



# MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

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



## Amasya-Merzifon-Çobanören (AMÇ-2016/3) jeotermal arama sondaj verilerinin incelenmesi

Fatih Mehmet ÖZİÇLİ\*

<sup>a</sup>Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, 06530, Ankara, Türkiye

Araştırma Makalesi

### Anahtar Kelimeler:

Merzifon-Suluova,  
Çek-Ayır Havza,  
Hidrojeokimya, Çevresel  
İzotoplar, Jeotermal Sondaj.

### ÖZ

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'na bağlı gelişen Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının kuzey kanadında jeotermal sistemin araştırılması amacıyla Amasya Merzifon Çobanören (AMÇ-2016/3) jeotermal sondajı gerçekleştirilmiştir. Kuyu yeri tespiti öncesi yapılan; jeoloji, jeofizik, hidrojeokimyasal veriler ile açılan kuyu sonrasında jeoloji logu, jeofizik logları, kuyu teçhizi, kuyu testleri ve kuyu üretim çalışmaları yapılarak değerlendirilmiştir. Bu veriler ışığında 2.200 metre derinlikte tamamlanan AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında kuyunun artezyen üretimi 2 l/sn ve üretim sıcaklığı 53 °C'dir. Kuyunun kompresör ile üretimi 5,3 l/sn ve üretim sıcaklığı 56 °C'dir. Kuyu test çalışmalarına göre; kuyu içi maksimum statik sıcaklık 87,65 °C, enjeksiyon endeksi 1,4 t/sa/bar, üretim endeksi 4,16 t/sa/bar ve kuyu içi maksimum statik basınç 218,13 bar olarak ölçülmüştür. Kuyuda yapılan asitleme ve üretim çalışmaları sonucunda geçirgenlik yaklaşık 4 kat arttırılmıştır. Üretim seviyeleri 1.150 ve 1.450 m'ler olarak tespit edilmiştir. AMÇ-2016/3 jeotermal kuyusundan üretilen su, çevresel izotop sinyallerine göre derin dolaşıma sahip meteorik kökenli fosil sular ve sodyumlu, sülfatlı, klorürlü, mineralli sıcak su sınıfına girmektedir. Beslenim, sondajın kuzeybatısında bulunan Tavşandağı'nın yaklaşık 1.104 metredeki kotlardan olmaktadır. M05-23 no.lu örnekte yapılan katyon Na-K-Ca jeotermometresine göre rezervuar sıcaklık 92 °C ve sondaj suyuna göre ise rezervuar sıcaklığı 90 °C olarak hesaplanmıştır. Silis ve katyon jeotermometreleri değerlendirildiğinde rezervuar sıcaklığı 100 °C öngörülmektedir.

Gönderim Tarihi: 22.11.2023

Kabul Tarihi: 16.04.2024

### Keywords:

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

### ABSTRACT

Amasya Merzifon Çobanören (AMÇ-2016/3) geothermal drilling was carried out in order to investigate the geothermal system in the northern flank of the Merzifon-Suluova pull-apart basin developed under NAFZ. The geological, geophysical, hydrogeochemical data before the well location was determined and the geology log, geophysics logs, well equipment, well tests and well production studies were carried out after the well drilled. In the light of these data, the artesian production of the well in AMÇ-2016/3 geothermal drilling completed at a depth of 2,200 meters is 2 l/sec. and the production temperature is 53 °C. The production of the well with the compressor is 5.3 l/s. and the production temperature is 56 °C. According to the well test studies, the maximum static temperature in the well was 87.65 °C, the injection index was 1.4 t/h./bar, the production index was 4.16 t/h./bar and the maximum static pressure in the well was 218.13 bar. As a result of the acidification and production studies carried out in the well, the permeability has been increased approximately 4 times. Production levels were determined as 1.150 and 1.450 m. The water produced from the AMÇ-2016/3 geothermal well is classified as deep-circulating fossil waters of meteoric origin and hot water containing sodium, sulfate, chloride and minerals, according to environmental isotope signals. Recharge is from the elevations of approximately 1,104 meters of Tavşandağı, located in the northwest of the drilling. According to the cation geothermometer (Na-K-Ca) made in the sample no. M05-23, the reservoir temperature was calculated as 92 °C and according to the drilling water, the reservoir temperature was calculated as 90 °C. When silica and cation geothermometers are evaluated the reservoir temperature is predicted to be 100 °C.

Received Date: 22.11.2023

Accepted Date: 16.04.2024

Atf Bilgisi: Özçil, F. M. 2024. Amasya-Merzifon-Çobanören (AMÇ-2016/3) jeotermal arama sondaj verilerinin incelenmesi. MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi 5, 25-50.

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

## 1. Giriş

Çalışma alanı, doğrultu atımlı normal bileşenli tektonik rejim altında bulunan KAFZ' na bağlı gelişen Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının kuzey kanadında bulunmaktadır (Şekil 1). Merzifon-Suluova çek-ayır havzası sağa ötelenirken, normal bileşeni ile havzayı derinleştirerek çökel derinliğini arttırmaktadır (Şekil 1a). KAFZ'nun transform fay olma niteliğinden dolayı mantoya kadar uzanması jeotermal gradyan açısından önemli hale gelmiştir. 2.200 metre derinliğindeki AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının kuzey kanadını denetlemek için açılmıştır (Şekil 1b).

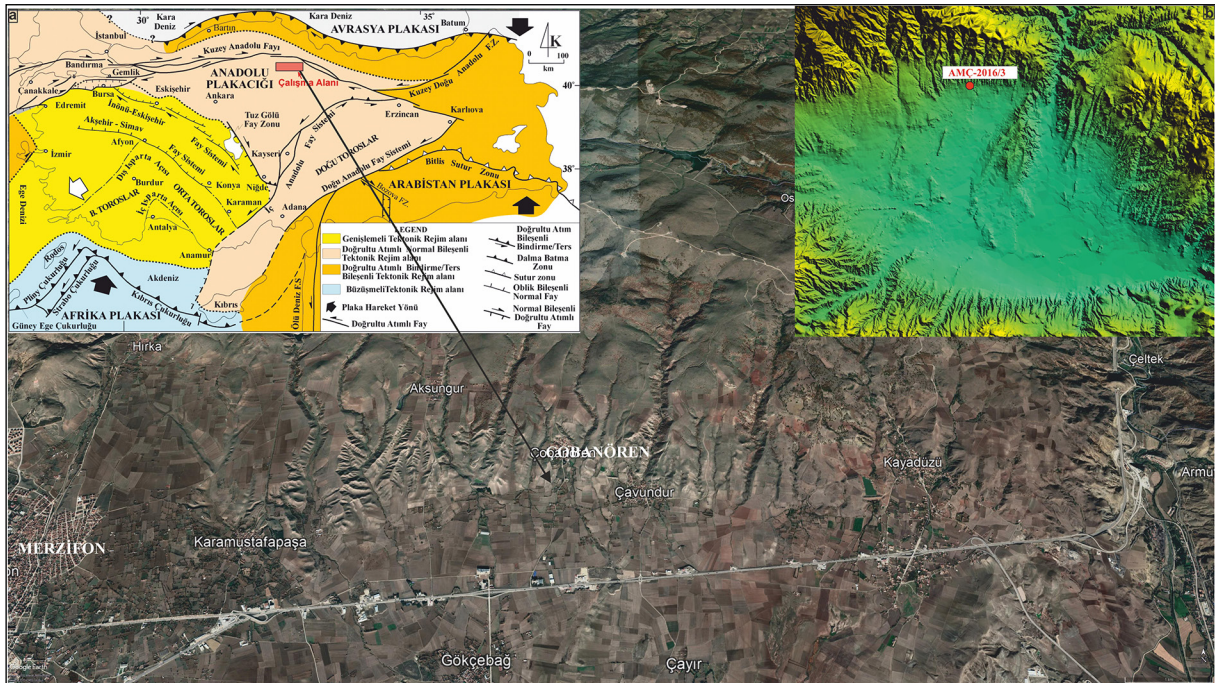
Ülkemizin bulunduğu aktif tektonik konum itibari ile jeotermal enerji kaynakları bakımından dünyada önemli bir konumda bulunmaktadır. Batı Anadolu'daki tektonik gerilme rejimiyle oluşan horst-graben sistemlerindeki yüksek sıcaklıklı jeotermal elektrik üretim sahaları, Doğu Anadolu'da ise aktif volkanizmaya ve magmatizmaya bağlı gelişen jeotermal alanlar ülkemizi jeotermal açıdan dünyanın 4. ülkesi konumuna taşımıştır.

