık olarak %18 oranındaki manto kökenli helyum oranını ifade etmektedir [18]. Su-kaya etkileşimi çerçevesinde aynı rezervuardan beslendiği düşünülen kuzeydeki Kestanbol sahası için  $^3\text{He}/\text{entalpi}$  oranının ( $0.19 \times 10^{-12} \text{ cm}^3$ ) soğumakta olan magmatik sistemlerin  $^3\text{He}/\text{entalpi}$  oranlarından çok daha yüksek olması, bölgedeki ısı kaynağının genişlemeli tektonik rejim ve kıtasal kabuk tabanına eklenen magmatik kütlelerin etkisi ile olabileceğini düşündürmektedir [18]. Bu verilerden hareket ile Biga Yarımadasının enerji üretme potansiyeline sahip jeotermal kaynaklarının kökensel gelişiminde magmatik etkinin baskın olduğu [19] ve bu bağlamda ülke ortalamasına göre nispeten daha yüksek bir ısı akısı ile temsil edildiği görülmektedir [19, 20].



Şekil 1. Biga Yarımadası'nın sadeleştirilmiş jeoloji haritası ve majör jeotermal kaynakların magmatik kayalar ve fay hatları ile olan alansal dağılım ilişkisi ([21]'den sadeleştirilmiştir)

## AYVACIK-TUZLA BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARDAN METAL/MİNERAL KAZANIM OLANAKLARI

Jeotermal kaynaklara ait hidrojeolojik ve jeokimyasal çalışmalar incelendiğinde Biga Yarımadasında iki tür su fasiyesinin baskın olduğu [22] görülmektedir. Bunlardan Na-Cl fasiyesi Yarımada'nın Ege Denizine bakan Güneybatı bölümünde (Tuzla-Kestanbol) Na-SO<sub>4</sub> fasiyesi ise ağırlıklı olarak yarımada'nın orta ve doğu bölümünde (Çan-Gönen) [23] yer almaktadır. Bu iki su fasiyesinin de ortak özelliği ekonomik açıdan önemli olabilecek elementler bakımından daha zengin içeriğe sahip olmalarıdır. Diğer taraftan, sıcaklığın yüksek (T>60°C) ve pH değerinin asidik sınırlar içinde kaldığı jeotermal kaynakların özellikle lityum, bor, stronsiyum ve arsenik bakımından diğer kaynaklara göre daha zengin olduğu [22-25] tespit edilmiştir (Tablo 2).

Jeolojik sınır koşulları ile birlikte değerlendirildiğinde Biga Yarımadasındaki jeotermal kaynakların yüksek sıcaklık ve düşük pH koşullarında hem ticari değeri olan (lityum ve bor) hem de çevresel etkileri olan kimyasalların akışkandan kazanımı için özellikle Ayvacık-Tuzla ve Çan-Karalıda bölgesinde önemli bir potansiyel oluşturduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Biga Yarımadası kapsamında sıcaklığı 60°C üzerindeki kaynakların kemodinamik özellikleri

Jeotermal Kaynak	pH	Sıcaklık (°C)	Su Fasiyesi	Li (µg L <sup>-1</sup> )	B (µg L <sup>-1</sup> )	Sr (µg L <sup>-1</sup> )
Çan Karalıda	6,86	60,0	Na-SO <sub>4</sub>	1,123	2,699	3,541
Ezine Kestanbol	5,94	70,4	Na-Cl	12,467	15,017	60,917
Ayvacık Tuzla	5,76	80,1	Na-Cl	38,000	31,782	176,804
Gönen	6,97	77,5	Na-SO <sub>4</sub>	1,586	5,573	1,327

