

Jeotermal Sondajlarda Maliyet Analizi

Cost Analysis in Geothermal Drilling

Keziban BİÇİM¹, Yasin ERDOĞAN², Onur Eser KÖK³

^{1,3} İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği
Bölümü, Hatay, Türkiye

²Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 06530, Ankara, Türkiye

Doi: 10.51764/smutgd.1041048

Geliş Tarihi : 24.12.2021

Kabul Tarihi : 11.01.2022

ÖZET

Enerji, geçmişten günümüze birçok alanda kullanılan temel ihtiyaç konumundadır. Dolayısıyla enerji talebi de giderek artış göstermektedir. Günümüzde bu enerji talebi ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan karşılanmasına rağmen nükleer santraller, jeotermal santraller, güneş ve rüzgar enerji üretim tesisleri gibi farklı yöntemlerle de karşılanabilmektedir. Ancak enerjinin elde edilmesi ve enerji talebinin karşılanmasında önemli bir faktörü de çevre kirliliği oluşturmaktadır. Dolayısıyla çevre kirliliğine en az seviyede zarar verip en yüksek düzeyde enerji elde edilen yöntemler ülkeler açısından tercih edilmektedir. Bu sebeplere bağlı olarak günümüzde en yaygın enerji üretim kaynağı olan fosil yakıtlara alternatif olarak jeotermal kaynakların kullanımı ve bu kaynaklardan elde edilen enerji ile taleplerin karşılanması giderek yaygınlaşmaktadır. Dolayısıyla hem sürdürülebilirlik hem de çevre korunumu açısından jeotermal enerji ön plana çıkmaktadır. Ancak, enerji talebinin optimum şartlar altında karşılanabilmesi için düşük maliyet ile yüksek verimde enerjinin elde edilmesi gerekmektedir. Jeotermal kaynakların tespit edilmesinden sonra yapılacak sondaj çalışmaları ise maliyetin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Dolayısıyla düşük maliyetli ve yüksek enerji eldesi olan sondajların giderek artması için faaliyetler artmaktadır. Bu çalışmada, jeotermal sondajların sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynağı olarak kullanımının yaygınlaşması neticesinde optimum maliyetin incelenmesi amaçlanmıştır. Kule seçimi, sondaj planı, casing planı, çimentolama planı, kuyu kontrol planı, matkap seçimi ve sondaj çamur planı olmak üzere en önemli maliyet parametreleri için detaylı inceleme yapılmış olup jeotermal sondaj maliyetine etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Jeotermal Sondaj, Maliyet

ABSTRACT

Energy is a basic need used in many fields from past to present. Therefore, the energy demand is increasing gradually. Today, although this energy demand is mainly met from fossil fuels, it can also be met by different methods such as nuclear power plants, geothermal power plants, solar and wind power generation facilities. However, an important factor in obtaining energy and meeting energy demand is environmental pollution. Therefore, methods that cause the least damage to the environment and obtain the highest level of energy are preferred by countries. Due to these reasons, the use of geothermal resources as an alternative to fossil fuels, which is the most common energy production source today, and meeting the demands with the energy obtained from these sources are becoming increasingly common. Therefore, geothermal energy comes to the fore in terms of both sustainability and environmental protection. However, in order to meet the energy demand under optimum conditions, low cost and high efficiency energy must be obtained. Drilling works to be carried out after the determination of geothermal resources constitute an important part of the cost. Therefore, activities are increasing in order to increase the drilling costs with low cost and high energy output. In this study, it is aimed to examine the optimum cost as a result of the widespread use of geothermal drilling as a sustainable and environmentally friendly energy source. Detailed examination was made for the most important cost parameters, namely tower selection, drilling plan, casing plan, cementing plan, well control plan, drill selection and drilling mud plan; The effects on geothermal drilling costs were evaluated.