Ülkemizi kuzeyinden doğu-batı yönünde kateden, neotektonik dönemin başlamasıyla birlikte hareketine

başlayan sağ yanal yönlü KAFZ boyunca gelişen çek-ayır havzalarında (Şekil 2), MTA tarafından önceki yıllarda açılan kuyulardan; Çankırı Atkaracalar 3.068 m 121 °C (Sarp ve Bakraç, 2019), Bolu Seben'de 2.200 m 95 °C kuyu taban sıcaklıkları elde edilmiştir. Akkuş vd. (2005) tarafından hazırlanan, "Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri" adlı envanterinde Merzifon ilçesinin çevresinde bulunan jeotermal kaynaklardan, sondajlara ait suların kimyasal analizlerinden, suların tiplerinden ve sondaj logları hakkında bilgi vermektedir.

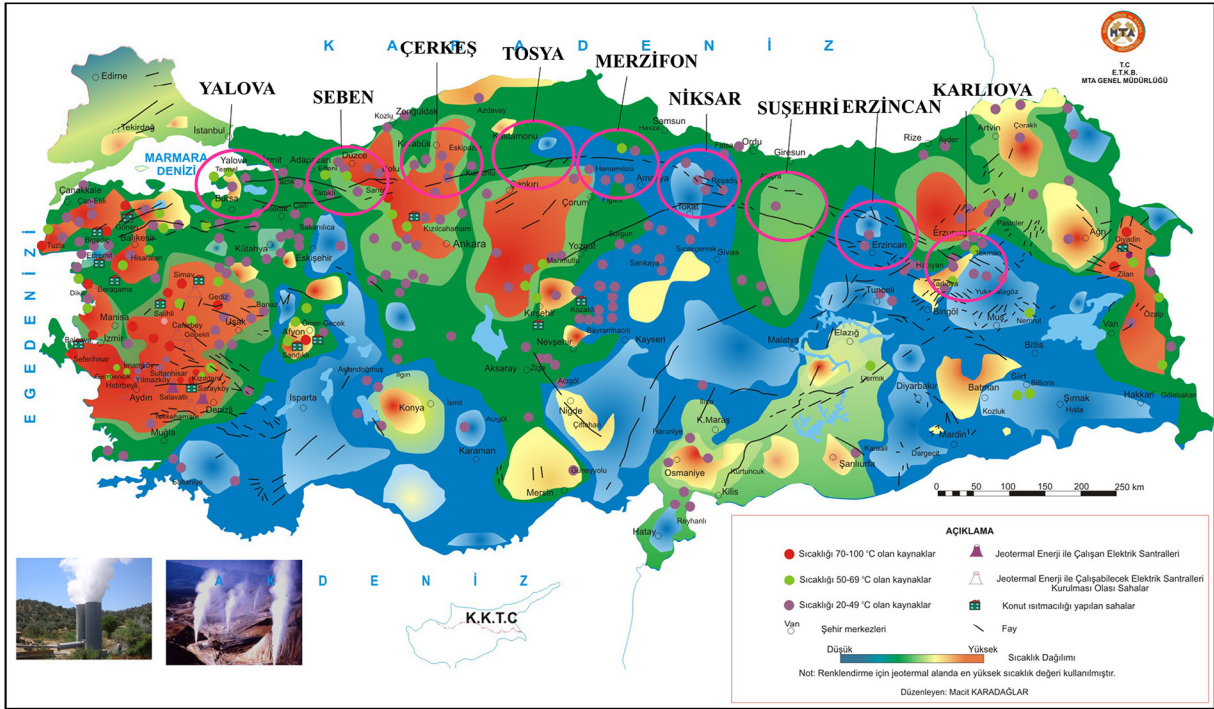
Bu sıcaklıklara göre jeotermal gradyan 0.03 °C/m hesaplanmış ve kıta alanlar için hesaplanan ortalama jeotermal gradyan (0.025 °C/m; Criss, 2020) değerinden daha yüksektir.

Bu açıdan, Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının kuzey kenarını denetlemek için AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı yapılmıştır. Sondajın yerinin belirlenmesinde kullanılan Düşey Elektrik Sondaj jeofizik yöntemi ve Doğal Potansiyel (SP) yöntemi kullanılarak görünür ve yapı kesitleri ile seviye haritaları değerlendirilmiştir. Sondajdan; litoloji, sondaj parametreleri, sondaj üretim ve kuyu geliştirme testleri ile hidrojeokimya ve izotop analizleri birlikte değerlendirilerek elde edilen



Şekil 1- Çalışma alanı yer bulduru haritası. a) Merzifon-Suluova çek-ayır havzası neotektonik rejimi (Koçyiğit ve Özacar, 2003) ve b) AMÇ-2016/3 jeotermal sondaj konumu.





Şekil 2- MTA Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası.

akışkanın; rezervuar derinliği, rezervuar sıcaklığı tahmini, su-kayaç etkileşimi süreçleri hakkında bilgiler elde edilmiştir.

## 2. Bölgesel Jeoloji ve Tektonik

AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı, KAFZ'na bağlı gelişen Merzifon-Suluova çek-ayır havzasının güneyinde, İzmir-Ankara-Erzincan Zonu (İAEZ) ve Sakarya Zonu kayaçlarının tektonik ilişkiyle bir araya geldiği alanda yer almaktadır. Bu birimleri örtü kayaçları örtmektedir. Stratigrafik olarak; tabanda yerleşim yaşı Üst Kretase olan ofiyolitler ve bunların üzerine tektonik dokanakla bindiren Sakarya kıtasına ait Paleozoyik yaşlı yeşil şist fasiyesinde oluşan Tokat Metamorfitleri gelmektedir. Bunların üzerine uyumsuz olarak sırasıyla; Gelinsini (Erken-Geç Permiyen), Karakaya Formasyonu (Geç Triyas) (Bingöl vd., 1973), Soğukçam Formasyonu (Kalloviyen-Apsiyen) (Altınır vd., 1991) ve Çalarasın Formasyonu (Geç Santoniyen-Maastrichtiyen) gelir. Bunların yanı sıra, Kretase boyunca güneydeki okyanusal litosfer tüketilerek, melanj ve yığışım prizması oluşmuştur (Hakyemez vd., 1986).