## 2.2. Fizibilite Analizinde Kullanılan Parametreler ve Örnek Hesaplama

Jeotermal sularda bulunan ticari ve çevresel önemi olan içeriğin ekonomik olarak işletilebilir düzeyde olup olmadığını test edebilmek için Ayvacık-Tuzla sahası pilot olarak seçilmiştir. Bu seçimde yukarıda kısaca özetlenen jeolojik ve jeokimyasal sınır koşullarının uygunluğuna ek olarak hali hazırda biri faal diğeri ise kurulum aşamasında iki adet jeotermal elektrik santralini bu kaynaktan beslenen akışkan ile enerji üretimi yapıyor olmasıdır. Fizibilite analizi için bu sahada kimyasal içerik bakımından en zengin olan metal (lityum) ile birlikte jeotermal enerji işletmesinde birincil yani enerji üretimine ara vermeden sistemden metal elde edilmesi için en uygun olabileceğini düşündüğümüz "elektrodiyaliz" yöntemine ait parametreler Tablo 3'te sunulmuş olup yapılan hesaplamalarda sistemin %90 verim ile çalışacağı kurgulanmıştır. Mevcut geri kazanım uygulamaları incelendiğinde bu yöntemin yüksek kurulum maliyeti olmasına rağmen (110000 USD) [26] düşük enerji tüketimi, hedeflenen metali seçebilme ve kesintisiz üretim avantajlarından dolayı tercih edilmiştir.

**Tablo 3.** Pilot geri kazanım tesisi için ön görülen sistem parametreleri [27]

PARAMETRE	SEÇİLEN DEĞER
Uygulanan Direnç	10,5 ohm
Akım Verimi	%90
Akım Yoğunluğu/Normalite (CD/N)	6000 (A/m <sup>2</sup> ) (g-eşdeğer/L)
Membran Alanı	1,0 m <sup>2</sup>
Deşarj Hızı (Debi)	10 L/sn (0,001 m <sup>3</sup> /sn)

Sağlıklı bir fizibilite analizi yapabilmek için öncelikle sistemin çalışabilmesi için gerekli olan elektrik enerjisinin maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Bu maliyet hesabı birbiri ile bağlantılı 4 aşamada açıklanmıştır;

### 1. Aşama- Hedef Metalin Normalite Konsantrasyonun Belirlenmesi (N):

Li metalinin ağırlığı 6,94 g/g-eşdeğer Tuzla jeotermal sahasında hali hazırda elektrik üretimi için kullanılan kuyu örneğinden alınan Li içeriği 28 ppm [24] eşdeğeri 0,028 g/M olarak alınır;

$$\text{Eşdeğer Li Ağırlığı} = \frac{\text{Lityumun Molekül Ağırlığı}}{\text{Gram eşdeğer}} \quad (1)$$

$$\text{Normality (N)} = \frac{0,028}{6,94} = 0,004 \text{ N} \quad (2)$$

Z.S. CETİNER

**2. Aşama-** Maksimum Akım Yoğunluğunun Hesaplanması (CD):

$$CD = (6000 \times 0,004) = 24,21 \frac{\text{Amper}}{\text{m}^2} \quad (3)$$

**3. Aşama-** Hücre ve Membran Sayılarının Hesaplanması (n):

$$I = \frac{(FQN)}{n} \times \frac{E1}{E2} \quad (4)$$

$$n = \frac{(FQN)}{I} \quad (5)$$

Faraday sabiti (F) 96484 cloumb/g-eşdeğer olarak alınırsa:

$$n = \frac{96487 \times 864 \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \times \frac{1000L}{\text{m}^3} \times 0,004}{24,21 \text{ Amper} \times 86400 \frac{\text{saniye}}{\text{gün}}} = 159$$

Her bir hücrenin iki membran ile çevrili olduğu kabul edildiği takdirde toplam 318 adet membran kullanılacaktır.

**4. Aşama-** Enerji Tüketimi ve Maliyetinin Hesaplanması:

$$P = I^2 \times R \quad (6)$$

$$P = (24,21)^2 \times 10,5 = 6154 \text{ watt}$$

$$\text{Yıllık Elektrik Tüketim Maliyeti} = 6,154 \times 0,41 \frac{\text{TL}}{\text{kW}} \times 365 \times 24 = 22103 \text{ TL}$$

Fizibilite analizinin ikinci aşaması olarak sistemden ne kadar lityum alınabileceği ve bunun güncel market değeri üzerinden getireceği katma değer hesaplanmalıdır. Bu hesaplama için lityum güncel market değeri 6,8 USD /Kg olarak kabul edilmiştir [28].

