



MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



Merzifon-Suluova çek-ayır havzası jeotermal özelliklerinin araştırılması ve havzanın kavramsal modeli

Fatih Mehmet ÖZİÇLİ^{a*} ve Hüseyin KARAKUŞ^b

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, 06800, Ankara, Türkiye

^bKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Merzifon-Suluova, Çek-Ayr Havza, Hidrojeokimya, Çevresel İzotoplar, Jeotermal.

ÖZ

Merzifon-Suluova çek-ayır havzası, Alp-Himalaya kuşağında bulunan, Türkiye'nin Neotektonik dönemden günümüze kadar ki süreçte KAFZ'na bağlı gelişmiş çökel bir havzadır. Havzanın çevresindeki jeotermal sahalar ve KAFZ'nun transform bir fay olması, jeotermal potansiyelinin araştırılması için önemlidir. Havzanın jeotermal potansiyeli jeoloji, jeofizik, hidrojeokimya ve sondaj verileri ile ortaya konulmuştur. Havza, Merzifon, Sarıbuğday, Büyükçay, Eraslan ve Suluova Fayları ile sınırlandırılmıştır. Uzunyazı ve Çetmi fayları da havzayı şekillendirmektedir. Rezistivite, SP ile gravite-manyetik anomalileri çökel kalınlığı, düşük rezistiviteli bölgeler, granodiyorit sokulumunun sınırları ve tektonik hatlar birlikte değerlendirilerek ASK-2016/11, AMÇ-2016/3 ve AMO-2015/8 jeotermal sondajları yapılmıştır. Sırayla 95.5 °C, 87.65 °C, 94.05 °C taban sıcaklıkları elde edilerek ortalama jeotermal gradyan 0,036 °C/m olarak hesaplanmıştır. Toplam kapasitesi ise 3,37 MWt'dır. Na/K, Na-K-Ca, K-Mg jeotermometreleri ile muhtemel rezervuar sıcaklıkları 100-170 °C arasında hesaplanmıştır. KAFZ'na bağlı gelişen çek-ayır havzalarda, elektrik enerjisi üretilebilecek derin jeotermal sondajların yapılması ve ülke ekonomisine kazandırılarak potansiyelin ortaya koyulması gerekmektedir.

Gönderim Tarihi: 13.01.2022

Kabul Tarihi: 22.06.2022

Keywords:

Merzifon-Suluova, Pull-Apart Basin, Hydrogeochemistry, Environmental Isotopes, Geothermal.

ABSTRACT

Merzifon-Suluova pull-apart basin, located in the Alpine-Himalayan belt, is a sedimentary basin developed in the Neotectonic period of Türkiye being connected to the NAFZ. The geothermal fields around the basin and the NAFZ being a transform fault are important for the investigation of its geothermal potential. The geothermal potential of the basin has been revealed by geology, geophysics, hydrogeochemistry and drilling data. The basin is bounded by the Merzifon, Sarıbuğday, Büyükçay, Eraslan and Suluova faults. The Uzunyazı and Çetmi faults also shape the basin. ASK-2016/11, AMÇ-2016/3 and AMO-2015/8 geothermal drillings were carried out by evaluating resistivity, SP and gravity-magnetic anomalies, sediment thickness, low resistivity regions, contact of granodiorite intrusion and tectonic lines. The average geothermal gradient was calculated as 0.036 °C/m by obtaining the base temperatures of 95.5 °C, 87.65 °C and 94.05 °C, respectively. Its total capacity is 3.37 MWt. Possible reservoir temperatures were calculated between 100-170 °C with Na/K, Na-K-Ca, K-Mg geothermometers. In the pull-apart basins developed due to NAFZ, deep geothermal drillings that can generate electrical energy should be made and their potential should be revealed by bringing them to the country's economy.

Received Date: 13.01.2022

Accepted Date: 22.06.2022

*Başvurulacak yazar: Fatih Mehmet ÖZİÇLİ, fmozicli@hotmail.com

1. Giriş

Alp-Himalaya kuşağında yer alan Türkiye, aktif tektonizma, genç volkanik etkinlik ve magmatik süreçlerinin bir sonucu olarak, jeotermal enerji kaynakları açısından zengin bir konuma sahiptir. Batı Anadolu'da bulunan gerilmeli bir tektonik rejimine bağlı oluşan yüksek sıcaklığa sahip horst-graben sistemlerinde, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'daki tektonik ve volkanik faaliyete bağlı gelişen jeotermal alanlar ile Orta Anadolu'daki magmatizma ve volkanizmaya bağlı gelişen jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Ülkemizde tespit edilmiş yaklaşık 1.000 adet civarında doğal jeotermal kaynak bulunmakta (MTA, 2021), bu kaynaklardan elektrik üretiminden seracılığa, şehir ısıtımından termal turizme kadar geniş alanlarda yararlanılmaktadır. Türkiye jeotermal potansiyeli açısından günümüzde Avrupa'nın birinci ve kurulu jeotermal güç açısından ise dünyanın dördüncü ülkesi konumundadır (ETKB, 2021).

Ülkemizde, neotektonik dönemde hareketine başlayıp kuzeyinden yaklaşık 1.100 km karada ve yaklaşık 500 km denizde olmak üzere toplam 1.600 km. uzunluğunda sağ yanal doğrultu atımlı transform karakterde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) geçmektedir. Bu fay zonuna bağlı gelişen çek-ayır havzalarda tektonik deformasyon ve kalın çökel dolgusu, jeotermal sistemlerin bu havzalarda gelişimi için elverişli koşullar sağlamıştır. Çalışma konusu olan Merzifon-Suluova çek-ayır havzası da KAFZ içinde jeotermal potansiyel sunan önemli havzalardan birisidir. Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının kuzeyinde 53 °C sıcaklığa sahip Havza, batısında 42 °C Hamamözü, güneyinde 37,8 °C Amasya-Gözlek ile 40,1 °C Amasya-Terziköy ve kuzeydoğusunda 38 °C Ladik jeotermal sahaları bulunmaktadır (Akkuş vd., 2005). Havzada örtü kayaç niteliğinde kalın çökel varlığı ve havzanın gelişimini sağlayan aktif kenar fayları ile havza ortasından geçen Uzunyazı aktif fayının varlığı bu alanda rezervuar ve örtü kayaç oluşumu bakımından elverişli koşullar sağlar. Ayrıca havzanın kuzeybatısında Eosen birimlerini kesen Tavşandağı Granodiyorit'i'nin havzanın hem radyojenik olarak ısınmasını hem de kristallenme süresince yan kayaçlara ısı ileten kütle olarak öne

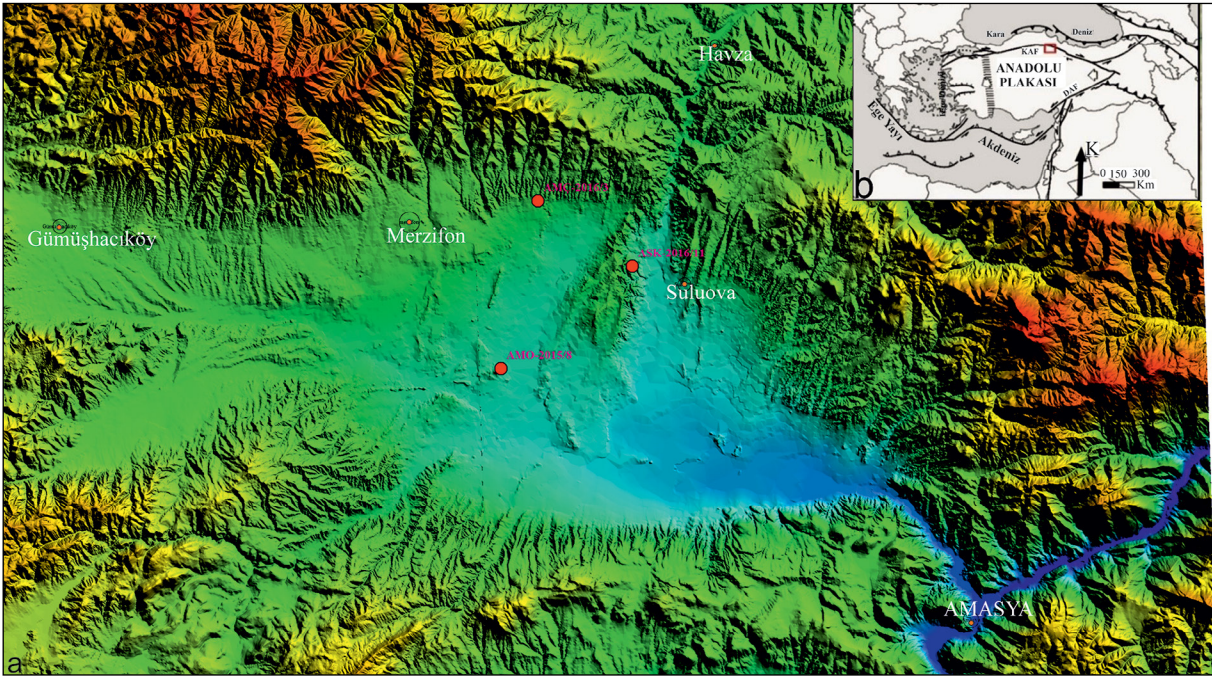
çıkılmaktadır. KAFZ'nun transform bir fay olması ile manto kökenli ısının konveksiyon akımlarıyla yüzeye gelmesi de ısınmanın bir başka faktörüdür. Mevcut bu jeolojik yapı ile birlikte Merzifon-Suluova çek-ayır havzası jeotermal potansiyelinin ortaya konması açısından araştırılmaya değer bulunmuştur. Bu bağlamda jeolojik, hidrojeokimyasal, jeofizik çalışmalar gerçekleştirilerek anomali alanlarında üç adet (AMO-2015/8, AMÇ-2016/3 ve ASK-2017/11) 2200 m derinlikte jeotermal araştırma kuyuları açılmıştır (Şekil 1).

Yapılan sondajlarda litoloji takibi, sondaj çamuruna ait bazı parametreler; viskozite, giriş-çıkış sıcaklıkları, çamur ağırlığı, kaçak seviyeleri, jeofizik ölçümler, kuyu teçhizi, kuyu üretimi (kompresörlü, artezyenik ve asitleme) ve kuyu testleri yapılmıştır (Öziçli vd., 2019). Hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında ise su kaynakları ve jeotermal kuyulardaki akışkanlardan örnekler alınarak majör iyon ve çevresel izotop (²H, ¹⁸O ve ³H) analizleri yaptırılmıştır. Kuyu tabanı karotlarından mineralojik ve petrografik analizleri yapılarak kesilen jeolojik birimlerin, havzada mostra veren formasyonlarla korelasyonu yapılmış ve jeotermal sistemin rezervuar ve örtü kayaçları ayırt edilmiştir. Kuyu testleri ile akışkan üretim seviyeleri belirlenmiştir. Hidrojeokimyasal ve izotopik veriler incelenerek su-kayaç etkileşim süreçleri, rezervuar koşullarının sıcaklıklarının tahmini, beslenme alanı yüksekliği ve jeoloji, sondaj ile jeofizik verilerinin değerlendirilmesiyle sahanın kavramsal hidrotermal modeli ortaya konulmuştur.

2. Bölgesel Jeoloji ve Tektonik

Çalışma alanı KAF'ın güneyinde, İzmir-Ankara-Erzincan ile Sakarya zonlarına ait kayaçlar tektonik ilişkiyle bir araya gelir ve bu tektonik ilişkiler örtü kayaçları ile örtülmektedir (Şekil 2).

Sahada, yüzlek vermemesine rağmen yapısal olarak altta yerleşim yaşı Geç Kretase olan ofiyolit yer almaktadır. Ofiyolitler üstte çörtlü kireçtaşı, radyolarit, spilitik bazalt ve çamurtaşı, alt kesimlerinde ise peridotit, gabro, serpantin ve kesen diyabaz dayklarından oluşur. Sakarya Kıtası'na ait Paleozoyik yaşlı kalkışist, şist, metavolkanit, fillat ve mermerlerden oluşan en yaşlı Tokat Metamorfileri bulunmaktadır.