Senozoyik öncesi bu birimlerin üzerine, Lütésiyen yaşlı Çeltek, Armutlu, Bayat ve Osmanoğlu

formasyonları gelmektedir. Osmanoğlu Formasyonu üzerine, Eosen yaşlı Peynirçayı Volkanitleri, Lütésiyen sonrasında ise porfirik dokulu Tavşandağı granodiyoritli bütün birimleri keserek çıkar. Bunların üzerine Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yedikir Formasyonu uyumsuz olarak gelir. Bunların üzerine, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Değim ile Kuvaterner yaşlı alüvyon örtmektedir (Genç vd., 1991, Sevin ve Uğuz, 2013a, b) (Şekil 3).

KAFZ ülkemizin kuzeyinde uzanan ve son yüzyılda doğudan batıya doğru yüzey kırığı boyunca sekiz büyük deprem oluşturmuş ve insan kaybı ve maddi zarara yol açmıştır (Herece ve Akay, 2003). KAFZ'nun sağ yanal doğrultu atımı ve sıkışmalı-genişlemeli yapısal unsurları gelişimi Merzifon-Suluova çek ayır havzasını oluşturmuştur (Dirik, 1994). Merzifon-Suluova havzası, Geç Miyosen-Erken Pliyosen'den başlayıp Erken-Orta Pleyistosen'e kadar süren açılma ve depolanma havza rejimi ile Erken-Orta Pleyistosen döneminden günümüze sağ yanal doğrultu atımlı rejimi altında kalmıştır (Erturaç, 2009). Koçyiğit ve Özacar, (2003)'a göre çalışma alanı, doğrultu atım ve normal bileşenli tektonik rejimi içinde yer alarak havzanın kuzey kanadını, sağ yanal eğim atımlı Merzifon Fay Zonu, güney kanatta ise Sarıbuğday,

ÜST SİSTEM		KUVATERNER SİSTEM		SERİ		KAT		FORMASYON		ÜYE		YİMGE		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																	
SENOZOYİK	PALEOSEN	EÖSEN	LÜTESİYEN	Armutlu	Çeltek	Tea	Teb	Teo	Tep	Tetg	Tavsanadağı Granodiyorit	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Alüvyon (Qal); tutturulmamış blok, çakıl, kum, silt, çamur. Alüvyon yelpazesi(Qay); tutturulmamış, kötü boylanmalı çakıl, kum. Yamaç Molozu(Qym); tutturulmamış tane destekli, çakıl ve blok.																
																	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Değim	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Gevşek tutturulmuş çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı.	
																																NEOJEN
		KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																							
										MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo		Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Porfirik dokulu granodiyorit.								
																									NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb
	KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																								
									MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Çamurtaşı, kumtaşı, üst kısımları kırık çatlaklı, fosilli kireçtaşı.										
																							NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg
	KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																								
									MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn, kireçtaşı. Alt seviyeleri bitümlü şeyl ara seviyeli.										
																							NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg
KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																									
								MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Kumtaşı, silttaşı, çakıltaşı, mikritik kireçtaşı, volkanit, çamurtaşı ve kireçtaşı olistolitleri.											
																						NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep
KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																									
								MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Arkozik kumtaşı, çamurtaşı, çakıltaşı, volkanit, kumlu kireçtaşı, Karbonifer ve Permiyen yaşlı olistolitler.											
																						NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep
KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																									
								MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Karlık Üyesi; masif, kırıklı, çatlaklı kristalize kireçtaşı ve resifal kireçtaşları.											
																						NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep
KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																									
								MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal	Mermer Üyesi; beyaz, beyazımsı gri renkli kalkşist ara seviyeli iri kristalli mermer, kalkşist.											
																						NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep
KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																									
								MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep	Tmply	PQd	Qym Qay Qal												
																						NEOJEN	MİYÖSEN	PLİYÖSEN	Yedikir	Tetg	Tep	Teo	Teb	Tea	Tetg	Tep
KUVATERNER SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	YİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																									

Şekil 3- Çalışma alanı ve çevresinin dikme kesiti (Özçi, 2020).



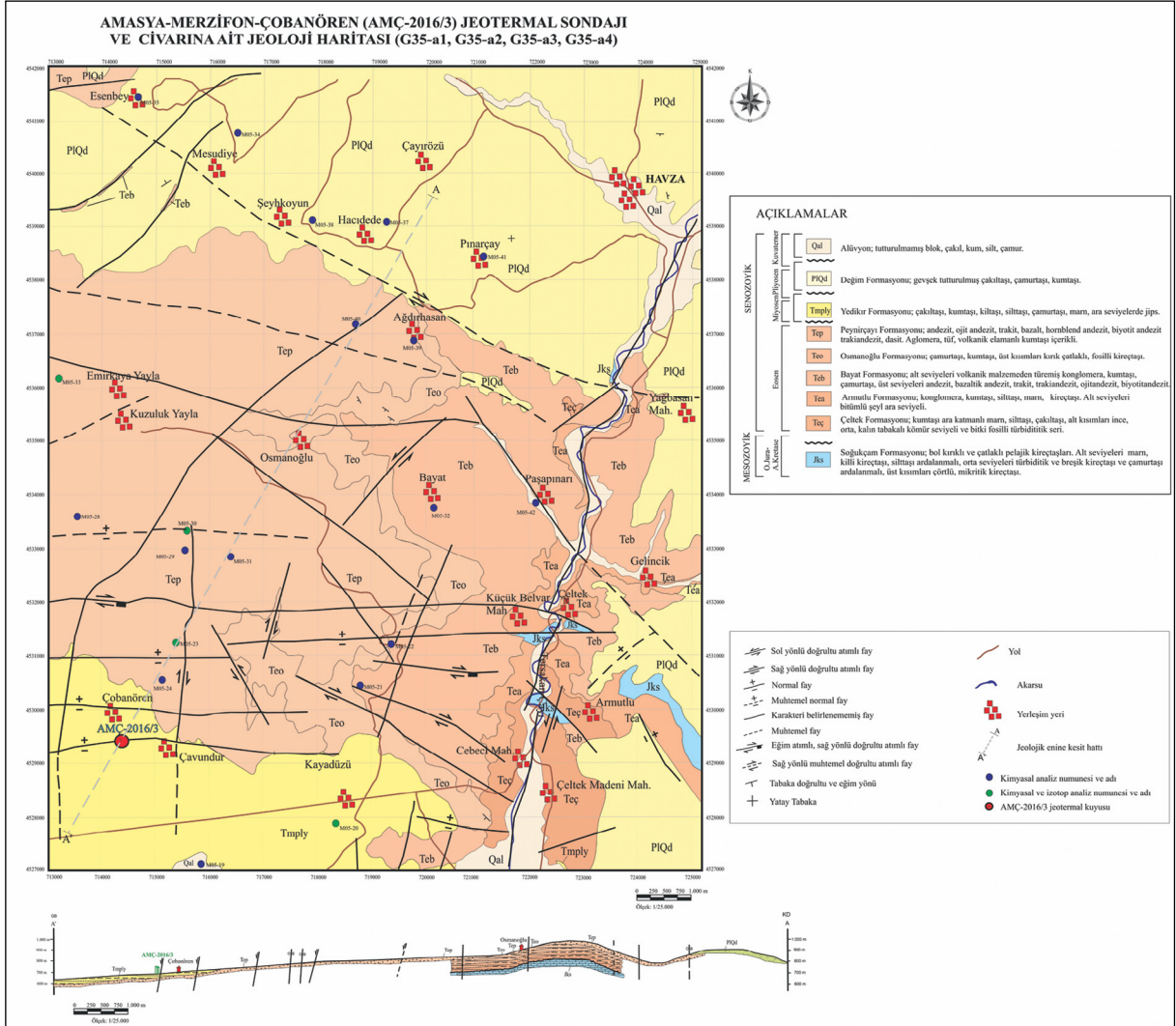
Eraslan ve Büyükçay sağ yanal eğim atımlı fayları oluşturmaktadır. Sahanın, doğusunda Suluova normal fayı ile havzanın ortasından geçen Uzunyazı ve Çetmi sağ yanal eğim atımlı fayları yer almaktadır. Bu faylar havzayı sağa doğru ötelirken derinleştirir (Rojay ve Koçyiğit, 2012). Havzada, D-B, KB-GD, KD-GB, KKD-GGB, DKD-BGB, BKB-DGD ve KKB-GGD olarak yedi ana fay grubu bulunmaktadır. Bu faylardan bazıları neotektonik dönem öncesinde çalışmış fakat tektonik rejimin değişmesi sonucu karakter değiştirmişlerdir. Çobanören jeotermal sondajı, Merzifon Fay Zonu önündeki depolanmalı havza içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında yüzeyleyen en yaşlı birimler Jura yaşlı kireçtaşlarıdır. Jeotermal rezervuar olma özelliğine sahiptir. Jeotermal

