

Bu makale aşağıda atf bilgisi verilen makalenin Türkçe çevirisidir.
Atf bilgisi: Chandrasekharam, D. 2023. Geothermal Power Corridor-connecting the Middle East Countries. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 171, 177-184. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.1317427>



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



Orta Doğu Ülkelerini birbirine bağlayan Jeotermal Enerji Koridoru

Geothermal power corridor-connecting the Middle East Countries

Dornadula CHANDRASEKHARAM^{a*} 

^aİzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Jeotermal Enerji, Gıda, Su ve Enerji Güvenliği, Sürdürülebilir Kalkınma, Geliştirilmiş Jeotermal Sistemler (GJS)

ÖZ

Ortadoğu ekonomisi ve yaşamı, bölgedeki her ülkenin, bölge dışındaki ülkelere bağımlılığı azaltmak ve bölgesel işbirliği ve sinerji için sosyoekonomik bir model geliştirmek için muazzam enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen, gıda, su veya enerji gibi ithalata bağlıdır. Jeotermal enerji kaynaklarından elde edilebilecek tahmini 371 TWh elektrik, bu ülkeler tarafından temel ihtiyaçları desteklemek ve enerji kaynaklarını paylaşarak gıda, enerji ve su ithalatından kurtulmak için kullanılabilir. Bu ülkelerden kaynaklanan toplam CO₂ emisyon miktarı şu anda 945 x 10⁶ kg'dır, dolayısıyla bu ülkeler bu koridor boyunca jeotermal enerjiyi kullanarak karbon tasarruflarından yaklaşık 92 milyon Euro daha fazla kazanabilirler. Bu miktar, jeotermal kaynaklardan enerji arzını artırmak için kullanılabilir. Bu çalışmada, mevcut jeotermal kaynaklar değerlendirilmekte ve bu enerjinin bölgede barışçıl yaşam ve işbirliği için en iyi şekilde nasıl kullanılabileceğine dair önerilerde bulunmaktadır.

Geliş Tarihi: 30.04.2023
Kabul Tarihi: 20.06.2023

Keywords:
Geothermal Energy, Food-Water-Energy Security, Sustainable Development, EGS.

ABSTRACT

The Middle East economy and life depend on imports, be it food, water, or energy, despite each country in the region having enormous energy resources to exploit and reduce dependency on countries outside the region and develop a socioeconomic model of regional cooperation and synergy. An estimated 371 TWh of electricity available from geothermal energy resources can be utilized by these countries to support basic needs and be free from food-energy-water imports by sharing their energy resources. The total amount of CO₂ emissions from these countries is currently 945 x 10⁶ kg, so these countries can further earn about 92 million euros from carbon savings, by using geothermal energy along this corridor. This amount can be utilized for augmenting the energy supply from geothermal sources. In this work, the available geothermal resources are evaluated, and suggestions are made how this energy can be best utilized for peaceful existence and cooperation in the region.

1. Giriş

Bu iletişim, kıt su kaynaklarına sahip olan ve bu nedenle büyük ölçüde kullanılmayan büyük jeotermal enerji kaynaklarına sahip olmalarına rağmen, büyük

ölçüde yüksek CO₂ yayan fosil enerji kaynakları kullanan ithal gıdaya ve/veya tuzdan arındırılmış suya bağımlı olan ülkeleri ve bol miktarda yeşil enerji potansiyeline ve suya sahip olan ancak yeşil

*Başvurulacak yazar: Dornadula CHANDRASEKHARAM, dchandra50@gmail.com

enerji kaynaklarını geliştirmek için yetersiz altyapı nedeniyle hala ithal enerjiye bağımlı olan ülkeleri hedeflemektedir. Bu yazıda ele alınan bölgelerde fotovoltaik ve rüzgar gibi başka enerji kaynakları olsa da, bu kaynaklar temel yük elektriği sağlayamaz ve verimlilikleri yaklaşık %20'dir. Bu iki kaynağın enerji yoğunlukları çok düşük ve güvenilirlikleri de düşüktür (Shanmugam, 2023). Bu nedenle, bu kaynaklar bu makalede incelenmek üzere dahil edilmemiştir. Burada birinci grup ülkeler için göze batan örnek olarak Suudi Arabistan'ı, ikinci gruptaki ülkeler arasında ise Türkiye'yi ele alıyoruz. Bu iki grup arasında Türkiye ile Suudi Arabistan arasında kalan diğer ülkeler yer almaktadır. Bu ülkelerde bulunan jeotermal enerjiye odaklanacağız ve sınır aşan akiferler gibi bu enerjiyi paylaşmanın onlara nasıl yardımcı olacağını analiz edeceğiz.