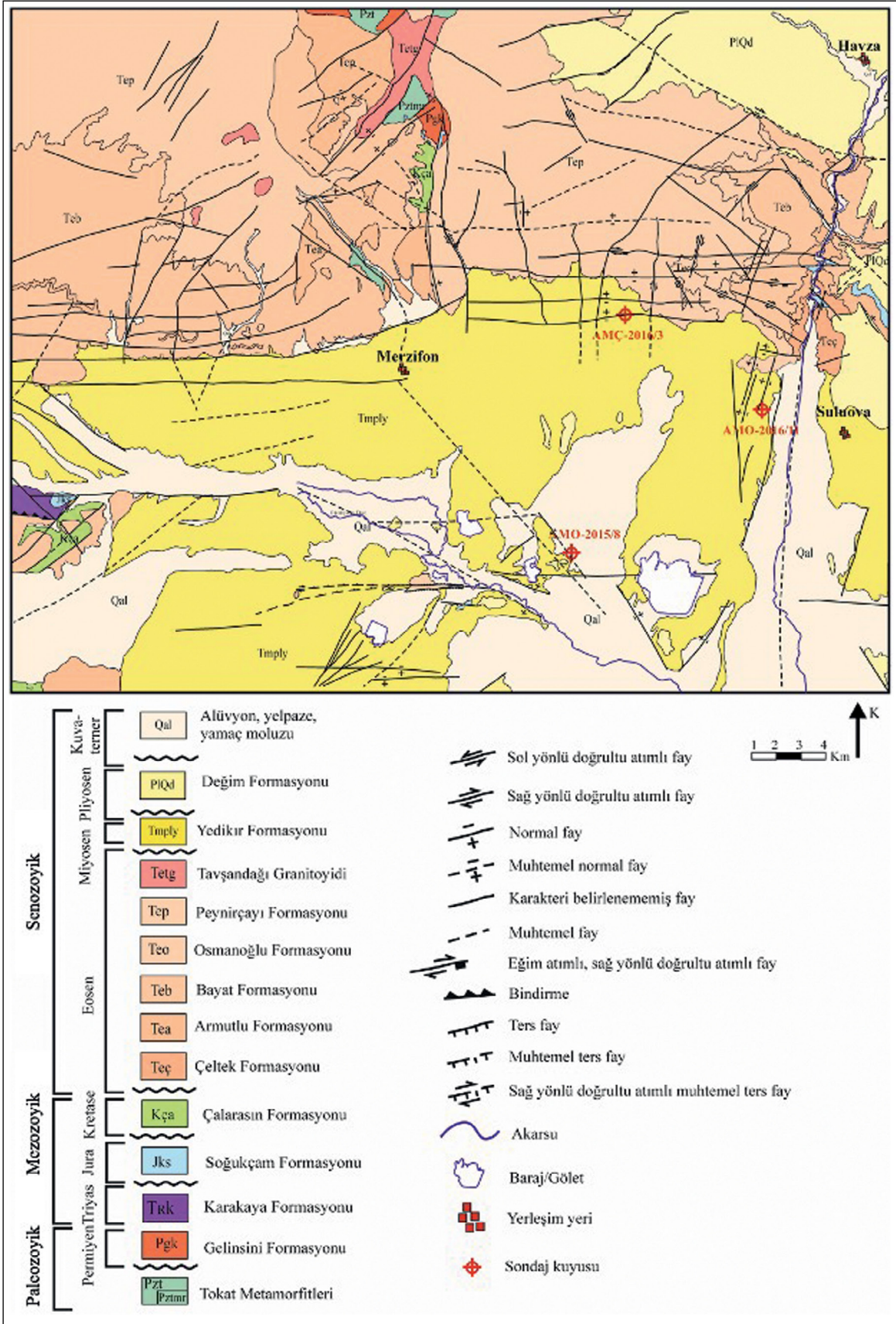


Şekil 1- Merzifon-Suluova çek-ayır havzası rölyef haritası ve jeotermal sondajların konumları (Türkiye'nin neotektonik hatları Bozkurt, 2001'den değiştirilerek alınmıştır).

Tokat Metamorfittleri jeokimyasal olarak plaka içi özelliği gösteren bazik volkanitleri içermektedir (Çapan ve Floyd, 1985). Tokat Metamorfittleri, ofiyolitlerin üzerine tektonik dokanakla yerleşir. Metamorfittlerin üzeri erken-geç Permiyen yaşlı kumtaşı, çakıltaşı, ve kiltaşından oluşan Gelinsini Formasyonu ve resifal kireçtaşları ile kristalize kireçtaşından oluşan Karlık Üyesi uyumsuz olarak gelmektedir. Bunların üzerine Geç Triyas yaşlı uyumsuz olarak arkozik kumtaşı, çamurtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve volkanitlerden oluşan Karakaya Formasyonu (Bingöl vd., 1973) gelmektedir. Bu birimlerin üzerine çörtlü kireçtaşı, mikritik kireçtaşı, marn, killi kireçtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşan uyumsuz olarak Kalloviyen-Apsiyen yaşlı (Altuner vd., 1991) Soğukçam Formasyonu gelmektedir. Bunların yanı sıra Kretase boyunca güneydeki okyanus tüketilmiş, melanjlar ve yığışım prizması oluşmuştur (Hakyemez vd., 1986). Bunların üzerini çakıltaşı, silttaşı, kumtaşı, çamurtaşı, volkanit, mikritik kireçtaşı ve kireçtaşı olistolitlerinden oluşan geç Santoniyen-Maastrichtiyen yaşındaki Çalarasin Formasyonu açısız uyumsuz olarak gelir. Sahada, Senozoyik öncesindeki birimlerin üzerlerini uyumsuz olarak kırıntılı-karbonatlı erken

Eosen-Lütesyen yaşlı kayaç serisi örter. Bunlar sırası ile kumtaşı ara katmanlı marn, silttaşı, çakıltaşı ve alt kısımları kömürlü Çelttek Formasyonu (Blumenthal, 1937), kumtaşı, konglomera, silttaşı, marn, kireçtaşı ile alt seviyelerinde bitümlü şeyl içeren Armutlu Formasyonu, alt seviyelerinin volkanik malzemeden türemiş kumtaşı, çamurtaşı, konglomera ile üst seviyeleri trakit, andezit, trakiandezit, bazaltik andezit, ojit andezit ve biyotit-andezitlerden oluşan Bayat Formasyonu, üst seviyeleri fosilli kireçtaşı ile çamurtaşı, kumtaşından oluşan Osmanoğlu Formasyonu, bunların üzerine andezit, bazalt, trakit, ojit andezit, hornblend, trakiandezit biyotit andezit ile dasitten oluşan Lütesiyen sonrası, Peynirçayı Volkanitleri gelmektedir.

Porfirik doku yapısındaki Tavşandağı Granodiyoriti Lütesiyen sonrasında bütün birimleri keserek yüzeyler. Bu birimlerin üzerini uyumsuz olarak Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı kumtaşı, çakıltaşı, silttaşı, kiltası, marn, çamurtaşı ve ara seviyeleri jipsli Yedikır Formasyonu örter (Gümüştü,1980). Bunları, gevşek tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan Geç Pliyosen-Pleyistosen yaşlı (Karadenizli vd., 2004) Birgili vd. (1975) tarafından adlandırılan Değim Formasyonu uyumsuz olarak örter. Bütün bu



Şekil 2- Çalışma alanının jeoloji haritası.

birimlerin üzerine Kuvaterner yaşlı, tutturulmamış, çakıl ve bloklardan oluşan, tane destekli, yamaç molozu; kötü boylanmalı kum ve çakıldan oluşan yelpaze çökelleri ve çakıl, silt, kum ile çamurdan oluşan alüvyon malzemesi gelmektedir (Genç vd., 1991, Sevin vd., 2013a, b).

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun sağ yanal doğrultu atımlı olması ile bu alanlarda sıkışma-genişlemeli yapısal unsurların gelişmesiyle Merzifon-Suluova çek-ayır havzası oluşmuştur (Dirik, 1994). Merzifon-Suluova havzasının neotektonik dönemdeki gelişimi iki önemli aşamadan oluşmaktadır. Geç Miyosen-Erken Pliyosen'den başlayıp erken-Orta Pleyistosen'e kadar süren açılmalı rejim kontrolündeki depolanmalı havza alanları gelişmiştir. Erken neotektonik dönemde gelişen havzalar ve faylar erken-Orta Pleyistosen döneminden sonra gençleşerek sağ yanal doğrultu atımlı faylara dönüşmüştür. Geç neotektonik ve halen süre gelen dönem içerisinde Merzifon-Suluova çek-ayır havzası oluşmaktadır (Erturaç, 2009). Çalışma alanı, doğrultu atımlı ve normal bileşenli tektonik rejimin içerisinde yer alarak (Koçyiğit ve Özacar, 2003), çek-ayır havzasının kuzey kanadını sağ yanal eğim atımlı bulunan Merzifon Fay Zonu, güney kanadını ise Sarıbuğday, Eraslan ve Büyükçay sağ yanal eğim atımlı fayları, doğusunda ise normal fay karakterinde olan Suluova Fay Zonu ile havzanın ortasından geçen sağ yanal eğim atımı bulunan Uzunyazı Fayı ve sağ yanal eğim atımlı Çetmi Fayı oluşturmaktadır. Bu aktif faylar havzayı derinleştirerek havzayı sağa doğru ötelemektedir.

Havzada, D-B, KD-GB, KB-GD, DKD-BGB, KKD-GGB, BKB-DGD ve KKB-GGD olarak yedi ana fay grubuna ayrılmıştır. Fayların bazılarının neotektonik dönem öncesinde oluştuğu ancak tektonik rejimin değişmesi sonucu bir kısmının ise karakter değiştirerek yeniden çalışmaya devam ettiği düşünülmektedir. Buna göre doğu-batı fayları, baskın olarak sağ yanal ve az eğim atım bileşenli, dike yakın faylardan, kuzeybatı-güneydoğu fayları genel olarak sağ yanal ve eğim atım bileşenli, dike yakın faylardan, kuzeybatı-güneydoğu fayları sağ yanal ve eğim atım bileşenli, genellikle dike yakın faylardan, doğu/kuzeydoğu-batı/güneybatı fayları, genellikle sağ yanal ve az eğim atım bileşenli, genelde 80°'den dik faylardan, kuzey/kuzeydoğu-güney/güneydoğu fayları, genelde sol yanal ve az eğim atım bileşenli

dike yakın faylardan, batı/kuzeybatı-doğu/güneydoğu fayları sağ yanal ve az eğim atım bileşenli, dike yakın faylardan ve kuzeybatı-güney/güneydoğu fayları ise sağ yanal ve az eğim atım bileşenli, dike yakın faylardan oluşmaktadır.

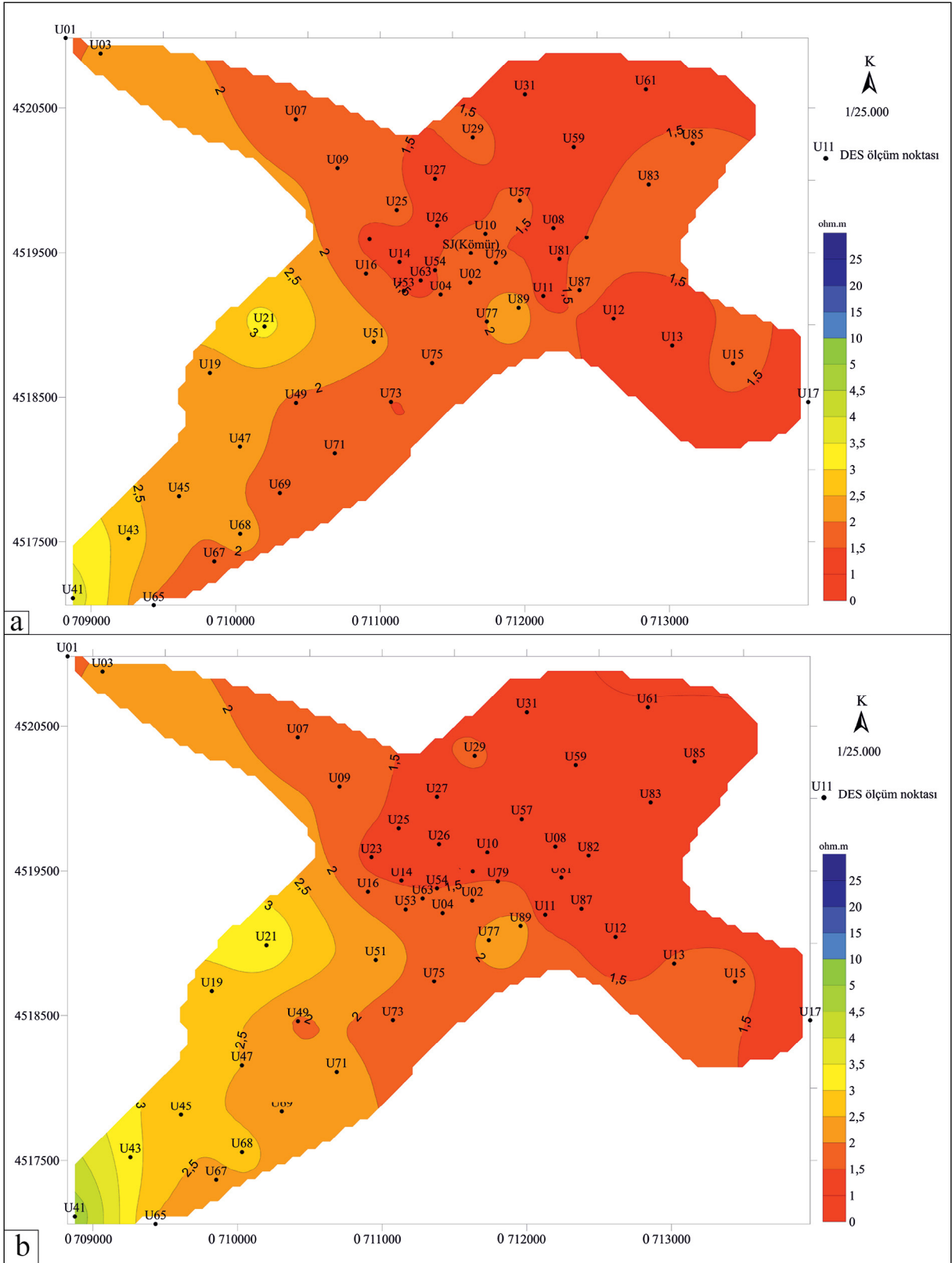
3. Jeofizik, Hidrojeokimya, İzotop, Sondaj Çalışmaları