örtü niteliğinde olan Eosen, Miyosen, Pliyosen yaşlı kırıntılı ve volkanitlerden oluşan birimler alanda geniş alan kaplar (Şekil 4).

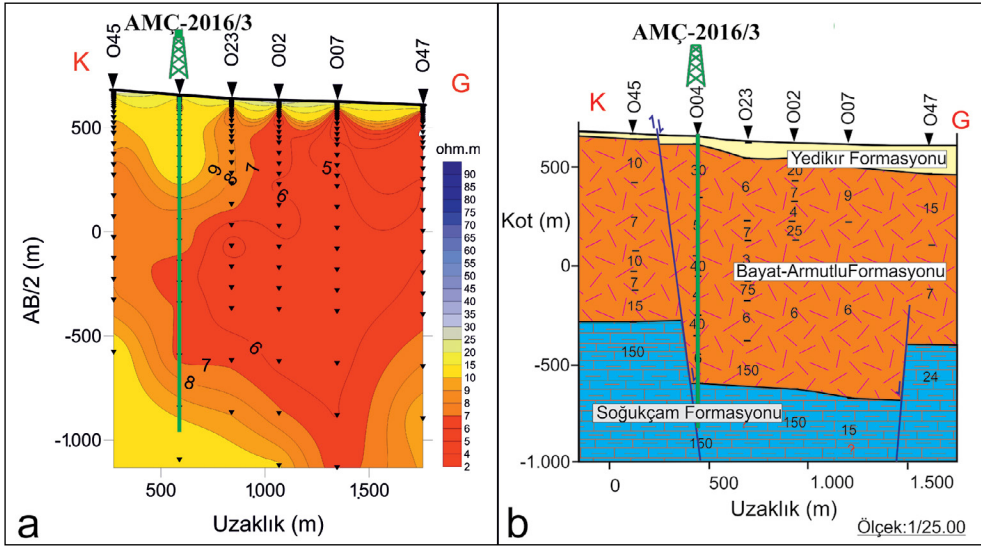
### 3. Jeofizik, Sondaj, Hidrojeokimya ve İzotop Çalışmaları

#### 3.1. Jeofizik Çalışmaları

Kuzey-güney doğrultusu boyunca, kuzeyde O45 düşey elektrik sondajı (DES) noktası, güneyde O47 DES noktaları arasında yaklaşık 2.000 metre uzunluğundaki profil, 6 adet DES noktasından oluşmaktadır (Şekil 5a). Bu profile ait görünür eş öz direnç kesitindeki düşük rezistiviteye sahip alanları, muhtemel tektonik hatları gösteren görünür yapı kesiti



Şekil 4- Çalışma alanının jeoloji haritası.

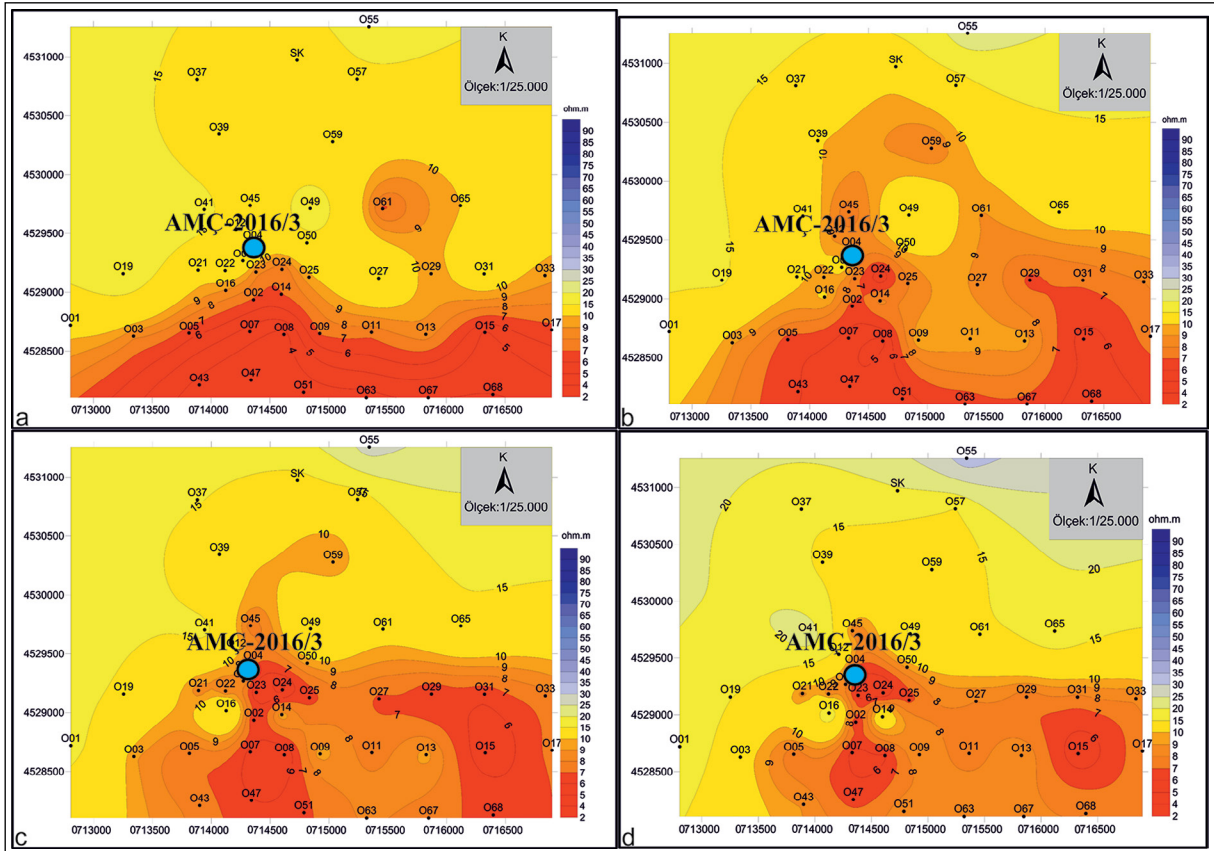


Şekil 5- Kuzey-güney profiline ait a) görünür eş özdirenç kesiti ve b) jeoelektrik yapı kesiti (Öziçli vd., 2018).

ile jeotermal sondajın yeri ve kesebileceği muhtemel birimlerin kesiti ile sondajın keseceği muhtemel tektonik hatlar verilmiştir (Şekil 5a, 5b).