Günümüz dünyasında, farklı ülkelere su veya petrol sağlayan sınırlar arasında devam eden nehirler, akiferler ve petrol sahaları yaygındır. Bu akiferlere örnek olarak, Avrupa ve Körfez Arap Ülkeleri İşbirliği Konseyi (KİK) ülkelerinde (Kuveyt, Suudi Arabistan, Umman) Arjantin, Brezilya, Paraguay ve Uruguay'a yayılan Guarani Akiferi verilebilir ve bu akiferlerin yanı sıra hidrokarbon üretilen formasyonlar da benzer şekilde geçişlidir (Chandrasekharam vd., 2016a). Benzer şekilde, elektrik de bir ülke içinde veya ülkeler arasında bir şebeke sistemi aracılığıyla paylaşılır. Örneğin, nükleer enerji, termik ve hidroelektrik Avrupa'da paylaşılmaktadır (<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics>). Termik santrallerin çoğu kömür kaynağının yakınında, hidroelektrik ise uygun bir su drenaj sistemi içinde olduğundan, ülke içinde bir şebeke üzerinden paylaşım çok yaygındır. Böylece, bölgelerin sürdürülebilir kalkınması için bölgeler arası şebeke sistemleri kullanılarak jeotermal enerjinin paylaşılması ve iklim değişikliği kontrolü hedefine toplu olarak katkıda bulunulması mümkündür. Ülkeler içinde şebekeler ve mini şebekeler kullanılarak jeotermal enerji iletimi yaygındır. Ülkeler arasında jeotermal enerji sağlamak için sınır ötesi bir iletim sistemi kullanmak mümkündür.

Buradaki odak noktası, Kızıldeniz, Suudi Arabistan, Ürdün ve Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelini değerlendirmek ve tüm Orta Doğu ülkelerini karbonsuz gıda, enerji ve su (GES) sağlamaya dahil etmenin ve BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini

ortak bir jeotermal enerji koridoru (JEK) aracılığıyla desteklemenin yollarını önermektir.