3.1. Jeofizik Çalışmaları

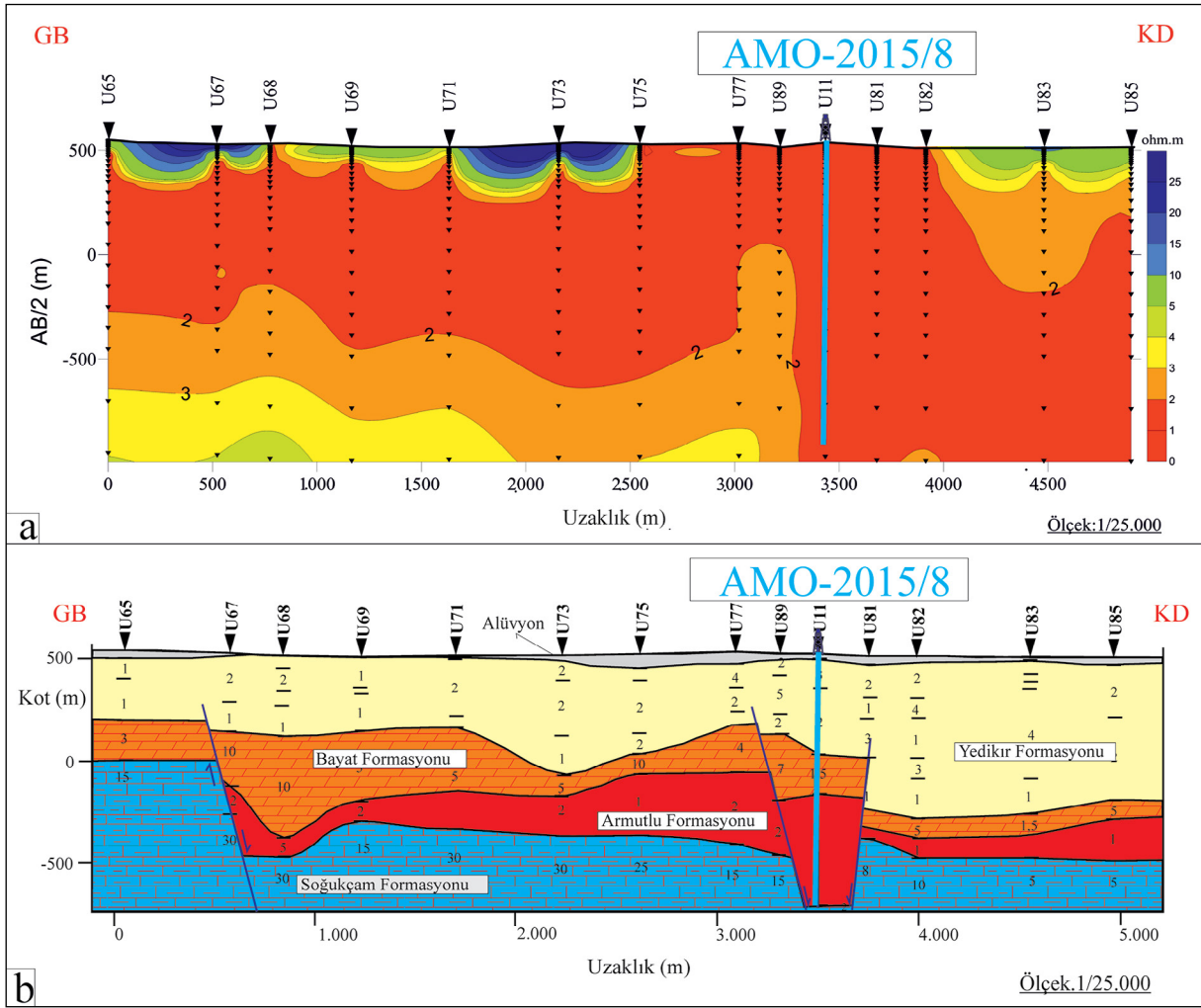
Merzifon çek-ayır havzasında yeraltı yapısının incelenmesi ve jeotermal alan sınırları ile uygun jeotermal sondaj yerlerinin tespiti için 393 adet düşey elektrik sondaj (DES) ile doğal potansiyel (SP) yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen jeofizik verilerle jeoelektrik yapı kesitleri, görünür eş özdirenç kesitleri, SP grafikleri ve seviye haritaları oluşturulmuştur.

Merzifon-Suluova çek-ayır havzasında 750 m ve 1000 m derinliklerinin görünür eş özdirenç seviye haritasında, AMO-2015/8 sondaj noktasının güneybatısında 1,5 ohm.m'lik görünür eş özdirenç konturu saha derinleştikçe kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. Sahanın güneybatısında ise temele ait yüksek özdirençler görülmektedir. Kuzeydoğu yönünde artan sedimanter kalınlığı ve birimlerin tuzluluğuna bağlı olarak düşük özdirenç seviyeli yapıyı sergilemektedir. Görünür eş özdirenç konturları, U23, U54, U79, U11 ve U13 noktaları boyunca uzanan yaklaşık kuzeybatı güneydoğu doğrultulu tektonik bir hattın belirtisidir (Şekil 3a, 3b). Bu ölçülerin Eosene ait birimlerine girişi yaklaşık olarak 1.250 m olduğu ve 1.750 m yapılan açılım sonrasında bu birimlerden çıkış görülememiştir. Bu çalışmaların tümüyle değerlendirilmesinden sonra özdirenç düşümü dikkate alındığında ise U08 noktasındaki düşey elektrik sondajının olduğu nokta önemli görülmüş ve U08 DES noktasında $AB/2 = 1.000$ m için 1,1 ohm.m'lik görünür özdirenç değeri okunmuş ve bu noktada 1.000 metrelerden sonra kırıntılı Eosen birimlerine girileceği düşünülmüş fakat 1.500 m'den sonrasında ölçülerde potansiyel oluşumu sağlanamamıştır.

Sahada, 13 adet DES noktasından oluşan AMO-2015/8 jeotermal sondajında bulunduğu profilde görünür eş özdirenç (Şekil 4a) ve jeoelektrik yapı kesitleri (Şekil 4b) değerlendirilerek, profilde



Şekil 3- AMO-2015/8 jeotermal sondaj çevresi alanın a) 750 m ve b) 1.000 m görünür eş öz direnç seviye haritaları.



Şekil 4- a) AMO-2015/8 jeotermal sondajında bulunduğu profile ait görünür eş öz direnç kesiti. b) AMO-2015/8 jeotermal sondajında bulunduğu profile ait elektrik yapı kesiti.

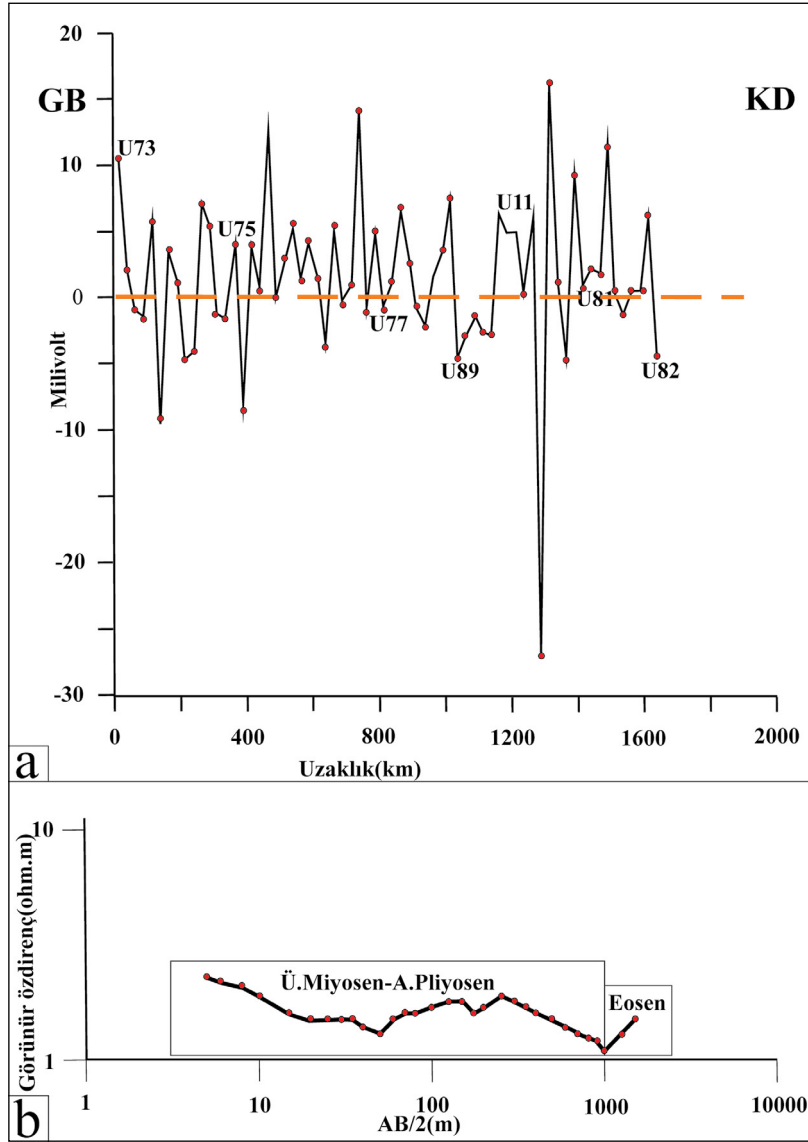
jeoelektrik temel görünür eş öz direnç konturlarının 2-4 ohm.m olduğu görülmüştür. Profilde U77 ve U11 DES noktaları arasında jeoelektrik temel girişinin derinliği 950 m'den 1250 m'ye düşmekte ve düşey yöndeki bu ani değişimin tektonik hat üzerinde gelişen jeotermal akışkan olabileceği yorumlanmıştır. Jeotermal sondajının bulunduğu noktaya yakın olan bu U11 DES noktasında 1000 ile 1250 m jeoelektrik temel giriş derinliği olduğu düşünülmüştür.

Aynı profilde, U73 DES noktasından başlayıp 25 m aralıklar ile GB-KD doğrultusu boyunca 1700 m SP (Doğal Potansiyel) ölçüsü alınarak değerlendirilmiştir. Bu ölçüde +16, -27 mv (milivolt) arasında maksimum gerilim U11-U81 DES noktaları arasında yakalanmıştır (Şekil 5a). Bu nokta

üzerinde alınan DES eğrisinde 1.000 m'den sonra düşük rezistiviteli bir yukarı dönüş izlenmektedir. Bu eğrinin dönüşü jeoelektrik tabana giriş olarak düşünülmüş ve jeotermal anomali olarak görülmüştür (Şekil 5b). Bu alanın güneyinde havzanın ortasından geçen Uzunyazı Fayının bulunması ve çek-ayır havzanın yeterli örtü kalınlığına sahip olması ile kuzeydoğudaki ısıtıcı Tavşandağı granodiyoritinin olmasından dolayı U11 noktasında jeotermal sondajı yapılmıştır.

3.2. Sondaj Çalışmaları

Jeoloji, jeofizik, hidrojeokimya, izotop çalışmalarının değerlendirilmesi havzada AMO-2015/8 (Amasya-Merzifon-Ortaova-015/8), AMÇ-



Şekil 5- AMO-2015/8 jeotermal sondajından geçen a) Doğal Potansiyel (SP) kesiti. b) DES eğrisi.

2016/3 (Amasya-Merzifon-Çobanören-2016/3) ve ASK-2016/11 (Amasya-Suluova-Kazanlı-2016/11) üç adet jeotermal sondaj yapılmış ve yukarıdaki kısıtlamalar kullanılmıştır. Bu sondajlardan AMO-2015/8 jeotermal sondajının litoloji logu, çamur giriş çıkış sıcaklıkları, jeofizik logları, kaçaqları, teçhizi, testi ve kuyu üretim bilgileri verilmiştir (Şekil 6).

AMO-2015/8 jeotermal sondajında en yüksek çamur sıcaklığı 2.154 m'de 59,4 °C olarak ölçülmüş ve 70,1 m³ toplam çamur kaçağı 1.550-2.100 m'ler arasında kaydedilmiştir. Kuyu tabanı 2.200 m'de iken teçhiz planı ve rezervuar parametreleri için

termik 1-2-3, gamma-ray (GR), neutron, rezistivite ve caliper log ölçüleri alınmıştır. Sirkülasyonun kesilmesinden 24 saat sonra termik-1 ölçüsü alınmış, 1.875 m'de kuyu taban sıcaklığı 76,5 °C ve statik çamur seviyesi 4 metre olarak ölçülmüştür. Sirkülasyonun kesilmesinden 29 saat sonra termik-2 ölçüsü alınmış, 2.200 m'de kuyu taban sıcaklığı 87,65 °C ve statik çamur seviyesi 6 m olarak ölçülmüştür. Kuyuda, 15 dakika beklemeyle kuyu taban sıcaklığı 90,1 °C'ye yükselmiştir. Sirkülasyonu kesilmesinden 51 saat sonra termik-3 ölçüsü alınmış, 2.200 m'de taban sıcaklığı 89,94 °C ile statik çamur seviyesi 12 metre olarak ölçülmüştür. Kuyuda, 15

ÜST SİSTEM	SİSTEM SERİ	KAT	FORMASYON	SİMGE	DERİNLİK (m)	LİTOLOJİ VE KUYU DONANIMI	AÇIKLAMALAR	Kaçak (m ³)
			Alüvyon	Qal	8	100 m	ALÜVYON; blok, çakıl, kum, silt, çamur.	
			Değim	Piqd	20	26"	Gevşek, tutturulmamış sarımsı bej, açık kahve renkli çakıl, kum, kil, silt.	
					100	96 m. 20" kaynaklı	Yeşilimsi gri, gri, sarımsı bej, açık kahvems renkli kıltaşı.	
						686 m 17 1/2"	Ardalanmalı ince tabakalı marn, kıltaşı.	
						679,5 m 13 3/8" casing	Yeşilimsi gri renkli siltli kıltaşı, ince tabakalı fosilli kireçtaşı.	
					500	1212 m 12 1/4"	Gevşek tutturulmuş çakıltaşı, kaba orta taneli kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı.	
					688	1186,96 m 9 5/8" casing	Kahvems yer yer bordo renkli siltli çamurtaşı.	
					1100		Kahverenkli kil matriksli konglomera-kumtaşı.	
					1212		Karot: (1230-1232,5) Gri renkli silttaşı.	
					1430		Bordo-kahve renkli çamurtaşı, konglomera.	
					1762		Bazaltik-andezitik lav, Ardalanmalı volkano-sedimanter (tüf, tüfit, aglomera, çamurtaşı, kumtaşı, konglomera).	
					1770	2200m. 8 1/2"	Skarn zonu; Altere andezit, bazalt, hematitleşme, limonitleşme yer yer silisifiye zon.	40,6
					2022		Granodiyorit, diyorit porfir.	3,5
					2032	1032,30m 6 5/8"	Anklav: Grimsi beyaz renkli, çatlaklı yer yer pirit sıvımalı mermer.	2
					2120		Skarn zonu: Hematitleşme, limonitleşme yer yer silisifiye zon.	20,5
					2200		Spilit, bazalt	3,5
							Karot: (2198-2200) Spilit.	