Keywords: Solar Panel, Airports, Renewable Energy

Keziban BİÇİM, Orcid: 0000-0002-0942-0031, kezbanbicim5@gmail.com

Yasin ERDOĞAN, Orcid: 0000-0002-2314-5216, yasin.erdogan@mta.gov.tr

Onur Eser KÖK, Orcid: 0000-0002-7061-2921, oeser.kok@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

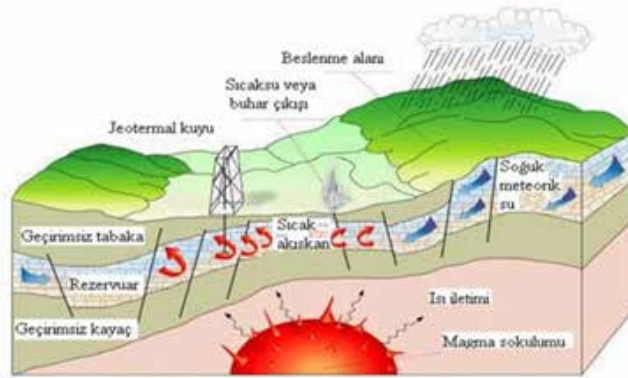
Enerji, insan hayatının ve ülkelerin ekonomik açıdan kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Devamlı bir şekilde artan nüfus, sanayileşme, şehirleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi ile enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Enerji tüketiminin her geçen gün artması tüm dünyada uluslararası bir sorun haline gelmektedir. Bu enerji kaynağı kendini yenileme durumu olmayan fosil kaynaklardan ve yenilenebilir olan enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi, çevreye ve atmosfere yaydığı kirliliklerden dolayı insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik etmektedir. Bilim insanları yenilenebilir enerji kaynakları hakkındaki çalışmalarında işletilen enerjinin ekonomik olması, gelecekte de enerji ihtiyacının karşılanabilmesi ve başka ülkelere bağımlı olmadan kullanmak için birçok alanda çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjinin kullanıma sunulmasıdır (Kozak, 2016; Özdemir ve ark., 2021a).

Ülkemizde jeotermal enerji kaynaklarının arama çalışmaları 1960'lı yıllarda başlanılmıştır. Dünyada yenilenemez enerji kaynakları olan petrol, doğalgaz ve kömür gibi kaynaklarının hızla azalması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan önemi artırmıştır. Türkiye'nin Alp-Himalaya kuşağı üzerinde bulunması genç bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda jeolojik ve coğrafi konumu bakımından aktif bir tektonik kuşakta yer alması jeotermal kaynak bakımından zengin olduğunu ve dünya ülkeleri sıralamasında yerini aldığını göstermektedir. Bu yüzden Türkiye jeotermal enerji kaynakları bakımından potansiyeli yüksek bir ülke konumundadır. Bu enerji potansiyeli teorik açıdan 31.500MW olarak tahmin edilmektedir. Bölgesel olarak incelendiğinde en fazla Batı Anadolu'da jeotermal enerji kaynaklarına rastlanılmaktadır. Daha sonrasında İç Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ve diğer bölgelerde de bulunmaktadır. Jeotermal kaynakların %90'ı doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm ve endüstriyel uygulamalar) %10 ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için kullanılmaktadır. Bu enerji türünün birçok alanlarda kullanımının olması, çevreyi daha az kirlenmesi ve en önemlisi iklim koşullarından etkilenmemesi nedeniyle devamlı kendini yenileyen bir enerji kaynağı olması ülkemiz için bir avantajdır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanabilmek için gerekli çalışmalar yapılmaktadır (Yılancı, 2004).

Yapılan bu çalışmada, yenilenebilir ve çevre dostu kaynak olan jeotermal enerjinin sondaj aşamalarındaki maliyet faktörleri detaylı olarak incelenmiştir. Kule seçimi, sondaj planı, casing planı, çimentolama planı, kuyu kontrol planı, matkap seçimi ve sondaj çamur planı olmak üzere en önemli maliyet parametreleri için detaylı inceleme yapılmış olup jeotermal sondaj maliyetine etkileri değerlendirilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE JEOTERMAL SONDAJLAR