Sahanın taban topoğrafya haritası, DES noktalarının kot değeri ile jeoelektrik temel giriş

derinliği arasındaki farkla oluşturulmuştur (Şekil 6). Taban topoğrafya haritası, tektonik hatları gösterirken, rezervuara giriş derinliği ile ilgili bilgi vermektedir. 250 metre görünür eş özdirenç seviye haritası yüzeysel veri içermekte olup, D-B yönünde tektonik



Şekil 6- a) 250, b) 500, c) 750 ve d) 1.000 m görünür eş özdirenç seviye haritaları (Öziçli vd., 2018).



hattı ortaya koymaktadır (Şekil 6a). Derin yapıları ortaya koymak için 500-750-1.000 m özdirenç seviye haritalarında ise kuzey-güney doğrultulu tektonik hat ve bu hattın termal akışkanla bağlantılı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 6b, 6c, 6d). Buna göre O08-O09 DES noktaları arasında yükselim O23, O07 DES noktaları ise fayın düşen bloğundaki jeotermal akışkanın hareketine bağlı bir özdirenç düşümünü göstermektedir (Şekil 6c, 6d). Profilde, O04 DES noktası, taban topografya haritasında görüleceği üzere yaklaşık kuzeydoğu-güneybatı faylar ile doğu-batı doğrultulu Merzifon Fay Zonu'nun kesim noktasında bulunmaktadır. Bu noktaya ait DES eğrisine göre yaklaşık 1.250 metre civarında temel giriş derinliği düşünülmektedir (Şekil 7a). Sahada Çobanören yolu üzerinde bulunan Y: 45 29424 hattı boyunca D-B doğrultulu, 25 metre aralıklarla, O04 noktasından geçen 650 metre uzunluğunda doğal potansiyel (SP) çalışması yapılmış ve buna göre X: 714866 boylamında maksimum etki alınmıştır (Şekil 7b).

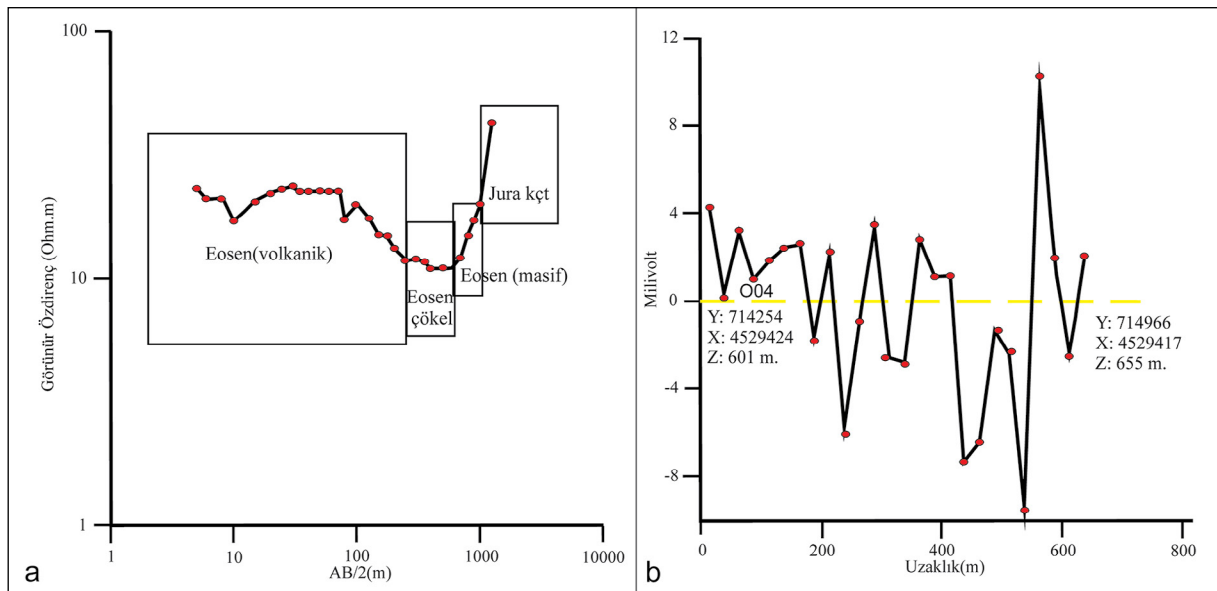
Jeotermal sondajdan geçen, batıda O19 DES noktasından başlatılarak doğuda O33 DES noktasında sonlandırılan yaklaşık 4.000 metre uzunluğundaki doğu-batı profili 10 adet DES noktasından oluşmaktadır (Şekil 8). Profilde O23-O25 DES noktaları arasında izlenen tektonik hat boyunca, görünür eş özdirenç değerleri 5 ohm.m'ye kadar düşmüştür ve O23 DES noktasında ise termal etki izlenmektedir (Şekil 8a).

Temel birimlere giriş derinliği ve muhtemel tektonik hatlar Şekil 8b'de jeoelektrik yapı kesitinde verilmiştir.

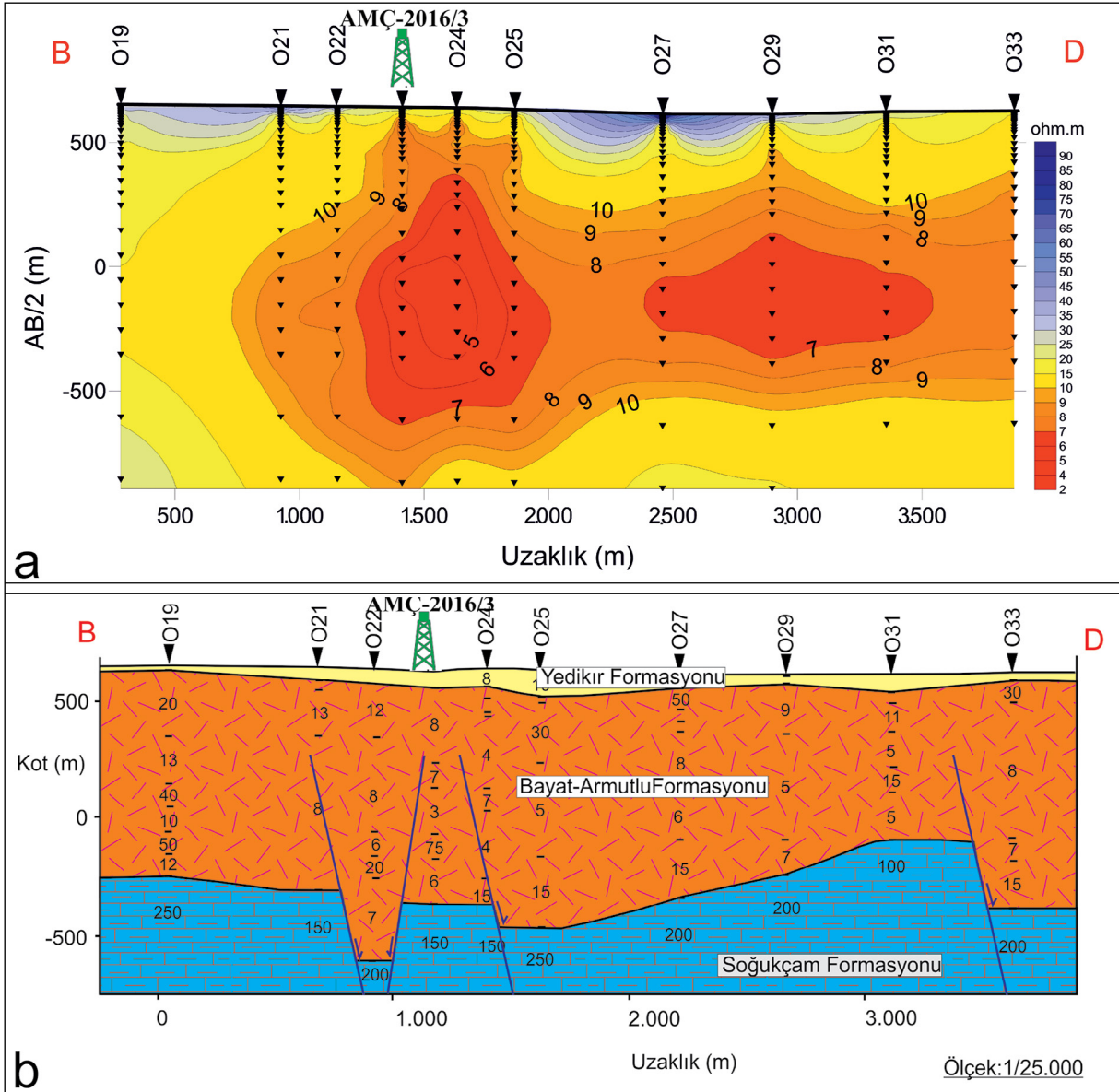
O23 DES noktası ile O04 DES noktası arasında temel giriş derinliği  $1.000 \pm 250$  m olan bir adet jeotermal sondaj yapılmıştır.