Şekil 6- AMO-2015/8 jeotermal sondaj kuyu logu (Özçilci vd., 2019).

dakika bekleme ile 91,4 °C'ye yükselmiştir. AMO-2015/8 jeotermal sondajında teçhiz yapıldıktan sonra kuyu yıkama jetiyle yıkanmış ve kuyunun artezyen akışı sağlanmıştır. Kuyubaşı basıncı 18 bar ölçülmüştür. Kuyu kompresörlü üretimin ardından 69,0 °C sıcaklığa ve 8 l/s artezyenik debiye ulaşmıştır. Kuyuda, 2.175 m'de en yüksek 94,05 °C statik sıcaklık ölçülmüştür. Havzada yapılan diğer kuyulardan ASK-2016/11 ve AMÇ-2016/3 sondajında kuyu taban sıcaklıkları sırasıyla 95,5 °C ve 87,65 °C olarak kayda geçirilmiştir (Öziçli, 2020).

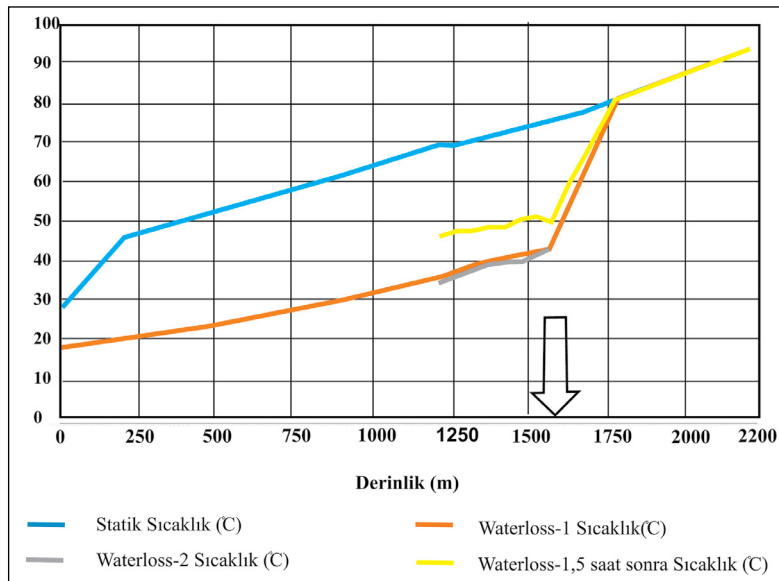
Preventer kapalı iken kuyuya waterloss yapılarak toplam 135 ton soğuk su basılarak statik sıcaklık ölçüsü tekrarlanmış ve grafiğe göre 1.550-1.600 m'ler arasında su kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Statik sıcaklık grafiğine göre bu seviyelerin altında bir soğuma gerçekleşmemiş dolayısıyla bu seviyeler altında bir geçirgen zonun bulunmadığı görülmüştür. Kuyuda enjeksiyon testleri tekrar edilip warm-up ve sıcaklık profiline göre geçirgen zonun yine 1.550-1.600 m'ler arasındaki olduğu yani değişmediği görülmüştür (Şekil 7).

Kuyuda, 1.600 m'den çekilerek build-up testi alınmış ve yatay üretim vanası kapatılmıştır. Build-up eğrisine göre üretim endeksi $P.I = 3,12$ ton/saat/bar hesaplanmıştır. Artezyenik olarak kuyuda 8 l/sn. ve kompresörle 14l/sn (220m) debi ölçümü

yapılmıştır. Kuyubaşı üretim sıcaklığı 69 °C ölçülmüştür. Kuyuda, en yüksek ölçülen 2.170 m'deki dinamik sıcaklık 94,26 °C, en yüksek statik sıcaklık 2.175 m'de 94,05 °C olarak ölçülmüştür. Kuyuda üretim zonunda ortalama sıcaklık ise 78 °C'dir. Kuyunun üretim endeksi 3,12 t/sa/bar ve enjeksiyon endeksi 1,38 t/sa/bar hesaplanmıştır. Kuyu statik halde 15 bara yükselen kuyubaşı basıncının üretim esnasında sıfıra düştüğü belirlenmiştir (Öziçli, 2020).

3.3. Hidrojeokimya Çalışmaları

Merzifon-Suluova çek-ayır havzasında 27 adet yüzey ve yeraltı suyu (kuyu ve kaynak) örnekleme noktaları ile 3 adet derin jeotermal sondaj kuyusundan olmak üzere toplam 30 adet noktada sıcaklık, EC, tuzluluk ve pH ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca söz konusu örneklerde majör iyon analizleri için örnekler alınmış ve bu kimyasal analizler MTA Genel Müdürlüğü laboratuvarında yapılmıştır. Bu numunelerin sıcaklıkları 11,1 °C - 29,4 °C arasında, elektriksel iletkenlikleri ise (EC 25 °C) 54-2970 μ S/cm arasında değişmektedir. AMO-2015/8 jeotermal kuyusunun sıcaklığı 69 °C, EC'si 4594 μ S/cm tuzluluğu 2,3 ppt ölçülürken (Öziçli vd., 2019), ASK-2016/11 ve AMÇ-2016/3 kuyularında ise 43,8 °C, 5690 μ S/cm ve 2,16 ppt ile 56 °C, 5109 μ S/cm ve 1,79 ppt olarak ölçülmüştür (Öziçli, 2020).



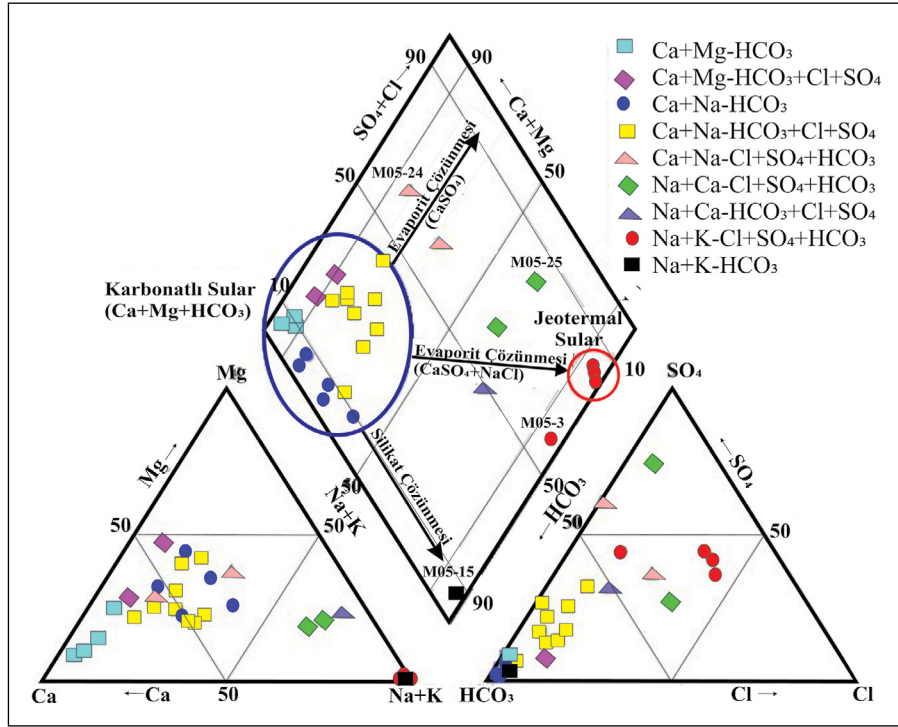
Şekil 7- AMO-2015/8 jeotermal kuyusu water-loss grafiği.

Back (1960, 1961), “jeolojik fasiyes” kavramından esinlenerek, yeraltı sularının hidrojeolojik sistem içerisinde geçirdikleri jeokimyasal süreçler sonucunda sahip olduğu kimyasal bileşim için “hidrokimyasal fasiyes” kavramını ortaya atmıştır. Bu kavram, fasiyes türlerinin üzerinde, su-kayaç etkileşim süreçlerinin yanı sıra deniz suyu karışımı gibi diğer fizikokimyasal süreçlerin de etkin olduğunu ifade eder. Buna ek olarak, özellikle jeotermal sistemlerde artan sıcaklık koşullarında, katyon takas tepkime hızları da artarak major iyon bileşimlerinin kısmen değişmesine neden olmaktadır.

Çalışma alanından örneklenen suların Ca+Mg, Na+K, HCO₃+CO₃ ve Cl+SO₄ iyon çiftlerini meq/l toplam derişimlerinin bağıl oranlarına göre hidrokimyasal fasiyes türleri (Back, 1961) sınıflamasına göre belirlenerek Çizelge 1’de verilmiştir. Hidrokimyasal fasiyes tipleri bu amaç için hazırlanan Piper diyagramında da gösterilmiştir (Şekil 8). Jeotermal kuyu suları dahil, alandaki yüzey-yeraltı suyu örnekleri 9 farklı hidrokimyasal fasiyes grubuna girmektedir. Hidrokimyasal fasiyes türlerin oluşumunu denetleyen üç jeokimyasal süreç ayırt edilmiştir. Bunlardan ilki, örneklenen suların çoğunlukla içinde

Çizelge 1- Örneklenen sulara ait fiziksel parametreler ve majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

	T (°C)	pH	EC (25 °C) (mS/cm)	K	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Fasiyes Tipi (Back, 1961)
M05-1	16,4	7,5	981	1	57,8	83,9	59,8	484	75,2	48,3	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-2	18,2	7,5	2950	8,94	465	120	75,2	496	290	283	Na+Ca-Cl+SO ₄ +HCO ₃
M05-3	20,6	9,3	1422	0,05	328	3,21	4,38	406	343	82,7	Na+K-Cl+SO ₄ +HCO ₃
M05-4	17,1	7,35	1012	5,23	47,2	107	63,3	598	141	26,2	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-5	19,7	7,8	2970	15,6	569	50,2	105	1124	552	220	Na+Ca-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-6	21,9	7,6	723	1,58	32,6	68,3	46,5	514	22,4	7,36	Ca+Na-HCO ₃
M05-7	20,9	7,4	317	3,62	20,9	38	10	221	4,95	7,74	Ca+Na-HCO ₃
M05-8	16,6	7,3	252	3,42	17,1	21,8	12,8	191	2,96	2,74	Ca+Na-HCO ₃
M05-9	20,6	7,3	575	1,35	11,2	98,4	22,2	389	24,7	4,35	Ca+Mg-HCO ₃
M05-10	21,9	7,3	930	7,26	32,8	150	31,3	472	66,4	35,6	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-11	18,6	7,6	600	3	63,6	51,8	22,9	423	25,4	6,23	Ca+Na-HCO ₃
M05-12	11,1	7,6	412	<1	4,79	89,4	5,79	295	12	2,34	Ca+Mg-HCO ₃
M05-13	29,4	7,5	357	1,49	5,75	74,9	5,72	246	18,9	1,3	Ca+Mg-HCO ₃
M05-14	12,7	7,6	320	<1	6,76	61,2	7	239	15,8	2,11	Ca+Mg-HCO ₃
M05-15	18,8	8,3	1698	2,89	373	4,25	1,44	1029	28,3	27,4	Na+K-HCO ₃
M05-16	12,7	7	1200	22,3	63,2	154	59,4	438	204	50,7	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-17	17,9	6,5	385	1,22	31,2	46,7	11,9	210	36,4	10,1	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-18	18,7	7	1496	2,09	158	128	97,4	461	582	4,29	Ca+Na-Cl+ SO ₄ +HCO ₃
M05-19	16,1	6,5	698	1,23	19,5	79,8	52,8	385	115	4,44	Ca+Mg-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-20	12,9	6	280	2,07	12,1	38,4	10,9	146	43,8	1,64	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-21	11,7	6,5	1162	16,4	23,6	188	52,2	607	48,3	54,1	Ca+Mg-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-22	18	6,8	278	<1	12,6	38,6	14,1	226	4,69	1,74	Ca+Na-HCO ₃
M05-23	11,5	6	54	1,72	3,65	5,58	1,72	37,5	2,25	<1	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-24	15,8	7	1754	1,65	82,4	247	81,6	425	336	177	Ca+Na-Cl+ SO ₄ +HCO ₃
M05-25	15,6	8	3428	2,93	664	121	111	469	1530	110	Na+Ca-Cl+SO ₄ +HCO ₃
M05-26	17,7	7,5	847	1,24	75,9	108	27,4	423	85,2	44	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
M05-27	13,4	7	1035	4,71	74,1	138	38,9	462	144	38,1	Ca+Na-HCO ₃ +Cl+SO ₄
AMO-2015/8	69	8,9	4594	36,8	1047	4,67	<1	509	753	658	Na+K- Cl+SO ₄ +HCO ₃
AMC-2016/3	56	7,6	5109	8,7	1246	33,1	8,26	677	1229	864	Na+K- Cl+SO ₄ +HCO ₃
ASK-2016/11	43,8	8	5690	15,5	1493	29,6	4,96	783	1464	908	Na+K- Cl+SO ₄ +HCO ₃



Şekil 8- Çalışma alanında örneklenen sulara ait Piper (1944) diyagramı.

buldukları Ca+Mg-HCO_3 , Ca+Na-HCO_3 , $\text{Ca+Mg-HCO}_3+\text{Cl+SO}_4$ ve $\text{Ca+Na-HCO}_3+\text{Cl+SO}_4$ fasiyes grupları ile temsil edilen karbonatlı minerallerin çözünme sürecidir. Bu fasiyes grubuna giren sular göreceli olarak düşük iyonik içeriğine sahip olup EC değerleri 54-1200 mS/cm arasında değişmektedir.