Jeotermal sondaj, yeraltında bulunan enerji kaynaklarından faydalanmak için yapılan bir sondaj işlemidir. Yeraltında bulunan bu kaynaklar ise ısı kaynağı, ısıyı yeryüzüne taşıyan akışkan kaynağı ve akışkan sirkülasyonunu sağlayan kayaçlar olmak üzere başlıca üç etmenden oluşmaktadır. Bu bağlamda genelleştirilmiş bir jeotermal enerji oluşum mekanizması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Jeotermal Enerji Oluşum Mekanizması (tesisat.org, 2021)

Türkiye jeotermal enerji kaynakları bakımından potansiyeli yüksek bir ülke konumundadır (Şekil 2). Bu enerji potansiyeli teorik açıdan 31.500 MW olarak tahmin edilmektedir. Bölgesel olarak incelendiğinde en fazla Ege Bölgesinde jeotermal enerji kaynaklarına rastlanılmaktadır. Daha sonrasında İç Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ve diğer bölgelerde de bulunmaktadır.

Jeotermal kaynakların %90'ı doğrudan uygulamalarda (ısıtma, termal turizm ve endüstriyel uygulamalar) ve %10'unu dolaylı uygulamalarda (elektrik enerjisi üretimi) kullanılmaktadır (Kozak, 2020).



Şekil 2. Türkiye Jeotermal Potansiyeli Haritası (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021)

Son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de jeotermal enerji ile ilgili hem bilimsel faaliyetler hem de sanayide kullanım alanı artış göstermektedir. Dolayısıyla da jeotermal kaynakların tespit edilmesi ve bu kaynakların verimli bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla yapılan sondaj faaliyetlerinde de bir artış meydana gelmektedir. Ülkemizde yapılan jeotermal sondaj faaliyetlerinin önemli bir kısmı ise Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından gerçekleştirilmektedir. Ayrıca özel firmalar tarafından da jeotermal sondaj faaliyetleri ve enerji satışı gerçekleştirilmektedir (Serpen, 2001).

3. JEOTERMAL SONDAJLARDA MALİYET

Jeotermal sondajlarda birçok parametre bulunmasına rağmen maliyetin önemli kısımları aşağıda verilen etmenlerden oluşmaktadır.

- Kule seçimi
- Sondaj planı
- Casing planı
- Çimentolama planı
- Kuyu kontrol planı
- Matkap seçimi
- Sondaj çamuru planı

3.1. Kule Seçimi

Sondajlar derinlik, aranılan kaynak türü, kuyu çapı, yapıldığı alan ve yöntemine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflama ve sondaj kuyusunun planlanmasına bağlı olarak optimal kule seçiminin yapılması gerekmektedir. Sondaj dizi bilgilerine göre kulenin taşıyabileceği maksimum kanca yük miktarı, döner masa genişliği ve yüksekliği, güç aktarım üniteleri, sirkülasyon ve temizleme üniteleri ile soğutma üniteleri kule seçimini doğrudan etkilemektedir. Kule seçiminde dikkat edilmesi gereken bu faktörler, jeotermal sondajlarda kule maliyetleri ile doğrudan ilişkilendirilebilmektedir. Kule seçimi esnasında yapılan planlama hatası eski kulenin demontajı ve yeni kulenin montajı ile giderilebilmektedir. Bu durum ise genel bir jeotermal sondaj için planlanan maliyeti %30-50 aralığında etkilemektedir.

3.2. Sondaj Planı

Jeotermal sondajlarda maliyet faktörlerinin en önemlilerinden birisi sondaj planıdır. Hedef derinliğe ve formasyona bağlı olarak oldukça farklı sondaj planları hazırlanabilmektedir. Bu doğrultuda tij, koruma boruları, bağlantı ekipmanları, kuyubaşı ekipmanları, lokasyon planı (ulaşım yolu, atık havuzu, yaşam alanları, araçlar vb), jeneratör gibi gerekli olan başlıca ihtiyaçların temin edilmesi ile personel ve danışmanlık giderleri maliyeti doğrudan etkilemektedir. Ayrıca sondaj işlemi esnasında yapılan kuyu testleri, olası durumlarda ihtiyaç duyulabilecek tahlisiye ekipmanları ve jeolojik değerlendirmeler de sondaj plan maliyetini etkilemektedir. Sondaj planlaması, genel bir jeotermal sondaj maliyetini %30-55 aralığında etkilemektedir.