2. Yöntem ve Potansiyelin Durumu

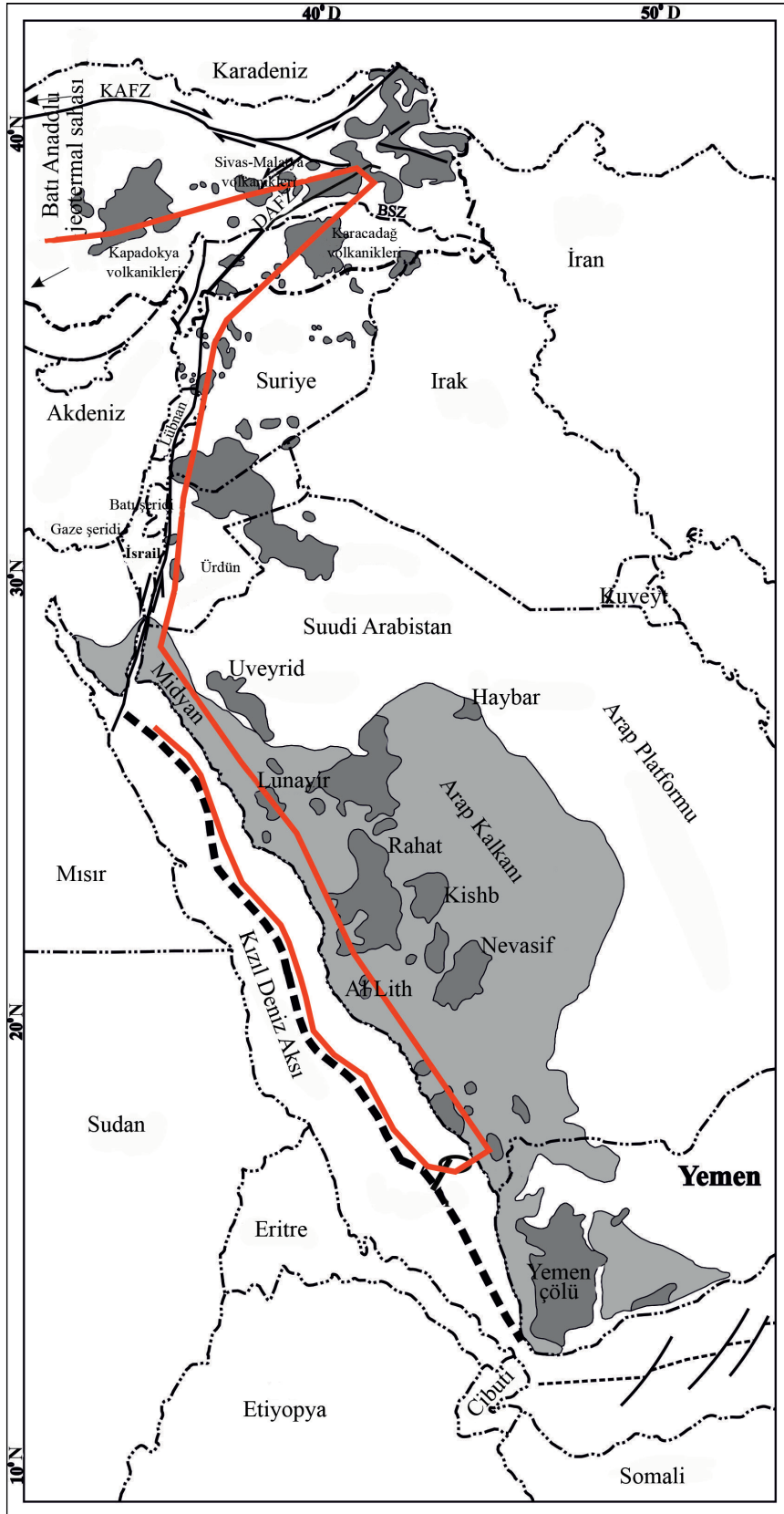
2.1. Yöntem

Granitlerin radyoaktif ısı üretimi Rybach (1976) prosedürü kullanılarak hesaplanmıştır. Bu tür granitlerden elektrik üretimi, Avustralya'nın Cooper Havzası'ndaki kızgın kuru kaya projesi için Somerville vd. (1994) tarafından benimsenen prosedür kullanılarak hesaplanmıştır.

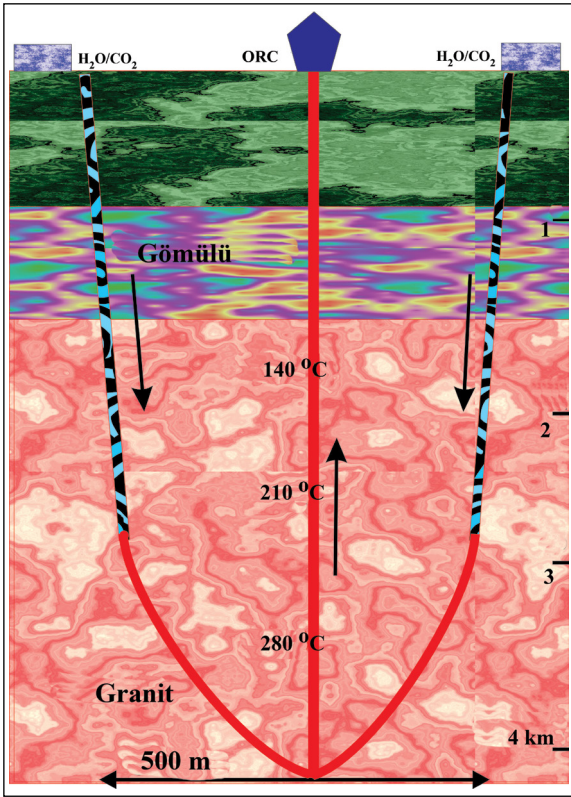
2.2. Kızıldeniz Sırt Kanatlarından Gelen Enerji

Yakın tarihli bir araştırmaya göre (Chandrasekhar ve Chandrasekharam, 2023), Kızıldeniz, yüksek radyojenik granitler ve Batı Arap Kalkanı'nın Harratları (volkanik alanlar) ile birlikte çok yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahiptir.

Bu bölge 49×10^{11} kWh elektrik üretebilirken, Suudi Arabistan'ın yıllık elektrik tüketimi sadece $2,89 \times 10^{11}$ kWh'dir. Bu bölge, Suriye'nin granitleri ve Harratları, doğu ve orta volkanik sahaları ve Türkiye'nin batı jeotermal bölgesi ile birlikte, burada Jeotermal Enerji Koridoru (JEK) olarak adlandırılan sınır ötesi bir jeotermal enerji şebekesi oluşturabilir (Şekil 1). Aden Körfezi'nden Akabe Körfezi'ne kadar olan 2000 km uzunluğundaki Kızıldeniz sırtının doğu kanadının ısı akı değeri 96 ila 205 mW/m² arasında değişmektedir (Girdler, 1970; Girdler ve Evans, 1977). Bu, 2 ila 3 km derinlikte karşılaşılan kritik üstü sıcaklığa (378 °C) sahip jeotermal bölgelerin bir yeridir. Bunun nedeni, eksenel vadide sığ derinlikte sıcak tuzlu su havuzlarının varlığıyla gösterilen (Degens ve Ross, 1969) 10 ila 12 km derinlikte 1200 °C izotermnin (bazaltların erime sıcaklığı) bulunması ve sırt ekseninin doğu tarafında 20° Paralel boyunca sığ levha dayk sokulumlarının varlığıdır (Cochran vd., 1986; Follmann vd., 2021; Chandrasekhar ve Chandrasekharam, 2023). Aktif bir volkanik arazinin altındaki süperkritik bir jeotermal bölgenin 3D THM (COMSOL V6 kullanan Termo-Hidro-Mekanik model) modellenmesi (tek döngü GJS konfigürasyonu ile Şekil 2'de gösterilmiştir), 53 MWe üretebilen üretim kuyusunda 275 °C'lik sıcaklıkların elde edilebileceğini göstermektedir (Chandrasekharam vd., 2023).