İkinci önemli süreç ise havzada geniş düzlüklerde yüzlek veren Yedikır Formasyonu içinde de gözlenen evaporitik minerallerin çözünmesidir. Bu süreç etkisindeki yeraltısuları daha yüksek iyonik derişimlere sahip olup EC değerleri 1422-3428 mS/cm arasında değişmektedir. Jips, anhidrit gibi minerallerin çözünmesi özellikle M05-24 nolu örnekte baskındır. Bu süreç etkisindeki diğer noktalarda ise halitin çözünmesi de diğer evaporitik minerallere eşlik etmektedir.

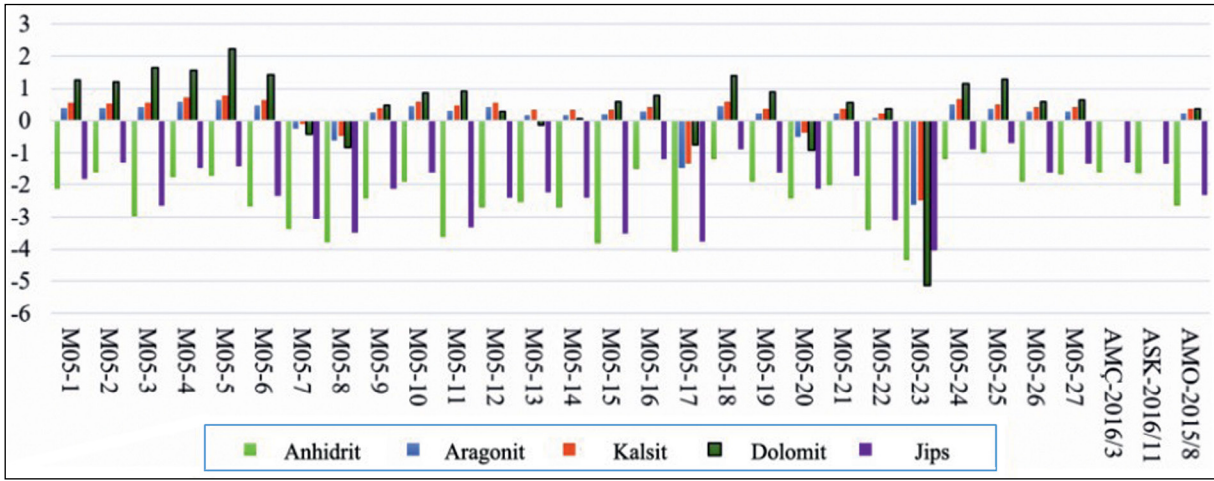
Üçüncü süreç ise sadece M05-15 nolu noktada gözlenen silikatlı minerallerin çözünmesidir. Silikatlı minerallerin düşük çözünürlüğü nedeniyle bu süreç genelde silikatlı kayalardan oluşan rezervuarlara sahip yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde (örn. Kızıldere ve Salavatlı) gözlenmektedir. Çalışma kapsamında açılmış jeotermal sondaj kuyuları farklı

alanlarda bulunmalarına karşın Piper diyagramında aynı noktada kümelenmişlerdir. Bu durum sondajlardan elde edilen akışkanların kökenlerinin benzer olduğu, aynı litolojik birimlerle temasta olduğu, yeraltında benzer jeokimyasal süreçlerden etkilendiklerini göstermektedir.

Termal sular da evaporitik minerallerin çözünmesinden etkilenmelerine karşın bölgedeki yeraltı sularından farklı olarak $\text{Na+K-Cl+SO}_4+\text{HCO}_3$ hidrokimyasal fasiyes grubuna girmektedir. Özellikle Na bakımından zengin ve Ca ile Mg derişimlerinin görece daha düşük olmaları yüksek rezervuar sıcaklığı koşullarında karbonat mineral çözünürlüğünün azalması bu iyonların karbonat bileşikleri şeklinde su fazından ayrılmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 8).

3.3.1. Suların Mineral Doygunlukları

Çalışma alanında örneklenen suların aragonit, anhidrit, kalsit, dolomit ve jips minerallerine göre doygunluk analizleri PHREEQC ile yapılarak sonuçlar diyagram olarak Şekil 9'da sunulmuştur. Bu diyagrama göre M05-2, M05-3, M05-4, M05-5, M05-6, M05-9, M05-10, M05-11, M05-12, M05-13,



Şekil 9- Çalışma alanındaki örneklene sulara ait doymunluk analizi.

M05-14, M05-15, M05-16, M05-18, M05-19, M05-21, M05-22, M05-24, M05-25, M05-26, M05-27 no.lu örnekler jips ile anhidrite göre doymun değil (çözündürücü); aragonit, kalsit ve dolomite göre ise aşırı doymundur (çöktürücü). M05-7, M05-8, M05-17, M05-20, M05-23 örnekleri ise ilgili minerallere göre doymun değildir. M05-1 örneği aragonit ve anhidritle dengede, dolomit, kalsite doymun ve jips ile ise doymun değildir (çözündürücü).

ASK-2016/11 ve AMÇ-2016/3 jeotermal sondajlarına ait sular kalsit, aragonit ve dolomit mineralleri ile dengede olup anhidrit ve jips göre doymun değildir (çözündürücü). AMO-2015/8 sondajına ait su ise kalsit ve aragonite göre doymun, jips ve dolomitte dengede, anhidrite ise doymun değildir ve bu suda karbonatlı ve silisli kabuklaşma beklenir. Üretim sırasındaki basınç kayıpları ile jeotermal kuyu sularında kabuklaşma sorunuyla karşılaşılması muhtemeldir.

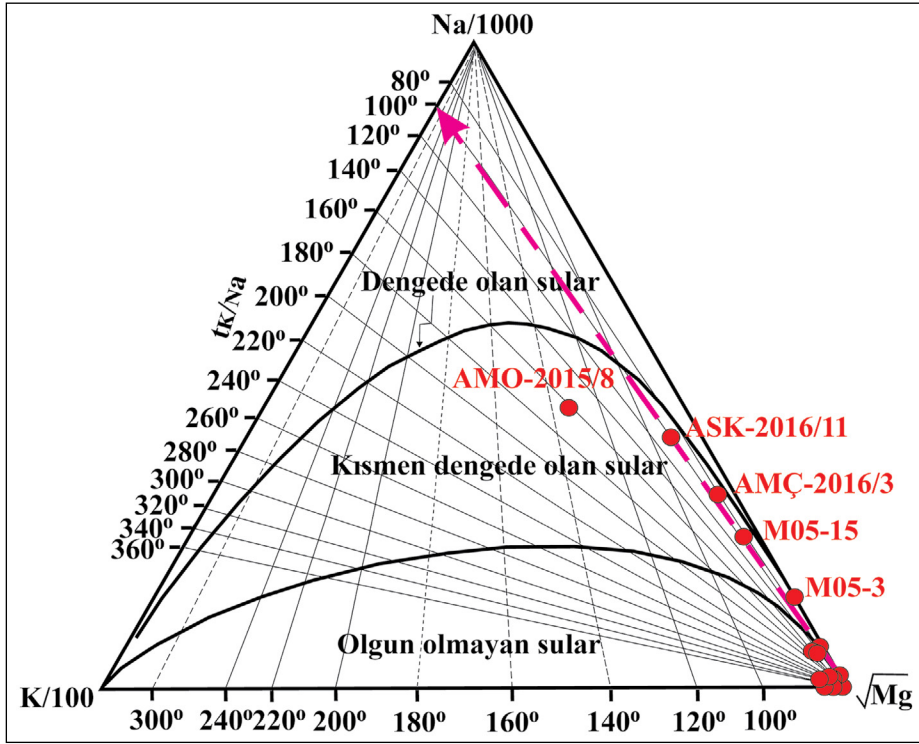
3.2.2. Jeotermometre Hesapları

Sahada, yüzey kaynak sularına ait kimyasal bileşimleri, jeotermal enerji çalışmalarında, akiferin akışkan sıcaklığını tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Yer altından jeotermal akışkanlar, yüzeye çıkarken kimyasal ve fiziksel süreçlerle yüzeydeki sularla veya üst zonlardaki farklı akifer sularıyla değişik oranlarda karışarak mevcut sıcaklığı ve kimyası değişmektedir.

Rezervuar sıcaklığı tahmini öncesinde örneklenen suların kimyasal jeotermometrelere uygunlukları Na-K-Mg üçlü-denge yöntemine (Giggenbach, 1988) göre değerlendirilmiştir (Şekil 10). Na-K-Mg diyagramı, Na-K ve K-Mg jeotermometrelerinin dayalı olduğu takas tepkimelerinin denge durumuna göre üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar, ilgili kimyasal tepkimenin dengede olmadığı “Olgun olmayan sular”, tepkimenin denge durumuna doğru ilerlediği veya seyrelme-soğuma vb. süreçler nedeniyle dengenin kısmen bozulduğu “Kısmen dengede olan sular” ve tepkime dengesinin kurulu olduğu “Dengede olan sular” bölümleridir. Jeotermal sondaj suları (AMÇ-2016/3, AMO-2015/8, ASK-2016/11) ile M05-15 ve M05-3 noktalar diyagramda “Kısmen dengede olan sular” kısmında olup, diğer su noktaları ise “Olgun olmayan sular” bölümündedir.

Na-K-Mg diyagramında noktaların doğrusal bir hat üzerindeki dizilimleri oldukça dikkat çekicidir. AMO-2015/8 noktası belirlenme limitlerinin altındaki Mg derişimi nedeniyle doğrusallıktan sapma yapmış olmasına karşın diğer su noktaları 100 °C’lik denge noktasına doğru bir yönelim sergilemektedir. Bu durum nedeniyle havzadaki jeotermal sistemlerin rezervuar sıcaklığının 100 °C’ye kadar ulaşabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında numunelere kısmen denge durumunda olan su noktalarına farklı araştırmacılar tarafından önerilen katyon jeotermometre eşitlikleri uygulanmıştır (Çizelge 2).



Şekil 10- Örneklenen numunelere ait (Giggenbach,1988) Na-K-Mg üçgen diyagramı (AMO-2015/8 noktasının Mg derişimi 1 mg/l olarak kabul edilmiştir).

Çizelge 2- Katyon jeotermometreleri ile muhtemel hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C).

Numune Adı	Na-K ¹	Na-K ²	Na-K ³	Na-K-Ca ⁴	K-Mg ³
AMO-2015/8	146	142	161	170	134
AMÇ-2016/3	69	61	82	90	66
ASK-2016/11	85	78	100	107	86

(¹Arnórsson vd.,1983), (²Fournier, 1979), (³Giggenbach, 1988), (⁴Fournier ve Truesdell, 1973)

Na-K jeotermometreleri: Yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerdeki potasyum ve sodyum değişimleri sulu çözeltiler ile alkali feldispatlar arasındaki ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{K}^+ \leftrightarrow \text{KAlSi}_3\text{O}_8 + \text{Na}^+$) iyon takas değişimiyle olmaktadır. İyon takas değişimleri 300 °C ve altındaki sıcaklıklarda yavaş olduğundan, uzun süreli yeraltı geçişini temsil eden jeotermal sistemler için Na/K jeotermometreleri uygulanması gerekmektedir. ASK-2016/11 sondajında kuyu taban sıcaklığı 95,5 °C olarak ölçülmüş olmasına karşın Na/K jeotermometreleri 78-100 °C arasında sıcaklıklar türetmiştir. Benzer bir şekilde AMÇ-2016/3 sondajı kuyu taban sıcaklığı 87,5 °C olmasına karşın Na/K jeotermometreleri ise 61-82 °C aralığında sıcaklıklar türetmiştir. AMO-2015/8 sondajında Na/K jeotermometre sıcaklıkları 142-161 °C aralığında,

kuyu taban sıcaklığı olan 94,05 °C' nin üzerinde değerler türetmiştir.

K-Mg jeotermometresi: Sıcaklık değişimine hızlı tepki veren K ile Mg arasındaki katyon takas tepkimeleri, bu iyon değişimlerinin jeotermometre olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Na-K ve K-Mg arasındaki katyon takas tepkimeleri jeotermal akışkanın yükselirken etkilendiği fiziksel süreçlerin ayırtlanmasını sağlamaktadır (Giggenbach, 1988). K-Mg jeotermometre eşitliği jeotermal kuyular için 66-134 °C aralığında değerler türetmiştir. AMÇ-2016/3 ve ASK-2016/11 noktaları için hesaplanan değerler taban sıcaklıklarından düşük olması nedeniyle bu jeotermometre sonuçları güvenilir kabul edilmemiştir.

Na-K-Ca jeotermometresi: Na-K katyon jeotermometrelerinde, Ca içeriğinin yüksek olduğu düşük sıcaklıklı jeotermal sistemlerinde yüksek sonuçlar üretmektedir. Bu sular için Fournier ve Truesdell (1973) Na-K-Ca jeotermometre eşitliğini geliştirmiştir. Buna göre ASK-2016/11 sondajında Na-K-Ca jeotermometresi 107 °C üretmiş ve kuyu taban sıcaklığı 95,5 °C'ye nispeten yakındır. AMÇ-2016/3 sondajında da kuyu taban sıcaklığına yakın, 90 °C'lik sıcaklık üretmiştir. AMO-2015/8 sondajında ise kuyu taban sıcaklığının (94,05 °C) oldukça çok üzerinde, 170 °C'lik sıcaklık üretmiştir.

Yapılan jeotermometrik hesaplamalar sonucunda Na-K ile K-Mg jeotermometrelerinin ölçülen taban sıcaklıklarından daha düşük değerler üretmeleri nedeniyle bu katyon jeotermometreler güvenilir kabul edilmemiştir. Na-K-Ca jeotermometresi ise AMÇ-2016/3 ve ASK-2016/11 kuyuları için makul sonuçlar (90-107 °C) üretmesine karşın AMO-2015/8 için 170 °C'lik yüksek bir sıcaklık üretmiştir. Bu sonuçlar ile Na-K-Mg üçgen diyagramından elde edilen sonuç dikkate alındığında çalışma alanındaki rezervuar için 100 °C civarında sıcaklıklar beklenmektedir.