**1. Aşama-** Sistemden %90 Verimle Kazanılacak Li Miktarının Hesaplanması (M):

$$M = 0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{saniye}} \times 86400 \frac{\text{saniye}}{\text{gün}} \times 28 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,9 \quad (7)$$

$$M = 21773 \frac{\text{g}}{\text{gün}} = 21,7 \text{ Kg/gün}$$

**2. Aşama-** Kazanılan lityum metalinin yıllık market değerinin hesaplanması:

$$\text{Günlük Pazar Değeri} = 6,8 \text{ USD/Kg} \times 21,7 \frac{\text{Kg}}{\text{gün}} = \frac{148\text{USD}}{\text{gün}} = 54040 \text{ USD/yıl} \quad (8)$$

$$\text{Yıllık Market Değerinin TL Eşdeğeri} = 54040 \text{ USD} \times 3,8 \frac{\text{TL}}{\text{USD}} = 205352 \text{ TL/yıl}$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Biga Yarımadasındaki jeotermal kaynaklar incelendiğinde içerik olarak hem yakın zamanda ekonomik açıdan temininde zorluk çekilme potansiyeli olan (lityum, bor grubu) hem de ekolojik çevreye zararlı olabilecek bazı elementlerce (bor, arsenik) zengin olduğu tespit edilmiştir [29]. Jeolojik ve jeokimyasal sınırlar dikkate alındığında bu zenginleşmenin özellikle magmatik aktivite etkisinin yüksek olduğu yüksek sıcaklık ve asidik pH koşullarına sahip akışkanlarda temsil edildiği gözlemlenmiştir [30-33].

Fizibilite hesaplamalarımıza göre Tuzla jeotermal akışkanından elektrodializ yöntemi ile kurulacak sistemden 10 L/sn debi ile yaklaşık olarak günlük 22 Kg Li elde edilebileceği görülmektedir. Bu sistemin 10 yıl boyunca işletileceği ve yıllık 0,05 oranında bir enflasyon ortalamasını kabul edildiğinde toplam elektrik işletim maliyeti

*AYVACIK-TUZLA BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARDAN METAL/MİNERAL KAZANIM OLANAKLARI*

73167 USD, toplam fayda (kazanç) ise 679710 USD olarak hesaplanmaktadır. İlk kurulum masrafı 110000 USD olarak aldığımda toplam maliyet 183167 USD (110000 + 73167) ve toplam kazanç 679710 USD olarak elde edilmektedir. Bu iki matematiksel ifadenin (Kazanç/Maliyet) oranı 1'in üzerinde (3,71) olup işletmenin karlı bir yatırım olacağını ispatlamaktadır. Seçilecek membranın özellikleri ve yapıldığı malzeme çok çeşitli olabildiğinden yukarıdaki işletim maliyet hesabında membran birim fiyatı göz ardı edilmiştir. Ancak, ilk kurulum maliyeti olarak alınan toplam 110000 USD içerisinde hem membran fiyatı hem de kurulum aşamasındaki tüm makine ve teçhizatın dahil olduğu bilinmektedir. Benzer çalışmalar incelendiğinde [34, 35] Kaliforniya'da "Salton Sea" bölgesinde iyon değiştirme yöntemi ile yılda 30000 ton %99,99 saflıkta çinko metali elde edilebilmesinin mümkün olduğunu ve saf çinko üretimi sonucu jeotermal sahadan elektrik enerjisi üretiminden elde ettiği gelirden daha yüksek bir gelir elde edilebileceği hususunu dile getirmiştir. Jeolojik sınır koşulları ve akışkana ait termodinamik değerlerin bölgeden bölgeye farklılıklar göstermesinden dolayı bu çalışmada yapılan fizibilite analizini bire bir karşılaştırma olanağı mümkün olmamaktadır. Ancak, lityum özelinde yapılan deneysel bir çalışmanın sonucuna göre Wairakei (Yeni Zelanda) jeotermal kaynağından alınan temsili su numunesi (13 mg/Kg Li) ile günlük yaklaşık 250 Kg lityum metali elde edilebileceği gösterilmiştir [36]. Bu çalışmada, araştırmacılar elektrodializ sisteminde pH kontrolünün lityum geri kazanımı için en kritik parametrelerden biri olduğu ve metal kazanımının pH değerinin 2 ile 4 arasında olduğunda en verimli olduğunu göstermişlerdir.