Şekil 1- Kırmızı çizgi, Kızıldeniz sırtındaki jeotermal sahaları, Batı Arabistan Kalkanı, Ürdün ve Türkiye'yi birbirine bağlayan Jeotermal Kaynak Koridorunu göstermektedir.

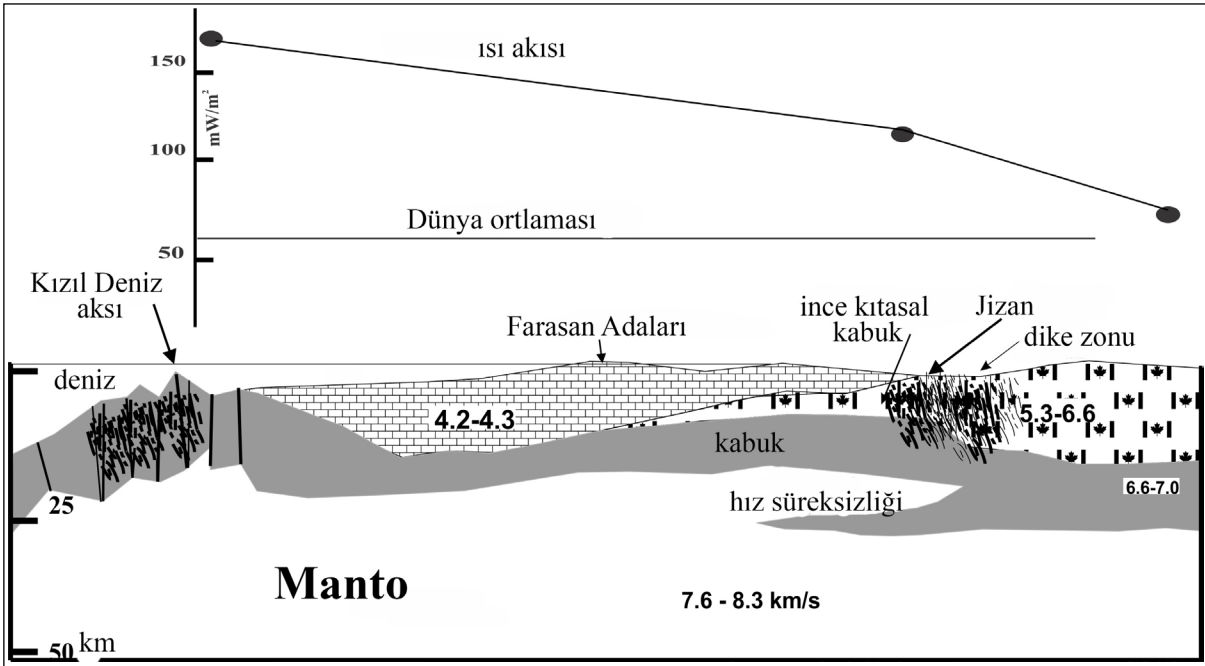


Şekil 2- Bölüm 2.6'da açıklanan COMSOL V6 kullanılarak THM modellemesi için kullanılan Şematik Kapalı Çevrim Geliştirilmiş Jeotermal Sistem modeli.