3.4. İzotop Çalışmaları

İzotop teknikleri kullanılarak yüzey ve yeraltı, suların kökeni ve dolaşım sistemleri, yeraltındaki dolaşım süresi, beslenme alanı yükseklikleri, buhar kaybı, farklı sularla karışım oranları, su-kayaç etkileşimi, buharlaşma süreçleri hakkında bilgi vermektedir. Çalışma alanındaki termal suların kökeni, sıcaklığın su-kayaç etkileşimi üzerindeki etkisi ve karışım süreçlerinin aydınlatılması amacıyla farklı su noktalarından izotop [trityum (TU), döteryum (δD), oksijen-18 ($\delta^{18}O$)] örnekleri alınmış ve bu izotop örneklerinin analizleri DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarları'nda yaptırılmıştır. Sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

3.4.1. Oksijen18-Döteryum İlişkisi

Hidrojen ve oksijenin kararlı izotopları arasındaki oransal değişimleri, hidrolojik çalışmalarda izleyici olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Hidrolojik çevrimde buharlaşma ve yoğunlaşma evrelerinde

hafif ve ağır izotoplar sıcaklık ve nem koşullarına bağlı olarak farklı ayrışır. Bu ayrışma yağış sularında $\delta^{18}O$ ve δD içeriklerinin bölgesel değişmesine neden olur. Meteorik suların bölgesel değişimi $\delta^{18}O$ ve δD içerikleri arasında doğrusal bir ilişki ($\delta D = 8 \delta^{18}O + d$) ile temsil edilir. Bu eşitlikte "d" değeri döteryum fazlasını ifade etmekte olup, meteorik suların izotop içeriklerindeki bölgesel değişimi gösteren parametredir. Döteryum fazlası okyanusa ve denize olan uzaklığa, yüksekliğe, enleme ve beslenme öncesi buharlaşma oranına gibi faktörlere göre değişmektedir.

Küresel ölçekli meteorik suların $\delta^{18}O$ ve δD içerikleri arasındaki doğrusal ilişki $\delta D = 8(\delta^{18}O) + 10$ olarak tanımlanmış olup (Craig, 1961) bu eşitliğe ait doğru Dünya Meteorik Su Doğrusu (DMSD) olarak adlandırılmaktadır.

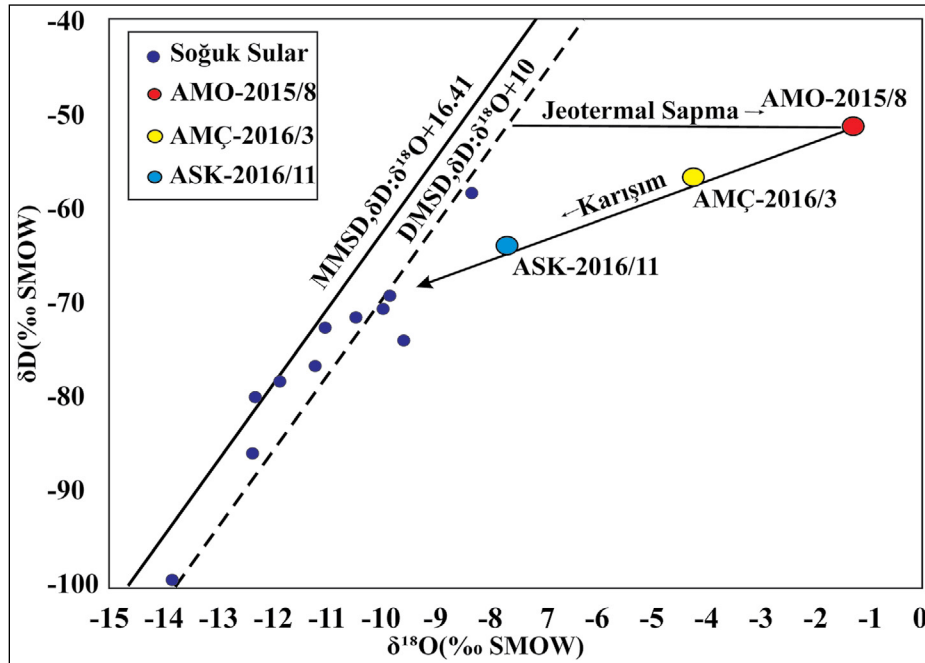
Çalışma alanındaki su noktalarının $\delta^{18}O$ - δD ilişkisi Şekil 11'de verilmektedir. Alandan örneklenen soğuk su noktalarının çoğunluğu DMSD ile döteryum fazlası +16.41 olan Orta Karadeniz (Sinop) Meteorik Su Doğrusu ($\delta D = 8\delta^{18}O + 16.41$, Dilaver vd., 2018) arasında kalan bölgede yer almaktadır. Jeotermal kuyu suları ise $\delta^{18}O$ bakımından zenginleşerek meteorik su doğrularından pozitif $\delta^{18}O$ değerlerine doğru belirgin bir şekilde sapma yapmışlardır.

Yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerdeki akışkanlarda gözlenen $\delta^{18}O$ zenginleşmesi, su-kayaç arasında gerçekleşen $\delta^{18}O$ izotop takası sonucunda akışkan fazın ^{18}O bakımından zenginleşir. Kayaçların ana bileşenlerinden biri olmayan hidrojen ise jeotermal suların 2H değerleri üzerinde bir değişiklik olmamaktadır. Bu süreç etkisinde bulunan jeotermal sular, $\delta^{18}O$ zenginleşmesi ile meteorik su doğrusundan pozitif yöne doğru saparak, bu sapmaya jeotermal sapma adı verilmektedir.

Rezervuar kayaç mineralojisi, sıcaklık ve etkileşim süreci Oksijen-18 zenginleşmesine etki eden faktörlerdendir. Karbonatlı rezervuarlar, ^{18}O bakımından en yüksek jeotermal sapma sağlamaktadır (Truesdell ve Hulston, 1980). Kuvars, feldispat ve mika gibi mineralleri içeren silikatlı kayaçlardaki belirgin ^{18}O izotop zenginleşmesi, 250 °C üzerindeki rezervuar sıcaklıklarını işaret etmektedir (D'Amore ve Panichi, 1987).

Çizelge 3- Çalışma alanında bulunan örneklerle ait izotop analiz değerleri ve kimyasal değerleri.

Örnek Adı	³ H	Belirsizlik	¹⁸ O	Belirsizlik	δ D	Belirsizlik	Kot	EC	SiO ₂ (mg/l)	Cl
	(TU)	(±)	‰VSMOW	(±)	‰VSMOW	(±)	(m)	(µS/cm)		(mg/l)
M05-2	1,68	0,68	-9,55	0,2	-74,03	0,3	680	2,95	23,1	283
M05-3	0,27	0,64	-13,84	0,4	-99,11	0,7	566	1,422	28,7	82,7
M05-05	0,46	0,62	-12,34	0,4	-85,89	0,2	574	2,97	41,7	220
M05-15	4,26	0,78	-10,43	0,3	-71,65	0,2	809	1,698	41,6	27,4
M05-12	4,99	0,8	-12,29	0,6	-79,98	0,9	1,301	412	18	2,34
M05-13	4,15	0,76	-11,86	0,3	-78,3	0,4	1,193	357	29,3	1,3
M05-18	6,01	1	-9,93	0,08	-70,54	0,83	804	1,496	10,4	4,29
M05-21	3,46	0,74	-11,16	0,07	-76,68	1,57	1,303	1,162	22,7	54,1
M05-23	4,95	0,84	-11	0,17	-72,54	0,57	1,75	53,6	49,2	1
M05-26	3,03	0,68	-9,83	0,14	-69,23	0,86	468	847	20,1	44
M05-27	4,95	0,7	-8,3	0,14	-58,46	0,86	451	1,035	21,1	38,1
AMO-2015/8	0	0,68	-1,25	0,17	-51,42	1,06	518	4594	54,8	658
AMÇ-2016/3	0	0,54	-7,63	0,19	-64,07	1,01	651	5109	32,7	864
ASK-2016/11	0,29	0,94	-4,22	0,11	-56,82	0,85	570	5690	22,5	908

Şekil 11- Çalışma alanında örneklenen sulara ait oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve döteryum (δD) grafiği.

Çalışma alanında özellikle AMO-2015/8 noktasının ^{18}O içeriğinin yaklaşık % 7'lik bir zenginleşme ile meteorik su doğrusundan sapmış olması, bu alandaki termal sulara ait su-kayaç etkileşim süreçlerinin ilerlediği olarak yorumlanmaktadır.

Derin jeotermal kuyuların rezervuarlarının, karbonatlara göre çözünürlükleri düşük ve ^{18}O bakımından fakir olan magmatik-volkanik kayalar

içinde gelişmiş olması, örneklenen termal suların yüksek sıcaklık koşullarına maruz kalmış olabileceğini düşündürmektedir. Jeotermal kuyuların tabanlarında ölçülen 87,2-95,5 °C arasındaki sıcaklıklar, silikati kayalarda ^{18}O zenginleşmesi için gerekli koşullardan oldukça uzak olması nedeniyle bölgedeki rezervuar zamanla soğumuş olduğu sonucuna varmak mümkündür.

Jeotermal sular kendi aralarında belirgin bir dizilim sunmakta olup, ASK-2016/11 ve AMÇ-2016/3 kuyularına ait jeotermal sular en yüksek sapmanın gözlemlendiği AMO-2015/8 kuyusu ile bölgede bulunan soğuk sularla bir karışım doğrusu üzerinde yer almaktadır. Bu dizilimde termal sulara farklı oranlarda soğuk su karışımı neden olduğu düşünülmektedir. Ancak bu karışım sürecinde de oldukça dikkat çeken bir nokta bulunmaktadır. $\delta^{18}\text{O}$ sapma miktarı ile sıcak suların EC ve iyonik derişimleri arasında ters doğrusal ilişki bulunmaktadır. $\delta^{18}\text{O}$ sapma miktarı azaldıkça iyonik derişimlerin artmasında karışıma katılan soğuk su bileşeninin iyonik derişiminin sıcak sulara göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

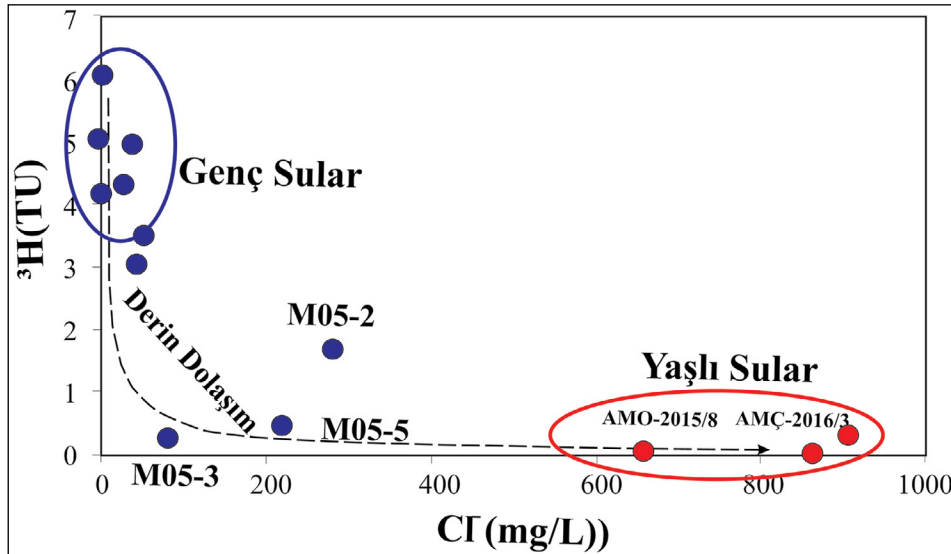
3.4.2. Trityum İçeriği

Radyoaktif olan trityum (^3H), hidrojenin bir izotopudur. Trityumun yarı ömrü 12,32 yıldır (Lucas ve Unterweger, 2000). Ayrıca suyun yapısındaki hidrojenden dolayı hidrolojik çevrimin izlenmesinde en çok kullanılan izotoptur. Atmosferdeki trityum içeriği 1950'li yıllarda termonükleer denemeler sonucunda artarak, 1963'te 1.000 Trityum Birimi (TU) düzeyine kadar ulaşmış ve günümüze kadar doğal yarılanma yoluyla azalarak gelmiştir. Trityum izotopundaki sürekli bozunma belirli bir alanda yeraltı suyunu besleyen yağışın trityum içeriğinin bilinmesi ve yeraltı suyunun ağırlıklı ortalama yaşının

belirlenmesi ile farklı yeraltı sularının karışımının belirlenmesine yaklaşımda bulunulabilir. Sulara, ^3H içeriklerinin $<0,8$ TU değeri 1952 öncesi beslenen (submodern) sular olarak sınıflandırılır (Clark ve Fritz, 1997).

Sahadaki örneklerde trityum içerikleri 0 ile 6,01 TU arasında değişmektedir (Çizelge 3). Havzadaki M3, M6 örnekleri ve jeotermal sondajlara ait örnekler (AMÇ-2016/3, AMO-2015/8 ve ASK-2016/11) $<0,8$ TU değerinde olup, 1952 öncesi beslenme (submodern) sular yani güncel yağışlardan uzak olan ve akifer geçiş süresinin uzun olduğu sular sınıfına girmektedir. Örneklerden diğerleri ise submodern-geç ve modern sular arasında yer almaktadır.