3.3. Casing Planı

Sondaj operasyonlarında hem sondajın ilerleyişi hem de kuyu güvenliği açısından casing planı oldukça önemlidir. Üretim yapılacak sıcak rezerve, yüzeye yakın yerlerden soğuk yeraltı akışkanlarının karışmasını ve üretim faaliyetlerini etkileyen casingler için bir planlama yapılmaktadır. Bu planlama dahilinde farklı çap ve kalınlıkta koruma boruları ile jeotermal kaynağa ulaşıldığında ise üretim borularına ihtiyaç olmaktadır. Casing planına göre uygun muhafaza boruları seçilirken sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci ön plana çıkmaktadır. Yeraltında meydana gelen sıcaklık artış durumunda deforme olmayan ve korozyona sebep olabilecek etmenler karşısında yüksek dirence sahip koruma borularının seçilmesi, jeotermal sondajlarda casing maliyetini %10-20 oranında etkilemektedir.

3.4. Çimentolama Planı

Casing planı ile yüksek oranda ilişkilendirilen çimentolama planı, jeotermal sondaj maliyetlerinin önemli faktörleri arasında yer almaktadır. Kuyunun formasyondan izolasyonu esnasında gerçekleştirilen çimentolama işlemi, kuyu içerisinde meydana gelebilecek sıcaklık değişimlerini ve casinglerin mukavemet özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Başarılı bir çimentolama işleminin yapılabilmesi için ise sıcaklık, bekleme ve iletme süresi, çimento türü ve katkı malzemelerini içeren bir planlama gerekmektedir. Çimentolama esnasında ise gerekli ekipmanlar, taşıma ve depolama hatları, çimento ve katkı malzemelerinin maliyetleri de bu plana dahil edilmektedir. Çimentolama, jeotermal sondajlarda nispeten daha az maliyetli olmasına rağmen sondaj işleminin başarılı bir şekilde tamamlanması ve kuyu güvenliğinin sağlanması açısından oldukça önemli yere sahip olmakta ve sondaj maliyetini %5-15 oranında etkilemektedir.

3.5. Kuyu Kontrol Planı

Sondaj operasyonlarında hem iş sağlığı ve güvenliği hem de sondaj planının takibi açısından kuyu kontrolünün yapılması oldukça önemlidir. Jeotermal sondajlarda ise yüksek sıcaklık ve basınçtaki yeraltı akışkanlarının takibinin mutlaka yapılması gerekmektedir. Casing ve çimentolama planlarında meydana gelebilecek hataların kuyu kontrol planı ile tespit edilmesi ve mevcut aksaklıkların giderilmesi, sondaj işleminin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, kuyu içerisine ani akışkan girişleri esnasında da kuyu koruma ekipmanları ile kontrolün sağlanması sayesinde de can ve mal kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Bu sebeplerden ötürü kuyubaşı ekipmanları (RAM, BOP vb) ve sondaj esnasında yapılması gereken kuyu kontrol testleri (DST, Leak-Off testi, halat gerilmeleri, choke vana kontrolleri, BOP testi vb) ve bu testler için gereken ekipman maliyetleri, kuyu kontrolünün sağlanabilmesinde önemli yere sahiptir ve sondaj maliyetini %5-15 oranında etkilemektedir.