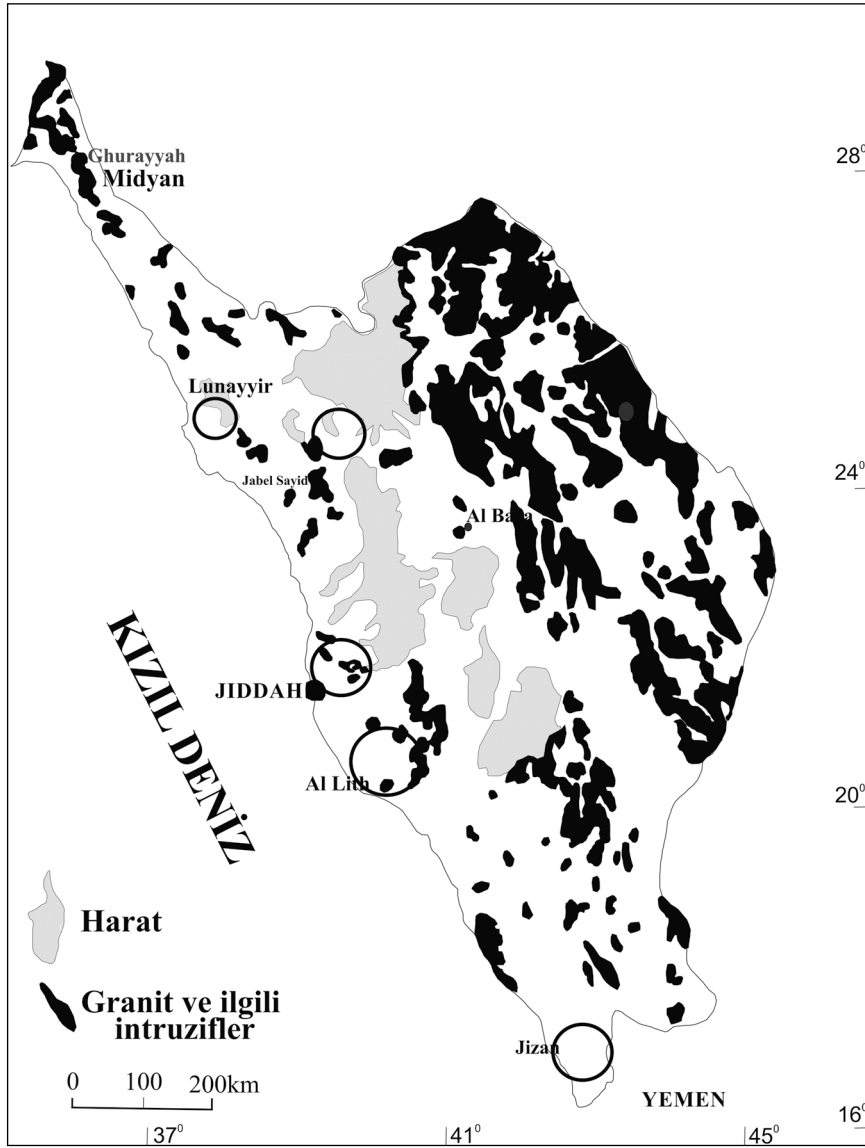
Dönüşüm fayları arasında (kuyular arasında 10 km boşluk bulunan) 2000 km'den uzun iki yüz açık deniz jeotermal platformu, Kızıldeniz sırtının batı yamacında bu süperkritik ısıya dokunan yukarıdaki modele göre 10600 MWe üretmelidir. Bu, yılda 84 milyar kWh'ye eşdeğerdir. Petrol kuleleri açık denizde çalışabildiğinde, çok daha küçük jeotermal platformlar da çalışabilir. Doğu kanatlardaki jeotermal kuyuların sayısı, enerji üretim sistemi kurulduktan sonra artırılabilir. Ne de olsa, yayılma sırtı boyunca dokunmak için sürekli bir ısı kaynağı vardır.

2.3. Batı Arabistan Kalkan Kenarından Gelen Enerji

Jizan ve Al Lith'deki hidrotermal kaynaklar, Harratlar (volkanik alanlar) ve yüksek radyojenik granitler, Arap Kalkanı'nın batı kenarı boyunca ana jeotermal kaynaklardır. Dayklar ve ofiyolitleri ile okyanus sırtı dilimi, üzerine bindirilen asit farklılaşmaları ile birlikte, yüksek ısı akısı (100 mW/m^2) ve jeotermal eğim ($90 \text{ }^\circ\text{C/km}$) ile Jizan ve Al Lith'teki ince kıta kenarı (Şekil 3 ve 4), sırasıyla $1,2 \times 10^9 \text{ kWh}$ ve $134 \times 10^6 \text{ kWh}$ üretim kapasiteli hidrotermal rezervuarların ana lokuslarını oluşturmaktadır (Chandrasekharam vd., 2016, 2014, 2015, 2016).



Şekil 3- Batı Suudi Arabistan, Jizan'ın altındaki ısı akısı ve yeraltı yapısı.



Şekil 4- Harratları ve yüksek radyojenik granitleri gösteren Batı Suudi Arabistan Kalkanı.