Çalışma alanındaki suların dolaşım sistemleri yeraltı sularında korunumlu kabul edilen Cl^- ile duraysız ^3H bileşeni eşliğinde nitel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 12). Bu nitel değerlendirmede, korunumlu bileşen derişiminin akım yolu boyunca su-kayaç etkileşim süresine bağlı arttığı, ^3H içeriğinin ise zamana bağlı üstel bir formda azaldığı varsayılmıştır. Buna göre, çalışma alanındaki termal sular yüksek Cl^- derişimleri ve belirlenme limitleri düzeyindeki ^3H içerikleri ile derin dolaşım sistemine sahip "yaşlı sular" olarak ayırtlanmıştır. Trityum içerikleri 3-6 TU arasında ve Cl^- derişimleri görece daha düşük olan sular ise sığ dolaşım "genç sular" olarak ayırt edilmiştir. M05-3 ve M05-5 noktaları



Şekil 12- Çalışma alanındaki sulara ait Cl^- - ^3H grafiği.

diğer soğuk su noktalarından farklı bir biçimde derin dolaşıma sahip yeraltı suları olarak öne çıkmaktadır. M05-02 noktası ise diğer soğuk su noktalarına göre daha yüksek Cl- derişimine sahip olmasına karşın $1,68 \pm 0,68$ TU içeriği nedeniyle derin ve sığ dolaşımli suların bileşiminden oluşmuş bir karışım suyu olduğu tahmin edilmektedir.

4. Havza Gelişimi ve Jeotermal Model

Merzifon-Suluova çek-ayır havzası, Sakarya Kıtası ile İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusu'na ait kayaçları içine almaktadır. Burası, güneydeki Neotetis'in okyanusal litosferinin Sakarya Kıtası'nın altında Kretase boyunca tüketildiği bir alanda bulunmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Neotektonik dönemde Merzifon-Suluova çek-ayır havzası, sahanın kuzeyinden geçen Kuzey Anadolu Fayı'nın etkisiyle şekillenmiş bir havzadır. Havza doğu-batı gidişli yaklaşık 55 km uzunluğunda, 22 km genişliğinde bir çöküntü alanından oluşmaktadır (Rojay ve Koçyiğit, 2010). Havzanın güney kanadını Sarıbuğday, Eraslan ve Büyükçay sağ yanal eğim atımlı fayları, kuzey kanadını sağ yanal eğim atımlı Merzifon Fay Zonu, doğusunu Suluova normal Fay zonu ile havzanın ortasından geçen Uzunyazı sağ yanal eğim atımlı fayı ve Çetmi sağ yanal eğim atımlı fayı oluşturmaktadır. Merzifon-Suluova havzası bu fayların aktivitesiyle derinleşmeye ve sağa doğru ötelenmeye devam etmektedir. Havza dike yakın kenar faylarıyla ani derinleşmiş ve neotektonik dönemden sonra güncel sedimanter malzeme ile dolmuştur.

Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının kuzeyinde 53 °C'lik Havza, güneyinde 40,1 °C'lik Amasya-Terziköy ile 37,8 °C'lik Amasya-Gözelek, batısında 42 °C'lik Hamamözü ile kuzeydoğusunda 38 °C'lik Ladik jeotermal sahaları bulunur. Bu havzanın çevresinde bulunan jeotermal sahalar ile KAF Zonu'nun mantoya kadar ulaşan transform fay niteliği taşıması, havzayı potansiyel bir jeotermal havza haline getirmiştir. (Arıgün, 2002) bu havzanın güneyindeki Beke kaplıcalarında, yaptığı çalışmada rezervuar sıcaklığının 67,2 °C olarak hesaplamış, bu kaplıca sularının meteorik kökenli ve derin dolaşıma sahip olduğunu belirtmiştir. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) boyunca alınan örneklerde mantodan türetilen helyumun çoğu yerde %50'nin üzerinde olduğu açıkça

belirtilmiştir Güleç vd. (2002). He izotop bileşimleri Ra değerinin ise 0,28 ve 2,19 ile KAFZ'da jeotermal kaynakların manto kökenli olduğu da Mutlu (2008) tarafından belirtilmiştir. Ayrıca Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının doğusunda KAFZ üzerinde gelişen Tokat-Niksar çek-ayır havzasına bağlı kuzey ile güney kanatlarda hat boyunca gözlenen jeotermal kaynaklardan bahsedilmekte ve güney kanatta 53,3 °C sıcaklıktaki akışkan boşalımının olduğu rapor edilmiştir (Öziçli, 2019).

Merzifon-Suluova çek-ayır havzasında jeotermal potansiyelinin ortaya çıkarılması amacıyla derin jeotermal sondajlar yapılmıştır. Havzanın ortasından geçen Uzunyazı Fayı'nın hemen güneyinde çökel kalınlığının arttığı bir alanda AMO-2015/8 jeotermal sondajı yapılmıştır. Bu kuyuda 1.550-1.600 m'ler arasında üretim seviyeleri tespit edilmiş ve bu seviyeler Eosen yaşlı birimlerin içerisine sokulum yapan Tavşandağı Granodiyoritinin kenar zonundaki hematitleşmiş, limonitleşmiş ve silisleşmiş zonlarından üretim sağlamaktadır. Havzanın kuzey kanadında Merzifon Fay zonu üzerinde diğer bir sondaj olan AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı yer almaktadır. Bu kuyudaki testlere göre 1.150 m ile 1.450 m'lerde iki farklı zonda üretim seviyeleri belirlenmiştir. Bu kuyuda 1.150 m'deki zonda Çalarasın Formasyonu içerisinde bulunan kireçtaşlarından ve 1.450 metredeki zonda ise Çalarasın Formasyonu ile ofiyolit arasındaki tektonik dokanaktan üretim sağlamıştır. Merzifon ile Suluova arasında bulunan yükseltinin Suluova havzasına bakan kesiminde ise ASK-2016/11 jeotermal sondajı yer almaktadır. Bu kuyuda yapılan testlere göre ise 1.550-1.600 m ile 1.650-1.700 m'lerde iki farklı zonda kuyu üretim seviyeleri belirlenmiştir. 1.550-1.600 m'deki zonda Çalarasın Formasyonu içerisindeki kumtaşı, kireçtaşı, çakıltaşı seviyelerinden ve 1.650-1.700 m'deki zonda ise Çalarasın Formasyonu ile Tokat metamorfiteğine ait şistlerin dokanağından üretim sağlanmıştır (Öziçli, 2020).

Rezervuarda, akışkanın depolanabileceği gözenekli ve geçirimli bir kayacın olması jeotermal sistemler için gereklidir. Rezervuar kayaç kumtaşı, çakıltaşı gibi birincil gözenekliliğe sahip kayaçlar olabileceği gibi, Batı Anadolu'daki jeotermal sistemlerde olduğu gibi tektonik deformasyon sonucunda ikincil gözeneklilik kazanan kayaçlardan da oluşmaktadır.

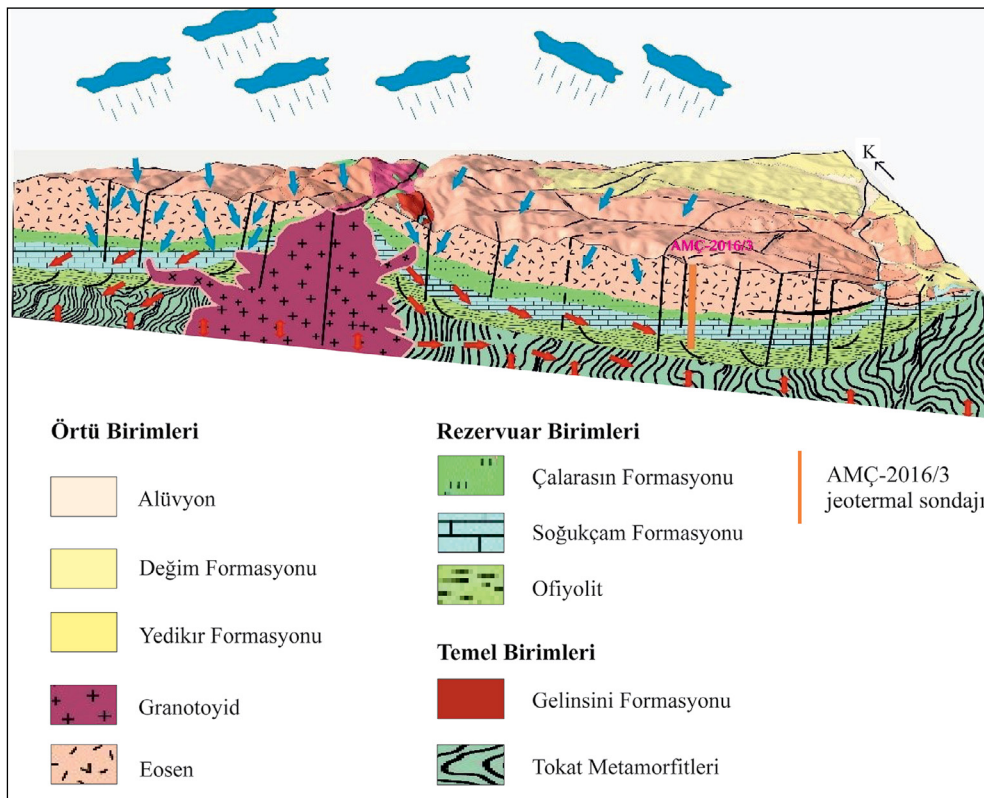
Havzada açılan jeotermal sondajların üretim zonlarına bakıldığında rezervuar kayacın gelişiminde tektonik deformasyonun etkin olduğu ve bu deformasyona uğrayan ofiyolit, volkanit ile volkanosedimanter kayaların rezervuar kayacı oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Merzifon-Suluova çek-ayır havzası kenar fayları ile ötelenirken bu faylara ait verev atımlar ile derinleşerek sedimanla dolmaktadır. Bu sondajlardan, 2.200 m derinlikte AMO-2015/8 Eosen birimlerine ait silttaşı seviyelerinde kalmış ve sondajın kuzeyine doğru örtü kalınlığı artarak derinleşmektedir. Ayrıca sondaj kuyularındaki üretim zonları üzerinde 1.000-1.500 m kalınlıkta kırıntılı-karbonatlı sedimanter istif, havzadaki jeotermal sistemler için bir örtü kayaç özelliği taşımaktadır.

KAFZ boyunca jeotermal alanlardaki sulara uygulanan jeotermometrelere göre rezervuar sıcaklıkları en fazla 110 °C olarak hesaplanmıştır (Mutlu ve Güleç, 1998). KAFZ üzerindeki jeotermal sistemlerin gelişiminde aktif tektonizmanın etkin

olduğu ve meteorik suların derinlere inerek jeotermal gradyan etkisi ile ısı kazandığı düşünülmektedir. Havzanın kuzeybatısında bulunan Tavşandağı Granodiyoriti'nin, U, Th, ve K bakımından zengin olması ile radyojenik olarak ısınma süreçlerine sahip olabileceği düşünülmektedir. AMÇ-2016/3, AMO-2015/8 ve ASK-2016/11 jeotermal sondajlarının kuyu tabanları 2.200 m'de sırasıyla 87,65 °C, 94,05, °C, 95,5 °C olarak ölçülmüştür. Ortalama hava sıcaklığının 13,8 °C dikkate alındığında çalışma alanındaki jeotermal gradyan 0,036 °C/m olarak hesaplanmış olup bu değer kıtasal alanlar için hesaplanan ortalama jeotermal gradyan (0.025 °C/m; Criss, 2020) değerinden daha yüksektir.

Merzifon-Suluova çek-ayır havzasında yapılan jeoloji, su kimyası, jeofizik, jeotermal sondajlar ve izotop verileri birlikte değerlendirildiğinde sahanın jeotermal kavramsal modeli oluşturulmuştur (Şekil 13). Havzada, Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi çalışmasında akiferin NaHCO_3^+ su tipinden MgHCO_3^+ su tipine doğru devam ettiği ve daha sonra yapılan sondajlarla da CaHCO_3 su



Şekil 13- Merzifon Suluova çek-ayır havzasına ait 3 boyutlu kavramsal modeli.

tipinden CaHCO_3^+ su tipine gittiği gösterilmiştir. Dolayısıyla beslenme akım yönünün batıdan doğuya olduğu gösterilmiştir Ersoy ve Ersoy (2008). Böylece, Merzifon-Suluova çek-ayır havzasında, meteorik beslenme batıdaki İnegöl Dağı ve kuzeybatıdaki Tavşandağı'nın yüksek kotlarından olmakta ve süzülen bu meteorik sular derin yeraltı dolaşımı ile ısınıp yukarı doğru çıkmaktadırlar. Havzanın kuzey kanadında bulunan Merzifon Fay zonu üzerindeki AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı, ısıtıcı ve örtü birimleri açısından hedefine ulaşmış olmasına rağmen rezervuar birimlere ve beslenme açısından verimli olabilecek seviyelere ulaşamamıştır. Bu sondaja ait kuyu logu havzanın jeolojik istifini belirleme açısından önemli veriler sunmuştur. Çalışma alanında mostrada görülemeyen birimlerin stratigrafik olarak konumları, havzadaki derinliklerini ve yaklaşık olarak kalınlıkları hakkında bilgi vermektedir. ASK-2016/11 sondajında ise, Merzifon-Suluova havzaları arasındaki Tokat metamorfiklerinin yükselimi ortaya çıkarılmıştır. Bu jeotermal sondaja ait olan diğer parametrelerde, havzanın kavramsal modelini oluşturmaya, havzanın tektonik ve jeolojik gelişimi hakkında katkı sağlamıştır. Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının ortasından geçen aktif Uzunyazı Fayı'nın kuzeyindeki AMO-2015/8 jeotermal sondajında, kuyu tabanı Eosen birimlerinde kalmıştır. Bu kuyuda, kuzeyde bulunan Tavşandağı Granodiyoritinin sokulum yaptığı kontak zonundan akışkan üretimi sağlanmıştır. Kuyuda taban sıcaklığının $100\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yaklaşması daha derin planlanacak jeotermal sondajlardan yeterli miktarda akışkan ve buhar sağlanması halinde elektrik üretimi amaçlı kullanılabileceğini düşündürmüştür.