### 3.2. Sondaj Çalışmaları

AMÇ-2016/3 jeotermal arama sondajı Merzifon ilçe merkezinin 5,5 km doğusunda, Çobanören köyünün hemen güneyinde yer almakta olup, kuyu takibi ve kuyu içi jeofizik log ölçü verilerine göre 2.200 metre derinlikte tamamlanmıştır (Şekil 1, Şekil 4 ve Çizelge 1). Kuyu logu Şekil 9'da verilmiştir. AMÇ-2016/3 kuyusunda kesilen litolojiler tanımlanmıştır. Toprak örtü (0-2 m): Krem renkli toprak örtü. Yedikir Formasyonu (2-60 m): Kirlili beyaz, krem, bej renkli marn, kumtaşı, konglomera, kıltaşı, silttaşı, çamurtaşı ardalması ve ara seviyelerde jipslerden oluşmaktadır. Peynırçayı Volkanitleri (60-320 m): Andezit, bazaltik andezit, piroklastiklerden (ignimbirit, tüf, tüfit, volkanik parçalar yaygın) oluşmaktadır. Osmanoğlu Formasyonu (320-542 m): Bordo-şarabi renkli çamurtaşı, çakıltaşı, kumtaşı (volkanitlerden türemiş), kıltaşı ve yeşilimsi gri renkli killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bayat Formasyonu (542-800 m): Gri, koyu gri, kahverenkli bazalt, ojitli, biyotitli andezit. Birimin bazı seviyeleri volkanik malzemeden



Şekil 7- a) AMÇ-2016/3 sondaj noktası DES eğrisi ve b) AMÇ-2016/3 sondaj noktasından geçen SP ölçüsü grafiği (Öziçli vd., 2018).



Şekil 8- Doğu-batı profiline ait a) görünür eş öz direnç kesiti ve b) jeoelektrik yapı kesiti (Öziçli vd., 2018).

türemiş çakıltası, kumtaşından oluşmaktadır. Çeltek Formasyonu (800-1.060 m): Ardalanmalı grimsi, yeşil renkli, piritli kumtaşı, polijenik çakıltası (çoğunlukla metamorfik çakıllardan türemiş), kiltası, kireçtaşı. Ara ara konglomeratik seviyeli, az bitümlü seviyeler mevcuttur. Çalarasın Formasyonu (1.060-1.520 m): Yeşil gri renkli kloritleşmiş andezit ve bazalt. Üst seviyeleri kireçtaşlarından oluşmaktadır. Alt seviyelerde tuf, kiltası, aglomera, volkanit (andezit, bazalt), kireçtaşı kesilmiştir. 1.089,00-1.093,53 metreler arasında karotta, taban seviyeleri fosilli, mikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır (Şekil 10a). Ofiyolit (1.520-2.200 m): Genellikle yeşil, koyu gri

renkli afanitik dokulu, makaslama, bol çatlak ve kırıklı, çatlaklar kalsit dolgulu ultrabazikler (peridotit, dünit, harzburjit) ile az miktarda çamurtaşı ve bloku, bej renkli mermerlerden oluşmaktadır.

Sondajda 2.198,00-2.200,00 metreler arası karot alınmış olup karot örneği; makroskobik olarak koyu yeşil, gri renkli, masif, ince taneli, mikroskobik olarak vitroklastik dokulu, kuvars, feldispat ana bileşenli, altere kayaç parçaları, volkan camı ve pomza izlerinin bulunduğu ve kayacı verev kesen dolgu malzemesi karbonat grubu mineraller, kuvars, klorit grubu minerallerden oluşan ve orta derece altere killeşme,



Çizelge 1 - AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ait bazı özet bilgiler.

Kuyu Adı	AMÇ-2016/3			
Kuyu Yeri	Amasya-Merzifon-Çobanören			
Kule Tipi	MR-6000/2			
Koordinatlar ve pafta	X (yukarı)	: 4529383	Çorum G35-a1	
	Y (sağa)	: 714365		
	Z (kot)	: 651,00 m		
Kuyu Derinliği	2.200,00			
Kuyu Çapı ve Teçhiz Durumu	Derinlik (m)	Kuyu Çap	Boru Çap	Teçhiz Tipi
	00,00-505,00	17 <sup>1/2"</sup>	-	İlerleme
	00,00-500,36	-	13 <sup>3/8"</sup>	Casing boru
	505,00-1.093,50	12 <sup>1/4"</sup>	-	İlerleme
	00,00-1.085,78	-	9 <sup>5/8"</sup>	Casing boru
	1093,50-2198	8 <sup>1/2"</sup>	-	İlerleme
	2198 -2200	6 <sup>1/8"</sup>	-	Karotlu ilerleme
	2198 -2200	8 <sup>1/2"</sup>	-	Tarama
	1062,75-2200		6 <sup>5/8"</sup>	Liner filtreli ve kapalı casing
	1062,75-1085,32	-	"	kapalı casing (6 mm) K-55
	1085,32-1357,94	-	"	filtreli casing "
	1357,94-1402,69	-	"	kapalı casing "
	1402,69-2187,64	-	"	filtreli casing "
	2187,64-2200	-	"	kapalı casing "
Kuyu üretim verileri	Artezyen debisi	= 2,0 l/sn.		
	Kompresörle debisi	= 5,3 l/sn.		
	Artezyen sıcaklığı	= 53,0 °C		
	Kompresörlü sıcaklığı	= 56,0 °C		
	Kuyu içi maksimum sıcaklık (2.189 m)	= 87,65 °C		
	Maksimum basınç (2.189 m)	= 218,13 bar		
	Enjeksiyon endeksi	= 1,40 t/sa./bar		
	Üretim endeksi	= 4,16 t/sa./bar		

karbonatlaşma ve kloritleşme içeren altere piroklastik kayaç olarak tanımlanmıştır (Güven ve Kavukçu, 2017 rapor no: MAT-16005250/R-1, tanımlama ve analizler) (Şekil 10b).