Ayvacic-Tuzla jeotermal akışkanında altın, gümüş ve diğer ekonomik değeri yüksek elementlerin içeriği sağlıklı bir şekilde raporlanmadığı için benzer bir fizibilite analizi yapılması mümkün olmamıştır. Ancak, kuyu içi örnekleme tekniği kullanılarak Yeni Zelanda da yapılan çalışmalarda altın için 0,1- 1,0 ppb, gümüş için ise 2-2000 ppb düzeyinde konsantrasyon değerlerine ulaşıldığı bilinmektedir. Bu sahalarda açılacak bir üretim kuyusunun ortalama debisinin 100 Kg/sn olduğu varsayılarak 0,1-1,0 ppb altın konsantrasyonundan yıllık 0,3-3,0 Kg altın üretilebileceği bununda market değerinin 12000 USD-120000 USD arasında bir katma değer üretebileceği rapor edilmiştir. Daha yüksek altın konsantrasyonuna sahip Rotokawa jeotermal sahasında ölçülen 6,0-22 ppb değerleri için ise aynı ortalama debi ile yıllık 19-70 Kg altın üretilebileceği ve bunun da market değerinin 735000-2710000 USD arasında bir katma değer oluşturabileceği raporlanmıştır. [37].

Gerek laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalar gerekse de saha gözlemleri sıcaklık ve pH sınır koşullarının su-kaya etkileşiminde kimyasal dengeyi direk olarak etkileyebilecek parametreler olduğunu göstermektedir [38, 39]. Biga Yarımadası genelinde kimyasal içerik değerleri ölçümde kullanılan aletsel hassasiyet derecesinin altında kaldığı için raporlanamayan veya <0,1 ppb gibi muğlak şekilde raporlanan elementlerin (Nadir Toprak Elementleri (NTE) ve Platin Grubu Elementler (PGE)) olmak üzere olduğu bilinmektedir. Ancak, yerinde ölçülebilecek Eh ve oksijen kısmi basıncı diğer termodinamik parametreler ile birlikte değerlendirildiğinde hem ticari değeri hem de teknolojik önemi çok üst düzeyde olan bu metallerin de jeotermal akışkan içindeki denge durumu ve hareketliliği hakkında bir fikir edinilmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca, jeotermal sahadan numune alınımında örnekleme tekniği olarak akışkanın doğal kimyasal muhtevasına en yakın olabilecek kuyu içi teknikleri kullanılması hedeflenen metal için en doğru değerlere ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda titanyum alaşımlı örnekleme cihazlarının son yıllarda yaygınlaşmaya başladığı [40], ancak ülkemizde henüz uygulama alanı bulmadığı bilinmektedir. Tüm geri kazanım teknolojilerinde dikkate alınması gereken önemli bir parametre ise akışkanın debisi ve kazanımı istenilen metal/minerallerin yanı sıra akışkanın içerdiği toplam tuz miktarıdır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde Ayvacic-Tuzla özelinde ve/veya Biga Yarımadası genelindeki jeotermal kaynaklar genellikle debileri düşük seviyede (1-50 L/sn) toplam tuz içeriği ise yüksek olarak sınıflanabilir. Doğal olarak toplam tuz içeriğinin artması geri kazanımı hedeflenen metalin bu tuzlar ile kimyasal kompleks oluşturma potansiyeli nedeni ile saf olarak elde edilmesini güçleştirebilecektir.

Metal geri kazanımı hususunda hangi sistemin daha etkin olabileceği değerlendirilirken ilk kurulum maliyetinin yanı sıra işletim maliyetlerini düşürebilmek büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar hibrid yenilenebilir enerji sistemlerinin tek bir çatı altında entegrasyonu ile bu maliyetlerin aşağı çekilebileceğini göstermektedir [41]. Bu bağlamda, Biga Yarımadasının diğer yenilenebilir enerji potansiyelleri ile birlikte düşünüldüğünde Rüzgâr-Jeotermal ve/veya Güneş-Jeotermal sistemlerinin geri kazanım maliyetlerinde en önemli girdiyi teşkil eden elektrik maliyetini minimize etmesi adına önemli bir ayrıntı olarak ön plana çıkmaktadır.