5. Tartışma ve Sonuçlar

Merzifon-Suluova çek-ayır havzası jeotermal olanaklarının araştırılması için yapılan jeoloji, hidrojeokimya, jeofizik, izotop kimyası, tektonik ve sondaj verilerinin değerlendirilmesi sonuçları özetlenmiştir. Yapılan sondajlara göre bu havzada, elde edilen stratigrafik birimler yüzeyden itibaren Kuvaterner, Pliyosen, Üst Miyosen-Pliyosen, Eosen, Kretase flişi, ofiyolit ve Paleozoyik yaşlı Tokat metamorfikleri olarak belirlenmiştir. Jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucunda jeotermal anomali sunan alanlarda araştırma sondajları açılmıştır.

Havzanın ortasında yapılan AMO-2015/8 sondajında 8 l/s artezyen ve 14 l/s kompresörle akışkan üretimi elde edilmiştir. Kuyubaşında üretim sıcaklığı $69\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Kuyuda 2.170 m 'deki dinamik sıcaklık $94,26\text{ }^\circ\text{C}$, maksimum statik sıcaklık ise 2.175 m 'de $94,05\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Kuyuda üretim endeksi $3,12\text{ t/sa/bar}$ ve enjeksiyon endeksi $1,38\text{ t/sa/bar}$ olarak hesaplanmıştır. Jeotermal kuyunun üretim zonları ise $1.550\text{-}1.600\text{ m}$ 'ler arasındadır.

AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında ise asitleme, artezyenik ve kompresörlü üretim ile kuyu testleri sonucunda kompresörlü üretim debisi $5,3\text{ l/s}$ ve üretim sıcaklığı $56\text{ }^\circ\text{C}$ elde edilmiştir. Kuyuda akışkanın artezyen üretim debisi 2 l/s ve üretim sıcaklığı $53\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Kuyu tabanında ölçülen en yüksek statik sıcaklık $87,65\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Kuyuda enjeksiyon endeksi $1,4\text{ t/sa/bar}$ ve üretim endeksi ise $4,16\text{ t/sa/bar}$ olarak hesaplanmıştır. Bu kuyunun üretim seviyeleri $1.150\text{ ve }1.450\text{ m}$ 'lerdir.

Havzadaki diğer jeotermal sondajı olan ASK-2016/11 kuyusunun kompresörlü üretim sıcaklığı $43,8\text{ }^\circ\text{C}$ ve debisi $1,32\text{ l/s}$ olarak ölçülmüştür. Kuyu testlerinden water-loss testine göre $1.550\text{-}1.600\text{ ile }1.650\text{-}1.700\text{ m}$ 'ler arasında rezervuar olabilecek bölgeler tespit edilmiştir.

Örnekleme yapılan numunelerin elektriksel iltkenlikleri ($\text{EC } 25\text{ }^\circ\text{C}$) $54\text{-}2970\text{ }\mu\text{S/cm}$ arasında ve sıcaklıkları $11,1\text{ }^\circ\text{C} - 29,4\text{ }^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir. Hidrokimyasal fasiyes türlerin oluşumunu denetleyen üç jeokimyasal süreç ayırt edilmiştir. Bunlardan ilki, örneklenen suların çoğunlukla içinde buldukları Ca+Mg-HCO_3 , Ca+Na-HCO_3 , $\text{Ca+Mg-HCO}_3+\text{Cl+SO}_4$ ve $\text{Ca+Na-HCO}_3+\text{Cl+SO}_4$ fasiyes grupları ile temsil edilen karbonatlı minerallerin çözünme sürecidir. İkinci önemli süreç ise havzada geniş düzlüklerde yüzlek veren Yedikir Formasyonu içinde de gözlenen evaporitik minerallerin çözünmesidir. Üçüncü süreç ise silikatlı minerallerin çözünmesidir. Jeotermal sular da evaporitik minerallerin çözünmesinden etkilenmesine karşın bölgedeki yeraltı sularından farklı olarak $\text{Na+K-Cl+SO}_4+\text{HCO}_3$ hidrokimyasal fasiyes grubuna girmektedir.

Jeotermometrik yöntemlere göre çalışma alanında $100\text{ }^\circ\text{C}$ ve biraz üzerinde rezervuar sıcaklıkları beklenmektedir.

Termal sularda su-kaya etkileşim süreci ilerlemiş olup, sularda ^{18}O -zeninleşmesi gözlenmektedir. Bununla birlikte düşük trityum içerikleri nedeniyle termal sular yaşlı ve uzun akifer geçiş süreli sular sınıfındadır.

Merzifon-Suluova çek-ayır havzası Erken Pliyosen'den itibaren KAFZ etkisinde oluşmuş bir çek-ayır havzadır. Bu havza dike yakın kenar fayları ile ani derinleşmiş ve havza içerisi güncel malzeme ile dolmuştur.

Sahanın kavramsal modeline göre havzanın kuzeybatısında ısıtıcı Tavşandağı Granodiyoriti bulunmaktadır. Rezervuarların beslenimi batıdaki İnegöl Dağı ve kuzeybatıdaki Tavşandağı'nın yüksek kotlarından olmakta ve yağışlarla süzülen meteorik sular derin yeraltı suyu dolaşımı sonucunda ısınarak yukarı doğru çıkmaktadırlar. Sondaj kuyularındaki üretim zonlarına göre bölgedeki rezervuar kayaçları ikincil geçirgenlik özelliği kazanmış ofiyolit, volkanit, ile volkanosedimanter kayaçlardan oluşturmaktadır. Kuyularda kesilen 600-700 m kalınlıktaki Neojen çökel ideal bir örtü kayaç niteliği taşımaktadır. Çalışma kapsamında yapılan 2200 m derinlikteki sondajlara göre ortalama gradyanı $0,036\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

KAFZ ülkemizin kuzeyinde boylu boyunca uzanan ve tarih boyunca yıkıcı depremler üretmiş bir faydır. Son yüzyılda 1939 ile 1999 yılları arasında doğudan batıya doğru yüzey kırığı oluşturmuş ve sekiz büyük deprem olmuştur. Bu depremler insan kaybı ve maddi zararlara yol açmıştır (Herece ve Akay, 2003). KAFZ, karada yaklaşık 1.100 km uzunlukta olan ve üzerinde çek-ayır havzaların geliştiği, sadece deprem üreten bir fay değil aynı zaman da jeotermal potansiyel açıdan da değerlendirilmesi gereken bir faydır. Türkiye'de 0-5000 m derinlik aralığında $295\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşan sıcak alanların varlığını Geleneksel Olmayan Jeotermal Sistemler-(UGS) veya geliştirilmiş jeotermal sistem (EGS) yöntemleri (Çiçek, 2020) ile gün yüzüne çıkarılıp ülkemizin enerji ihtiyacına katkıda sağlanabilecektir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi

Başkanlığı bünyesinde yürütülen "Orta Karadeniz Jeotermal Enerji Aramaları (Amasya, Çorum, Tokat)" projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda görev alan Dr. Aydın ÇİÇEK, Alper YOLAL, Adnan GÜVEN, Hayrettin KARZAOĞLU, İsmail ÖZTEL'e; projenin yürütülmesi esnasındaki katkılarından dolayı Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Sondaj Dairesi ve Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlıklarına ve MTA Orta Anadolu I. Bölge (Sivas) Müdürlüğü'ne teşekkürü borç biliriz.

Değinilen Belgeler

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Envanter serisi, 201, 849.
- Altuner, D., Koçyiğit, A., Farinacci, A., Nicosia, U., Conti M. A. 1991. Jurassic-Lower Cretaceous stratigraphy and paleogeographic evolution of southern part of north-western Anatolia. *Geologica Romana* 27, 13-80.
- Arıgün, Z. 2002. Çorum-Mecitözü Doğusu ile Amasya-Doğantepe arasındaki karstik kaynakların ve Beke Kaplıcası'nın hidrojeoloji incelemesi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, 217 (yayımlanmamış).
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H. 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 567-577.
- Back, W. 1960. Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. U.S. Geological Survey Professional Paper, 498-A, 42
- Back, W. 1961. Techniques for mapping hydrochemical facies. U.S. Geological Survey Professional Paper, 424.
- Blumenthal, M. M. 1937. Amasya vilayetine tabi Çeltik'teki linyitli arazinin jeolojik teşekkülü hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No: 157, 7 Ankara (yayımlanmamış).
- Bingöl, E. Akyürek, B. Korkmazer, B. 1973. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, 17-19 Aralık 1973, Ankara, 70-76.
- Birgili, Ş., Yoldaş, R., Ünal, G. 1975. Çankırı-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 5621, 138 (yayımlanmamış).

- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta* 14 (1-3), 3-30.
- Clark, I., Fritz, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publication, Boca Raton, 328.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702-1703.
- Criss, R. E. 2020. Thermal models of the continental lithosphere. *Heat Transport and Energetics of the Earth and Rocky Planets*, Elsevier, 151-174.
- Çapan, U. Z., Floyd, P. A., 1985. Geochemical and petrographic features of metabasalts within units of Ankara melange, Turkey. *Ofioliti* 10, 3-18.
- Çiçek, A., 2020. Elektrik enerjisi amaçlı geleneksel olmayan jeotermal sistemler (UGS), bazı kavramsal tasarımlar ve termodinamik sınıflandırılması. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 163, 219-238.
- D'Amore, F., Panichi, C. 1987. Geochemistry in geothermal exploration. *Applied Geothermics* 9, 69-89.
- Dilaver, A. T., Aydın, B., Özyurt, N. N., Bayarı, C.S. 2018. Türkiye Yağışlarının İzotop İçerikleri (2012-2016), Devlet Su İşleri Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, 44.
- Dirik, K. 1994. Kuzey Anadolu transform fay zonunun Beşpınar-Havza kesimindeki neotektonik özellikleri. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 116, 37-50.
- Ersoy, A. F., Ersoy, H. 2008. Stuyfzand hidrojeokimyasal modelleme sistemi: Gümüşhacıköy (Amasya) Akiferi Örneği. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü*, 61080.
- Erturaç, M. K. 2009. Amasya ve çevresinin morfolotektonik evrimi. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü*, 382, İstanbul (yayımlanmamış).
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal>. Nisan 22, 2021.
- Fournier, R. O., Truesdell, A. H. 1973. An empirical Na-KCa geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 5, 1255-1275.
- Fournier, R. O. 1979. A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Resources Council Transactions* 3, 221-224.
- Genç, Ş., Kurt, Z., Küçümen, Ö., Cevher, F., Saraç, G., Acar, Ş., Bilgi, C., Şenay, M., Poyraz, N. 1991. Merzifon (Amasya) dolayının jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9529, 47 Ankara* (yayımlanmamış).
- Giggenbach, W. F. 1988. Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca geoinicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2749-2765.
- Güleç, N., Hilton D. R., Mutlu, H. 2002. Helium isotope variations in Turkey: Relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities. *Chemical Geology* 187,129-142.
- Gümüşsu, M. 1980. Amasya ili Merzifon-Suluova ilçeleri kömür jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 7063, 51*. (yayımlanmamış).
- Hakyemez, Y., Barkut, M. Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Can, B., Dağar, Z., Sözeri, B. 1986. Yapraklılgaz-Çandır dolayının jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 7966, 281, Ankara* (yayımlanmamış).
- Herece, E., Akay, E. 2003. Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Atlası. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü*, 61, Ankara.
- Karadenizli, L., Saraç, G., Şen, Ş., Seyitoğlu, G., Antonie, O., Kazancı, N., Varol, B., Alçiçek, C., Gül, A., Ertan, H., Esat, K., Özcan, F., Savaşçı, D., Antonie, A., Filoreau, X., Hervet, S., Bouvain, G., De Bonis, L., Hakyemez, Y., 2004. Oligo-Miocene Mammalian biostratigraphy and depositional evolution of the western and southern parts of Çankırı-Çorum basin, Central Anatolia. *Tübitak Project No: 101Y108, Ankara*.
- Koçyiğit, A., Özacar, A. 2003. Extensional Neotectonic Regime through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data. *Turkish Journal of Earth Sciences* 12 (1), 67-90.
- Lucas L. L., Unterweger M. P. 2000. Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of Tritium. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 105, 4, 541-549.
- MTA, 2021. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>. Nisan 22, 2021.
- Mutlu H., Güleç N. 1998, Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia (Turkey). *Journal Volcanology and Geothermal Research*, 85, 495-515.
- Mutlu, H. 2008. Helium-carbon relationships in geothermal fluids of Western Anatolia, Turkey. *Chemical Geology*, 247, 305-321.

- Öziçli, F. M. 2019. Hidrojeokimyasal ve izotopik veriler ışığında Tokat-Niksar çek-ayır havzasındaki suların kökeni ve Kuzey Anadolu Transform Fay sistemi ile ilişkisi. 5. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 16-18 Ekim 2019, İstanbul, 186-211.
- Öziçli, F. M. Güven, A. Öztel, İ. Bakraç, S. 2019. Amasya-Merzifon-Uzunyazı AMO-2015/8 jeotermal sondajı kuyu bitirme raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 13805, 95, Ankara (yayımlanmamış).
- Öziçli, F. M. 2020. Merzifon-Suluova çek-ayır havzası jeotermal özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 250, Kütahya (yayımlanmamış).
- Piper, A. M. 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25, 914-928.
- Sevin, M., Uğuz, M. F. 2013a. 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Çorum G-34 paftası, No: 184. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sevin, M., Uğuz, M. F. 2013b. 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Çorum G-34 paftası, No: 185. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey; plate tectonic approach. Tectonophysics 75, 181-241.
- Truesdell, A. H., Hulston, J. R. 1980. Isotopic evidence of environments of geothermal systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol.1, The Terrestrial Environment, Elsevier, Amsterdam, 179-226.