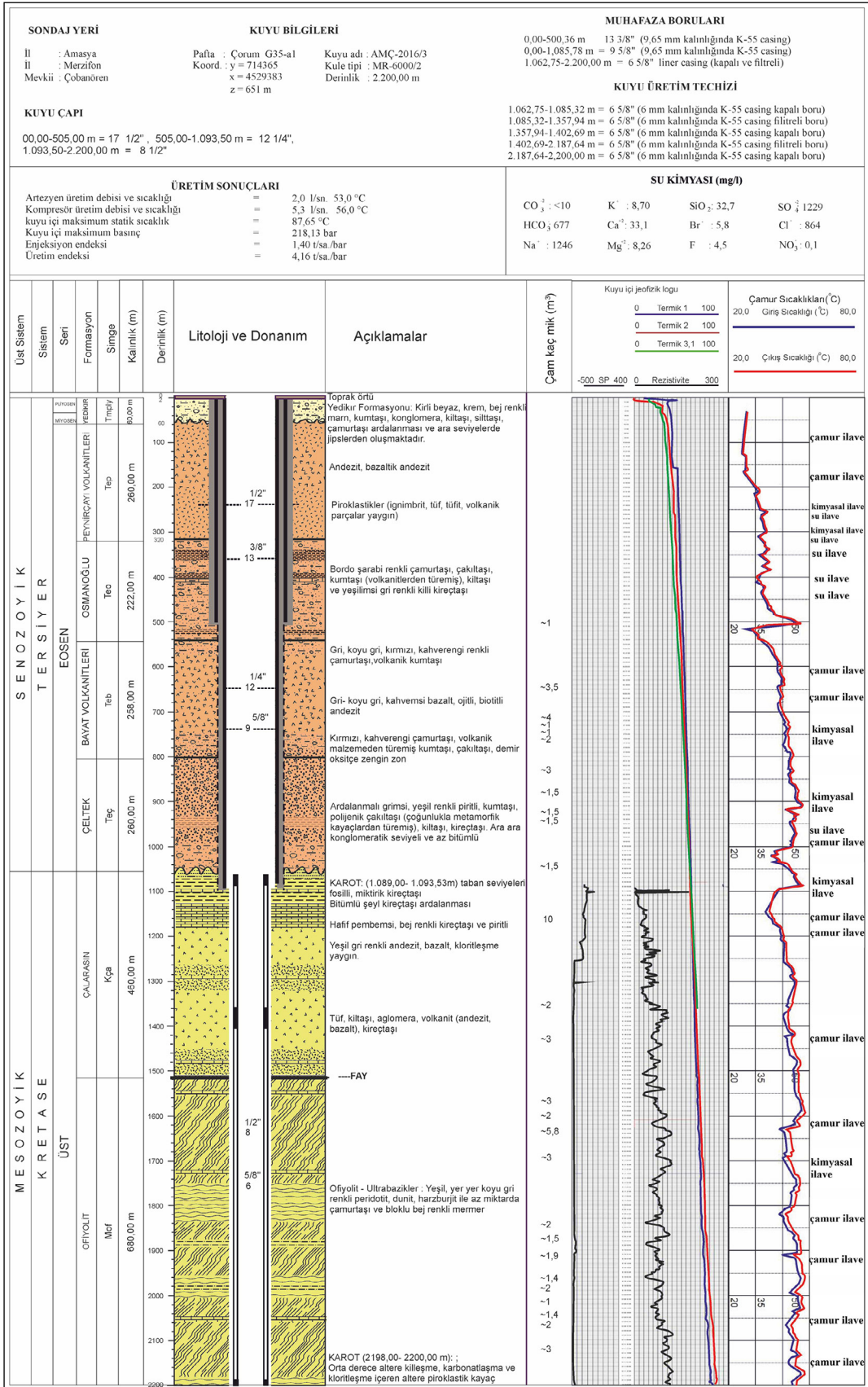
### 3.2.1. AMÇ-2016/3 Jeotermal Sondajı Çamur Özellikleri (Çamur giriş çıkış sıcaklıkları, çamur kaçakları)

AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında ilerleme esnasında sıcaklık artışını gözlemek ve olası rezervuar zonlarını belirlemek amacıyla çamur giriş-çıkış sıcaklıkları ölçülmüş, en yüksek sıcaklık 2.176,00 m'de 53,7 °C olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2).

AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında ilerleme sırasında 630-2.114 metreler arası toplam 76,2 m<sup>3</sup> kısmi çamur kaçağı ölçülmüştür (Şekil 11).

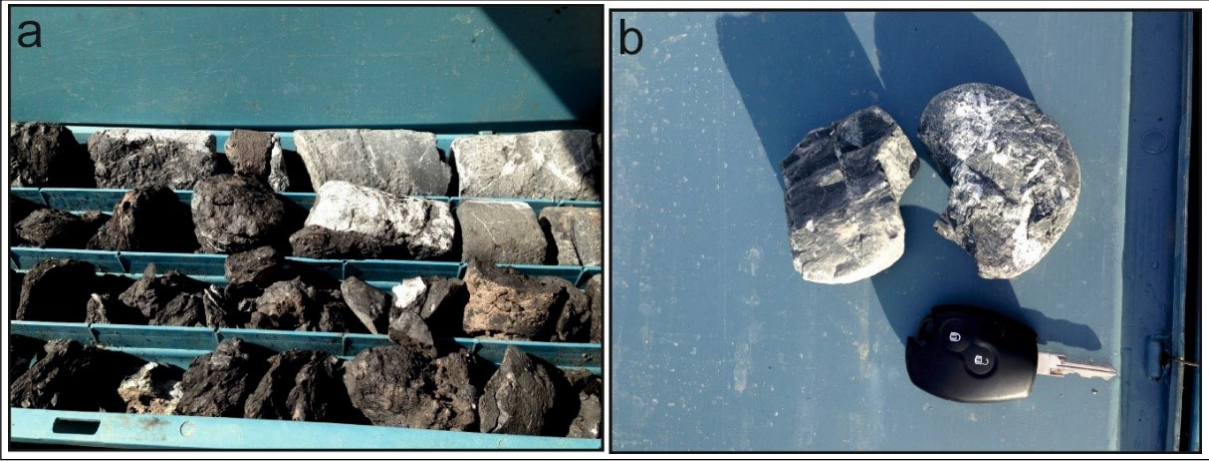
### 3.2.2. AMÇ-2016/3 Jeotermal Sondajı Kuyu İçi Jeofizik Log Ölçümleri

AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında kuyu taban derinliği 2.200 m iken kuyu içi jeofizik log ölçüsü alınmıştır. AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında jeotermal anlamda değerlendirme ve teçhiz planı yapılması için iki kez termik (termik-1, termik-2) ve elektrik log ölçüleri alınmıştır. Sirkülasyonun kesilmesinden 8,5 saat sonra alınan statik su seviyesi termik-1'de 2 metre ve en yüksek sıcaklık 82,46 °C (2.200 m'de) olarak ölçülmüştür. Sirkülasyonun kesilmesinden 37,5 saat sonra alınan termik-2'de ise statik su seviyesi 8 m ölçülmüştür. 2.195 m'de beklemesiz sıcaklık 87,38 °C, 5 dakika bekleme ile 87,05 °C, 10 dakika 87,39 °C ve 15 dakika 87,62 °C ölçülmüştür (Şekil 12).