Gelişmiş jeotermal sistemlerde üretim kuyusundan alınan akışkan rezervuar basıncını düşürmemek için sisteme geri verilmesi (re-injection) gerekmektedir. Ülkemizde en son çıkan yasa ile birlikte kullanılan suyun sisteme geri verilmesi yasal bir zorunluluk haline getirilmesine rağmen özellikle ısıtma ve turizm amaçlı uygulamalarda bu suların uygun bir topoğrafik yüzeye çoğu zaman yakındaki bir akarsuya bırakıldığı bilinmektedir. Ekonomik açıdan değerli elementlerin yanında yüksek Bor ve Arsenik içeriği dikkate alındığında çevreye zararlı olabilecek bu elementlerin geri kazanılmasının ne denli önemli bir katma değer teşkil ettiği göz önüne alınması gereken bir husustur.

#### 4. SONUÇLAR

Ülkemizin içinde bulunduğu hassas jeopolitik durum ve enerjide dışa bağımlılığı yenilenebilir enerji potansiyelimizin tüm boyutları ile ele alınıp yerel/bölgesel çerçevede azami verimliliğin elde edilmesini gerektirmektedir. Jeotermal sistemlerde suyun içinde mineral ve metaller zaten çözülmüş olarak bulunduğundan dolayı, rutin madencilik faaliyetlerinde olduğu gibi kayaçların alındığı, öğütüldüğü, saha bozulmasının yaşandığı, tarımsal alanın kaybedildiği, ekosistem sağlığının bozulması söz konusu olmamaktadır. Bu çalışma ile Biga Yarımadası genelinde ve Ayvacı Tuzla bölgesi özelindeki jeotermal kaynaklarda yüksek konsantrasyonları ile ön plana çıkan metallerin klasik tekniklere alternatif olarak çevresel dokuya zarar vermeden kârlı bir şekilde kazanılmasının mümkün olabileceği ön görülmektedir. Gerçekleştirilen hesaplamaların sonucu temel alındığında ülkemizdeki jeotermal kaynakların içerdiği ekonomik açıdan kritik öneme sahip kimyasal zenginleşmelerin sağlıklı bir şekilde tespiti ve envanteri, bugüne kadar eksik kalmış bilimsel bazı temel verilerin ortaya konmasının ötesinde, jeotermal kaynakların sürdürülebilir kullanımı çerçevesinde ivedilikle ele alınmalıdır.

#### TEŞEKKÜR

Maddi ve manevi her türlü desteğini her zaman hazır eden çok değerli Hocam Hanife CEYLAN'a şükranlarımı sunarım. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli görüş ve önerilerinden dolayı Doç. Dr. Hasan Göksel ÖZDİLEK, Prof. Dr. Özcan YİĞİT ve Prof. Dr. Nurettin ŞAHİNER'e teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR

- [1] LUND, J.W., BOYD, T.L., "Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review", *Geothermics*, 60, 66-93, 2016.
- [2] BERTANI, R., "Geothermal Power Generation in the World 2010–2014 Update Report", *Geothermics*, 60, 31-43, 2016.
- [3] <http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/> (erişim tarihi 18.01.2017).
- [4] [https://geothermal.org/PDFs/California\\_Geothermal\\_Forum/Session\\_4\\_1\\_Wall.pdf](https://geothermal.org/PDFs/California_Geothermal_Forum/Session_4_1_Wall.pdf) (erişim tarihi 18.01.2017).
- [5] BROWN, K., SIMMONS, S., "Precious Metals in High Temperature Geothermal Systems", *Geothermics*, 32, 619-625, 2003.
- [6] MERCADO, S., LOPEZ, J.A., ANGULO, R., "Chemical Recovery as an Alternative Environmental Solution for Geothermal Brines in Cerro Prieto", *Geothermal Resources Council Transactions*, 3, 449-452, 1979.
- [7] SHANNON, W.T., OWERS, W.R., ROTHBAUM, H.P., "Pilot Scale Solids/Liquid Separation in Hot Geothermal Discharge Waters Using Dissolved Air Flotation", *Geothermics*, 11, 43-58, 1982.
- [8] GALLUP, D.L., "Geochemistry of Geothermal Fluids and Well Scales, and Potential for Mineral Recovery", *Ore Geology*, 12(4), 225-236, 1998.
- [9] PREMUIZIC, E.T., LIN, M., BOHENEK, M., SHELENKOVA, L., WILKE, R., JOSHI-TOPE, G., "Processing of Spent Geothermal Brines", *Geothermal Resources Council Transactions*, 23, 229-239, 1999.
- [10] POPE, J.G., BROWN, K.L., McCONCHIE, D.M., "Gold Concentrations in Springs at Waiotapu, New Zealand. Implications for Precious Metal Deposition in Geothermal Systems", *Economic Geology*, 100, 677-687, 2005.
- [11] LÖ, Y.C., CHENG, C.L., BOR, Y.C., CHANG, J.S., "Recovery of High Value Metals from Geothermal Sites by Biosorption and Bioaccumulation", *Bioresource Technology*, 160, 182-190, 2014.
- [12] DAĞISTAN, H., "Türkiye Jeotermal Kaynak Aramaları, Kullanımı ve Sürdürülebilirliğinin Sağlanması", *Mineral Research & Exploration Bulletin*, 15, 1-11, 2013.
- [13] T.C. KALKINMA BAKANLIĞI, 10. Kalkınma Planı 2014- 2018, Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Grubu, Jeotermal Çalışma Alt Grup Raporu, 2013.
- [14] EMRE, Ö., DUMAN, T.Y., ÖZALP, S., ELMACI, H., OLGUN, Ş., ŞAROĞLU, F., "Active Fault Map of Turkey with Explanatory Text", *General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series*, 30, 2013.
- [15] KÜRÇER, A., CHATZIPETROS, A., TUTKUN, S.Z., PAVLİDES, S., ATEŞ, Ö., "The Yenice-Gönen Fault (NW Turkey): Active Tectonics and Palaeoseismology", *Tectonophysics*, 453, 263-75, 2008.
- [16] YİĞİTBAŞ, E., ŞENGÜN, F., YUNÇ, İ.O., "Pre-Neogene Tectonic Units in the Biga Peninsula (NW Anatolia) and New View to Their Geodynamic Evolution" TÜBİTAK Report, Project No:110Y281, 2014.
- [17] EKİNCİ, Y.L., YİĞİTBAŞ, E., "Interpretation of Gravity Anomalies to Delineate Some Structural Features of Biga and Gelibolu Peninsulas and Their Surroundings (North-West Turkey)", *Geodinamica Acta*, 27, 300-319, 2015.