3.6. Matkap Seçimi

Sondaj operasyonlarının önemli parametrelerinden birisi de matkap seçimi ve kullanımıdır. Farklı formasyon türlerine göre çeşitli matkaplar kullanılmasına rağmen jeotermal sondaj operasyonlarında genellikle PDC ve Roller-Cone tipi matkaplar seçilmektedir (Erdoğan ve ark., 2018; Özdemir ve ark., 2021b). Kuyu planı ve litolojiye bağlı olarak en hızlı ve güvenli ilerlemeyi sağlayacak matkap seçimi sondaj süresi açısından oldukça önemlidir. Farklı çapa sahip ve kullanım süresi değişen matkaplar, sondajın ilerleyişini doğrudan etkilemekle birlikte sondaj süresini ve sondaj için gerekli olan enerji (elektrik, yakıt vb) ihtiyacını da etkilemektedir. Dolayısıyla sondaj maliyeti üzerinde önemli etkisi (%10-25 aralığında) bulunmaktadır. Jeotermal sondajlarda maliyet açısından formasyonun yapısına uygun en hızlı ilerlemeyi en kısa sürede ve en az enerji gereksinimi ile sağlayacak matkapların seçilmesi gerekmektedir (Serpen, 1990).

3.7. Sondaj Çamuru Planı

Sondaj çamuru, sondaj operasyonlarının en önemli parametreleri arasında yer almaktadır. Farklı türleri bulunmasına rağmen jeotermal sondajlar için ağırlıklı olarak su bazlı sondaj çamurları tercih edilmektedir. Formasyon akışkanını önleme, sondaj kesintilerinin yüzeye taşıma, sirkülasyon olmadığı zamanlarda kesintileri askıda tutma, formasyon cidarında kek oluşturma, kuyu stabilizasyonunu sağlama, sondaj dizisinde sürtünmeyi azaltma, yağlama ve matkabi soğutma sondaj çamurunun görevleri olarak sıralanabilmektedir. Bu önemli görevleri doğrultusunda sondaj çamuru ve planlanması jeotermal sondajlarda oldukça önemli olmaktadır (Vapur ve ark., 2021; Güllü ve ark., 2021).

Genel olarak sondajlarda derinlik artışına bağlı olarak hem yerküre kaynaklı hem de rezervuarda yer alan akışkan kaynaklı sıcaklık artışları meydana gelmektedir. Jeotermal sondajlarda bu sıcaklık artışı diğer sondajlara (petrol, doğalgaz, kömür vb) kıyasla daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla kuyu tabanı ile yeryüzü arasında doğrudan etkileşim sağlayan sondaj çamurunda da bu sıcaklık artışına bağlı olarak düzensizlikler meydana gelmektedir. Bu düzensizliklerin tespit edilebilmesi ve kuyu şartlarına bağlı bir sondaj çamur sisteminin uygulanabilmesi amacıyla da sondaj çamur planının detaylı olarak hazırlanması gerekmektedir (Erdoğan ve ark., 2017a).

Sondaj çamurunun kuyu içerisinde sirkülasyonu pompalar sayesinde gerçekleşmektedir. Bu pompaların ise viskozitesi yüksek çamurların sirkülasyonunu sağlayabilmek için fazla enerji gereksinimi bulunmaktadır. Bu sebeple, sondaj esnasında az enerji gereksinimi bulunan optimal sirkülasyon şartlarının sağlanması gerekmektedir (Erdoğan ve ark., 2017b).