2.4. Kalkanın Yüksek Radyojenik Granitlerinden Gelen Enerji

Batı Arap Kalkanı üzerine yayılmış 162.000 km² kümülatif yüzlek alanına sahip granitler, yüksek ısı akı değerlerine (50 ila 1382 mW/m²) sahip, 5 ila 134 μ W/m³ radyojenik ısı üretme kapasitesine sahip çok verimli kayalardır (Chandrasekharam vd., 2015). Kalkanın KB kısmında yer alan Midyan granitleri (Şekil 4) 134 μ W/m³ ile en yüksek ısı üretme kapasitesine sahip en verimli kayalardır. Artık bu enerjiden yararlanma teknolojisi (kapalı döngü GJS teknolojisi) olgunlaştığına göre, Suudi Arabistan'ın batı kenarı boyunca uzanan tüm bu yüksek

radyojenik granitler (162.000 km²) enerji üretimi için kullanılabilir. Yüksek radyojenik granitlerin (1 m kalınlık) tüm hacminden elektrik üretimi için ısı enerjisinin yaklaşık %2'sinin geri kazanıldığı varsayıldığında, üretilebilecek enerji miktarı yaklaşık 256 x 10⁹ kWh'dir. Günlük kişi başına elektrik tüketiminin 2000 kWh olduğu varsayıldığında, bu granitler tek başına 128 x 10⁶ kişiyi destekleyebilir (Chandrasekharam vd., 2015). Dolayısıyla, yukarıda tartışıldığı gibi, Kızıldeniz sırtı yanlarından, Jizan ve Al Lith'teki hidrotermal kaynaklardan ve yüksek radyojenik granitlerden çekilebilecek minimum enerji yaklaşık 340 TWh'dir.

2.5. Kızıldeniz ve Batı Arap Kalkanı'nın Curie İzotermi

Curie derinlik izotermi, tahmin edildiği gibi sırt yanlarının 10 km üzerinde ve Farasan adaları, Jizan ve Al Lith hidrotermal bölgelerinin altında çok sıgıdır. Al Lith'ten Mydian'a kadar uzanan tüm kıyı bölgesi boyunca, Curie izoterm derinliği 30 km'nin altındadır (Essam vd., 2016). Curie izotermi, Harratlar da dahil olmak üzere tüm doğu Kızıldeniz kenarı ve batı kalkan bölgesi üzerinde sıgı bir yüksek sıcaklık rejimini desteklemektedir.

2.6. Türkiye Jeotermal Sahalarından Gelen Enerji

Türkiye, GJS kaynaklarının yanında hidrotermale de sahiptir. Şu anda, Batı Anadolu'da hidrotermal kaynaklar 1680 MWe üretmektedir (Baba ve Chandrasekharam, 2022). Yüksek radyojenik granitler, 6910 km²'lik bir yüzey alanı ile tüm ülkeye yayılmış, 7 ila 20 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ arasında değişen radyoaktif ısı üretimi ve $> 100 \text{ mW}/\text{m}^2$ ısı akı değeri kaydetmiştir (Chandrasekharam vd., 2022). Örnek olarak Kestanbol, Hamit ve Eskişehir bölgelerinden 3 adet bu tür granitten üretilebilecek enerji 716 x 106 kWh'dir (Chandrasekharam ve Baba, 2021; Tolga vd., 2022, Chandrasekharam vd., 2022; Chandrasekhar, 2022). Böylece, 6910 km²'lik yüksek radyojenik granitlerden üretilebilecek enerjinin %2'si (bunun çıkarılabilecek minimum değer olduğu varsayılarak) 10900 x 10⁶ kWh mertebesindedir. Bu granitlerin yanı sıra Türkiye, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde kritik sıcaklık jeotermal rejiminin sıgı derinlikte (3 km) ve magma odalarının 5 km derinlikte bulunduğu aşırı sıcak GJS sahalarına sahiptir. Orta Anadolu'daki bu tür süperkritik sahalarından birinde yer alan COMSOL V6 üç boyutlu termo-hidro-mekanik (THM) modeli, kapalı döngü ekstraksiyon yönteminin benimsenmesiyle (Şekil 2) elde edilebilecek sıcaklığın, enjeksiyon hacmi 500 L/s su olan bir üretim kuyusunda yaklaşık 275 °C olduğunu göstermektedir (Chandrasekharam vd., 2023). Bu kuyu başı sıcaklığı, şu anda 53 MWe üreten bazı hidrotermal sistemlere çok benzerdir (Miravallis, Costa Rica; Di Pippo, 2012). Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinden bu tür yaklaşık 15 kapalı döngü süperkritik GJS sahası minimum 750 MWe (~ 6 x 10⁹ kWh) sağlayabilir.