## AYVACIK-TUZLA BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARDAN METAL/MİNERAL KAZANIM OLANAKLARI

- [18] MUTLU, H., GÜLEÇ, N., HILTON, D.R., “Helium-Carbon Relationship in Geothermal Fluids of Western Anatolia, Turkey”, *Chemical Geology*, 247, 305-321, 2008.
- [19] YİĞİT, Ö., “Heat Flow and Gold Mineralization in The Tethyan Metallogenic Belt: Exploration Hot Spots in Turkey,” *The 8th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Mugla, Turkey, 13-17 October 2014.
- [20] MTA, “Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayın No: 201, 2005.
- [21] YİĞİT, Ö., “A Prospective Sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and Geochronology of Mineral Deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey”, *Ore Geology Reviews*, 46, 118-148, 2012.
- [22] BABA, A., DENİZ, O., “Biga Yarımadası’ndaki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”, TÜBİTAK ÇAYDAG Proje No:104Y082, 1-323, 2008.
- [23] SANLIYUKSEL, Y. D., YUCEL, M.A., KARACA, Z., CETİNER, Z.S., ERENOGLU, R.C., AKCAY, Ö., “Determining the Geochemical Characteristics of Geothermal Resources and Generating a Geothermal Information System of Thermal Waters in Biga Peninsula, NW Turkey”, 245<sup>th</sup> ACS National Meeting & Exposition, New Orleans, USA, 2013.
- [24] INANLI, M., ATILLA, V., “Metal Silicate Formation at Tuzla Geothermal Brine Lines”, *Proceedings International Workshop on Mineral Scaling*, Manila, 21-27, 2011.
- [25] YALÇIN, T., “Geochemical characterization of the Biga Peninsula thermal waters (NW Turkey)”, *Aquatic Geochemistry*, 13, 75-93, 2007.
- [26] GAVASKAR, A., CUMMING, G., “Cost Evaluation Strategies for Technologies Tested Under the Environmental Verification Program”, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, USA, 2001.
- [27] LAGREGA, M.D., BUCKINGHAM, P.L., EVANS, J.C., *Hazardous Waste Management.*, McGraw Hill, Inc. New York, USA, 1994.
- [28] <https://dx.doi.org/10.3133/fs20143035> (erişim tarihi 18.01.2017).
- [29] BABA, A., SOZBİLİR, H., “Source of Arsenic Based on Geological and Hydrogeochemical Properties of Geothermal Systems in Western Turkey”, *Chemical Geology*, 334, 364-377, 2012.
- [30] BABA, A., ERTEKİN, C., “Determination of the Source and Age of the Geothermal Fluid and Its Effects on Groundwater Resources in Kestanbol (Çanakkale Turkey)”, *IAHS publication*, 324, 2008.
- [31] ATEŞ, Ö., TUTKUN, S.Z., BABA, A., WOITH, H., OZDEN, S., “An Example of Geothermal Systems: Hıdırlar Geothermal Field, Biga Peninsula, NW Turkey”, *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 3257, 2010.
- [32] DENİZ, O., BABA, A., TARCAN, G., “Hydrogeochemical and Hydrogeological Investigation of the Çan Geothermal Field”, *Geological Bulletin of Turkey*, 53, 2-3, 2010.
- [33] SANLIYUKSEL, Y.D., BABA, A., “Hydrogeochemical and Isotopic Composition of a Low-Temperature Geothermal Source in Northwest Turkey: Case Study of Kirkgecit Geothermal Area”, *Environ Earth Sci*, 62, 529-540, 2011.
- [34] BOURCIER, W.L., LIN, M., NIX, G., “Recovery of Minerals and Metals from Geothermal Fluids”, *Lawrence Livermore National Laboratory*, Livermore, CA, USA, 1-18, 2005.
- [35] CETİNER, Z.S., DOĞAN, O., OZDİLEK, H.G., ERDOĞAN, P.O., “Toward Utilising Geothermal Waters for Cleaner and Sustainable Production: Potential of Li Recovery from Geothermal Brines in Turkey”, *Int. J. Global Warming*, 7, 439-453, 2015.
- [36] MROCZEK, E.D., DEDUAL, G., GRAHAM, D., BACON, L., “Lithium Extraction from Wairakei Geothermal Fluid Using Electrodialysis”, *Proceedings World Geothermal Congress*, Melbourne, Australia, 2015.
- [37] SIMMONS, S., BROWN, K., BROWNE, R.L., ROWLAND, J.V., “Gold and Silver Resources in Taupo Volcanic Zone Geothermal Systems”, *Geothermics*, 59, 205-214, 2016.
- [38] REGENSPURG, S., WIERSBERG, T., BRANDT, W., HUENGES, E., SAADAT, A., SCHMIDT, K., ZIMMERMANN, G., “Geochemical Properties of Saline Geothermal Fluids from the In-Situ Geothermal Laboratory Groß Schönebeck (Germany)”, *Chem Erde Geochem*, 70(3), 3-12, 2010.
- [39] REGENSPURG, S., FELDBUSCH, E., BYRNE, J., DEON, F., DRIBA, L.D., HENNINGES, J., KAPPLER, A., NAUMANN, R., REINSCH, T., SCHUBERT, C., “Mineral Precipitation during Production of Geothermal Fluid from a Permian Rotliegend Reservoir”, *Geothermics* 54, 122–135, 2015.
- [40] SIMMONS, S., BROWN, K., BROWNE, R.L., ROWLAND, J.V., “The flux of Gold and Related Metals through a Volcanic Arc, Taupo Volcanic Zone”, *Geology*, 35, 1099-1102, 2007.
- [41] KUYUMCU, C., SOLAROĞLU, U., AKAR, S., SERİN, O., “Hybrid Geothermal and Solar Thermal Power Plant Case Study: Gumuskoy GEPP”, *GRC Trans.*, 36, 1091-1096, 2012.