Sondaj çamurunda formasyon ve sıcaklık şartlarına bağlı olarak farklı özellik ve görevlere sahip katkı malzemeleri ilave edilmektedir. Bu katkı malzemeleri, sondaj çamurunun reolojik özelliklerini düzenlemekte ve formasyon ile kuyu şartlarına göre en uygun akış özelliklerini sağlamaktadır. Jeotermal sondajlarda diğer sondaj türlerine kıyasla sıcaklık faktörü daha ön planda olduğu için sondaj çamurunun akış özellikleri de daha fazla deformasyona uğramaktadır. Dolayısıyla akış özelliklerinin yeniden kontrol edilebilmesi için katkı malzemesi kullanımı daha fazla olmaktadır. Bu durum da jeotermal sondajlarda çamur maliyetinin daha fazla olmasını sağlamaktadır. Genel bir jeotermal sondajda planlanan maliyette %10-25 oranında etkisi bulunmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada enerji kullanımının giderek artması ve çevre kirliliğini azaltıcı önlemler alınması sonucunda enerji ihtiyacının fosil yakıtlara alternatif yöntemler ile sağlanmasına yol açmaktadır. Bu alternatif yöntemlerin çevre dostu ve sürdürülebilir olmaları ise tercih edilmelerinde öncelik sağlamaktadır. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, biyoyakıt teknolojileri gibi çeşitli enerji üretim yöntemleri bulunmasına rağmen jeotermal enerji ön plana çıkmaktadır. Enerji üretimi yapılan tüm alanlarda olduğu gibi jeotermal enerji üretiminde de verimlilik oldukça önemlidir. Düşük maliyet ile yüksek enerji eldesi sağlamak için birçok optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji üretim yöntemi olan jeotermal enerjinin sondaj aşamalarındaki maliyet faktörleri detaylı olarak incelenmiştir. Kule seçimi, sondaj planı, casing planı, çimentolama planı, kuyu kontrol planı, matkap seçimi ve sondaj çamur planı olmak üzere en önemli maliyet parametreleri için detaylı inceleme yapılmış olup jeotermal sondaj maliyetine etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışma neticesinde gerek planlama gerekse uygulama aşamalarında sorumlu saha mühendisleri ve uzmanlarının faydalanabileceği ve fizibilite çalışmalarında kullanabileceği değerlendirmeler ortaya çıkmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda jeotermal sondajların maliyetlerinde azalma meydana gelmesi öngörülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Erdoğan, Y., Kök, O. E. (2017a). Çanköy Formasyonundaki Jeotermal Sondaj Çamurunun Reolojik ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. 25. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, ANTALYA.
- Erdoğan, Y., Kök, O. E., & Tanrıverdi, İ. (2017b). Çanakkale Tuzla Jeotermal Sondaj Sahası Çamur Maliyetinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4), 11–20.
- Erdoğan, Y., Yıldız M.İ. & Kök, O.E. (2018). Correlating Rate of Penetration with the Weight on Bit, Rotation per Minute, Flow Rate and Mud Weight of Rotary Drilling. Natural and Engineering Sciences, 3(3), 378-385.
- Güllü, A., Özdemir, A., Palabıyık, Y. & Yaşar, E. (2021). Türkiye Kara Alanlarındaki Petrol ve Doğalgaz Kuyularında Kullanılan Sondaj Akışkanı Katkı Maddeleri ve Miktarları. European Journal of Science and Technology, 27, 398–406.
- Kozak, M. (2016). Konut Isıtıcılığın da Jeotermal Yenilenebilir Enerji Kaynağının Kullanılmasının Araştırılması. Yekarum, 3(2).
- Kozak, M. (2020). Denizli İli Jeotermal Enerji Kaynakları ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. Yekarum, 5(1), 1-11.

- Özdemir, A., Güllü, A., Yaşar, E. & Palabıyık, Y. (2021a). Drilling Engineering Assesment and Cost Analysis of Oil and Gas Wells Drilled in Onshore of Turkey. International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications, 3(3), 235-243.
- Özdemir, A., Yaşar, E., Palabıyık, Y. & Güllü, A. (2021b). Relationship Between Rates of Penetration and Costs per Meter of Tricone Rock Bits Cases from Southeastern Anatolia and Thrace Basins Turkey . Journal of Earth Science Knoedledge and Applications, 4(1), 79–99.
- Serpen, U. (1990). Jeotermal Sondaj Özellikleri. Ankomak Sondaj Sempozyumu, Ankara.
- Serpen, U. (2001). Control of Blow Out Geothermal Well in Bursa Çekirge. Proceedings of 13th International Petroleum Congress and Exhibition of Turkey.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Erişim Tarihi: 13.12.2021 (URL: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal>)
- Tesisat.org "jeotermal enerji nedir", Erişim Tarihi: 27.12.2021 (<https://www.tesisat.org/jeotermal-enerji-nedir.html>)
- Vapur, H., Kök, O.E., Erdoğan, Y. (2021). Bor İçerikli Atık Killerin Sondaj Çamurlarında Kullanımı. Bor Dergisi, 6(4), 360-369.
- Yılancı, A., (2004). Jeotermal Enerjili Sistemlerin Fizibilite Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.