2.7. Türkiye'nin Curie İzotermi

JEK kapsamına giren ülkeler arasında Türkiye, dalma-batma zonlarının varlığı, ince ve parçalı kıta kabuğu, sıgı Moho derinliği, kabuk seviyelerinde magma odalarının varlığı ve yukarıda tartışılan yüksek radyojenik granitlerin yanı sıra mantodan yüksek ısı akısı nedeniyle 6 ila 20 km'de sıgı bir Curie izotermi ile temsil edilen yüksek termal rejimi ile eşsiz bir yere sahiptir. Bu bölge, bu kadar yüksek bir termal konfigürasyonun mevcut olduğu tek kıtasal bölümdür. Bu ülkenin jeotermal potansiyeli tam olarak kullanılmamıştır (Chandrasekharam vd., 2023).

2.8. Ürdün

Jeolojik olarak Ürdün, yüksek radyojenik granit ve harratlarıyla batı Arap Kalkanı'nın kuzeye doğru uzantısı olmasına rağmen, bu ülkenin jeotermal kaynakları hakkında yapılmış önemli bir araştırma yoktur (Şekil 1). Bununla birlikte, bölgesel Curie izotermi Harrat Ash-Shaam'ın 5 km GD'sinde yer almaktadır. Bu bölgede yaklaşık 3 km derinlikte kritik sıcaklıkta termal rejim öngörülmektedir. Türkiye'deki bir stratovulkan üzerinde COMSOL V6 kullanılarak elde edilen THM modelleme sonuçlarına dayanarak (Chandrasekharam vd., 2023), minimum çıkarılabilir enerjinin yaklaşık 150 MWe (~ 2 x 10⁹ kWh, döngü teknolojili üç kuyu) olduğunu varsaymak mantıklıdır.

3. Tartışma ve Sonuç

JEK boyunca mevcut olan jeotermal enerji (371 TWh) ihtiyatlı bir tahmindir. Bu, sondaj ve ısı çıkarma teknolojilerindeki yeni gelişmelerle gelecekte artırılabilir. Ürdün'de Wadi Zerqa fay zonu boyunca 31°30' K paraleli boyunca yüksek ısı akılı alanlar (125 ila 472 mW/m^2) bulunmaktadır. Bu keşfedilmemiş yerler, gelecekte JEK'ye ek miktarda enerji ekleyebilir. Bu enerji (371 TWh), sürdürülebilir kalkınma ve afet azaltma programlarına bağlı olarak burada tartışılan ülkeler tarafından paylaşılabilir. Jeotermal enerji kaynakları, doğal afetlerden bağımsız olarak, $> \%90$ verimlilikle ve yılın %95'inde kesintisiz bir güç kaynağı sağlayabilecektir. Bu enerjiden yararlanmanın en iyi yolu, evsel ve tarım sektörlerini desteklemek için tatlı su elde etmektir. Tuzdan arındırma teknolojisi kullanılarak 1000 L tatlı su elde etmek için ortalama 5 kWh elektrik enerjisi gerekmektedir. JEK, kişi başına 35 L/gün su

tüketimiyle (kişi başı tüketim için küresel ortalama) yaklaşık 5,87 milyar insanı (Suudi Arabistan, Ürdün ve Türkiye'nin mevcut toplam nüfusu 131 milyon) besleyebilen yaklaşık 75×10^{12} L tatlı su üretebilir. Bu koridordan elde edilen gıda, enerji ve su (GES) faydaları, bu koridor boyunca GES güvenliği zayıf olan diğer ülkeler tarafından kullanılabilir.

Çok düşük karbon ayak izine sahip olan jeotermal enerji, büyük karbon tasarrufu ile bu JEK boyunca tüm ülkelere fayda sağlayabilir. Suudi Arabistan (524×10^6 kg), Ürdün (24×10^6 kg) ve Türkiye'den (397×10^6 kg) kaynaklanan toplam CO₂ emisyon miktarı 945×10^6 kg'dır. Karbon tasarrufundan kazanılabilecek miktar yaklaşık 92 milyon Euro'dur (karbon kredi değeri: 97 Euro /1000 kg, <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/26 Feb 2023>). Bu miktar, yukarıda tartışılan kaynaklardan enerji arzını artırmak için kullanılabilir ve bu koridoru, gıda ve su konusunda kendi kendine yeterlilik ile kapsayıcı büyüme ile yeşil bir toplum haline getirmek için kullanılabilir. Bu JEK tam olarak kurulduktan sonra, bu koridor boyunca tüm kara kütesini karbon emisyonlarından arındırılmış bir yeşil bölge olan yeşil bir bölgeye entegre edebilir.

Katkı Belirtme

Bu çalışmanın yayınlanması TÜBİTAK (Proje No:120C079) tarafından desteklenmektedir. Yazar, eleştirmenlere yapıcı yorumları ve önerileri için teşekkür eder.

Değinilen Belgeler

- Aboud, E., Alotaibi, A. M., Saud, R. 2016. Relationship between Curie isotherm surface and Moho discontinuity in the Arabian shield, Saudi Arabia. *Journal of Asian Earth Sciences* 128, 42–53.
- Baba, A., Chandrasekharam, D. 2022. Geothermal Resources for sustainable development. Case study: Turkey. *International Journal of Energy Research*. 1-18.
- Chandrasekharam, D. 2022. Enhanced geothermal systems (EGS) for UNSustainable development goals. *Discover Energy*.
- Chandrasekharam, D., Baba, A. 2021. High heat generating granites of Kestanbol: Future Enhanced Geothermal System (EGS) province in Western Anatolia, in "Geothermal Energy for sustainable development" Eds. Chandrasekharam and A.

Baba, Turkish Journal of Earth Sciences, 30, 1032-1044.

- Chandarasekharam, D., Lashin, A., Al Arifi, N. 2014. The potential contribution of geothermal energy to electricity supply in Saudi Arabia. *International Journal of Sustainable Energy*.
- Chandrasekharam, D., Lashin, A., Al Arifi, N., Al Bassam, A., El Alf, M., Ranjith, P. G., Varun, C., Singh, H. K. 2015. The potential of high heat generating granites as EGS source to generate power and reduce CO₂ emissions, western Arabian shield, Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, 112, 213-233.
- Chandrasekharam, D, Lashin, A., Al Arifi, N., Al Bassam, A., Varun, C. 2016a. Desalination of seawater using geothermal energy to meet future fresh water demand of Saudi Arabia. *Water Resources Management*.
- Chandrasekharam, A., Lashin, N. Al Arifi, A. Al Bassam. 2016b. *Red Sea Geothermal Provinces*. CRC Press, 220 p.
- Chandrasekharam, D., Baba, A., Ayzit, A., Singh, H. K. 2022. Geothermal potential of Kaymaz and Sivrihisar granites, Eskisehir region, western Anatolia. *Renewable Energy*, 196, 870-882.
- Chandrasekharam, D., Mrityunjay, S., Baba, A. 2023. Sahinkalesi massif, a resurgent dome and super-hot EGS province: Hasandag stratovolcanic province, Central Anatolia (Renewable Energy-under review).
- Chandrasekhar, V., Chandrasekharam, D. 2023. Red Sea geothermal belt: Potential clean energy source to power NEOM and nearby countries Chapter 9 in (Ed) N. Rasul and I. Stewart. *Rifting and Sediments in the Red Sea and Arabian Gulf regions*, CRC Press, UK, 356p.
- Cochran, J.R., Martinez, F., Steckler, M.S., Hobart, M. A. 1986. Conrad Deep: a new northern Red Sea deep. Origin and implications for continental rifting. *Earth Planet Sci Lett* 78: 18-32.
- Degens, E.T., Ross. D. A. 1969. Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea. A geochemical and geophysical account. Berlin: Springer-Verlag, 609 p.
- Di Pippo, R. 2012. *Geothermal power plants*, 3rd edn. Elsevier, New York, pp 463–474.
- Follmann, J., van der Zwan, F.M., Preine, J., Hübscher, C., Bousquet, R., Augustin, N. 2021. *Gabbro*

- discovery in Discovery Deep: First plutonic rock samples from the Red Sea Rift axis. *Frontiers Earth Sci* 9.
- Girdler, R.W. 1970. A review of Red Sea heat flow. *Phil Trans Roy Soc London* 267: 191-203.
- Girdler, R.W., Evans T. R. 1977. Red Sea heat flow. *Geophys J R Astr Soc* 51: 245-251.
- Rybach, L. 1976. Radioactive Heat Production: A Physical Property Determined by the Chemistry. In: RGI. Strens (Editor), *The Physical and Chemistry of Minerals and Rocks*. Wiley-Interscience Publication, New York, USA, pp. 245-276.
- Shanmugam, G. 2023. Fossil Fuels, Climate Change, and the Vital Role of CO₂ Plays in Thriving People and Plants on Planet Earth. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*.
- Somerville, M., Wyborn, D., Chopra, P., Rahman, S., Don Estrella, Theo Van der Meulen, 1994. *Hot Dry Rock Feasibility Study*. Energy Research and Development Corporation, unpublished report. 214 p.
- Tolga, A., Chandrasekharam, D., Baba, A. 2022. Salihli Granitoid, Menderes Massif, Western Anatolia: A Sustainable Clean Energy Source for Mitigating CO₂ Emissions. In: Gökçekuş, H., Kassem, Y. (eds) *Climate Change, Natural Resources and Sustainable Environmental Management*. NRSEM 2021. Environmental Earth Sciences. Springer, Cham.
- <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/> 26 Feb 2023.
- https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page (3 March 2023).