Şekil 9- AMÇ-2016/3 jeotermal sondaj kuyu logu (Özçilgi vd., 2019).

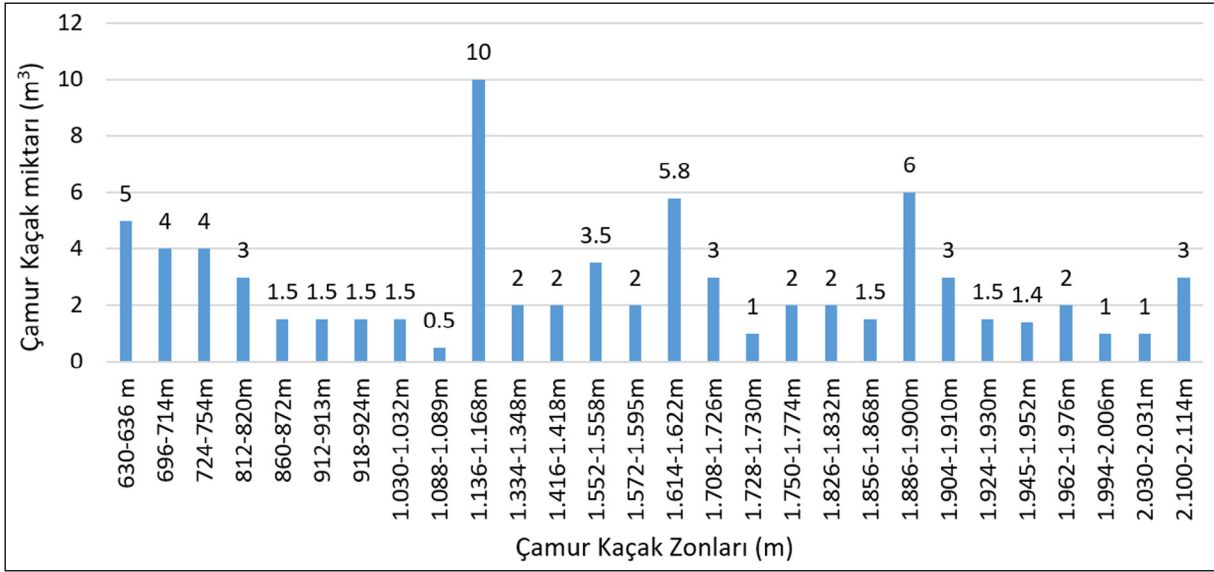




Şekil 10- a) AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında 1.089,00-1.093,53 metreler arasında alınan karot örneği ve b) 2.198,00-2.200,00 metreler arasında alınan karot örneğine ait bazı parçalar.

Çizelge 2- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı çamuru giriş ve çıkış sıcaklıkları.

Derinlik (m)	Giriş (°C)	Çıkış (°C)	Derinlik (m)	Giriş (°C)	Çıkış (°C)	Derinlik (m)	Giriş (°C)	Çıkış (°C)	Derinlik (m)	Giriş (°C)	Çıkış (°C)
0	7,7	8,0	558	38,2	39,7	1.080	50,0	50,6	1.674	45,6	48,2
32	28,1	28,3	580	40,5	41,5	1.094	42,2	43,0	1700	45,0	47,4
46	28,1	28,2	600	41,9	43,7	1.146	36,3	38,0	1.730	48,0	49,1
102	26,3	26,7	620	43,1	43,5	1.160	38,5	39,9	1.744	49,8	51,3
112	26,2	26,5	640	44,1	44,8	1.180	42,7	43,3	1.760	48,6	50,9
132	27,4	27,7	660	42,6	43,8	1.200	43,3	44,4	1.802	47,2	49,2
152	27,5	27,7	682	42,0	42,8	1.218	44,8	45,5	1.820	42,2	45,2
168	26,9	27	714	44,1	45,3	1.258	44,2	45,6	1.854	46,4	48,3
200	32,4	32,6	720	44,4	45,9	1.280	48,0	48,9	1.860	48,0	49,3
222	31,9	32,2	740	46,1	46,7	1.300	49,2	49,7	1.880	49,8	51,6
248	33,7	34,2	770	44,7	46,4	1.340	46,9	48,4	1.904	50,4	52,2
260	34,8	35,2	780	45,5	47,2	1.360	45,3	47,0	1.920	49,4	51,4
284	35,2	35,7	800	47,2	48,3	1.380	44,6	46,3	1.952	50,8	52,8
300	36,9	37,4	820	46,6	47,7	1.408	45,9	47,2	1.962	52,1	53,9
320	35,4	35,6	840	46,5	47,7	1.420	48,2	49,5	1.976	50,8	52,9
340	37,1	38,2	860	47,0	48,2	1.434	45,8	47,8	2.000	49,5	52,0
362	36,0	36,7	880	49,9	50,4	1.466	47,2	49,7	2.020	50,4	52,5
380	36,7	37,2	900	49,7	50,7	1.480	50,2	51,4	2.040	49,1	50,5
400	32,3	33,3	920	46,7	46,9	1.498	48,6	50,4	2066	45,2	47,3
420	35,6	36,3	940	48,6	49,6	1.514	49,5	51,0	2.080	46,5	48,4
440	35,1	35,8	960	48,3	49,3	1.546	49,2	50,9	2.198	49,0	50,6
460	37,3	37,9	980	48,3	49,4	1.560	50,7	52,0	2.122	47,5	49,9
480	39,8	40,1	1.000	47,9	48,8	1.580	52,0	53,2	2.140	47,8	50,0
500	48,3	49,5	1.020	39,5	40,2	1.610	48,9	50,3	2.158	47,4	49,7
520	30,9	31,7	1.040	43,9	46,1	1.620	49,7	51,2	2.176	52,0	53,7
540	34,1	35,9	1.060	48,6	49,7	1.636	44,8	47,2	2.194	48,4	50,3



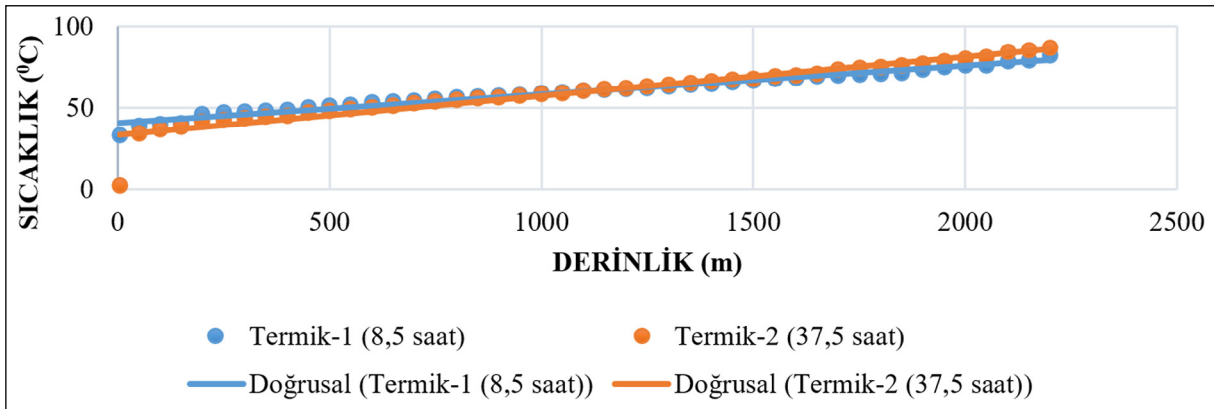
Şekil 11- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı kısmi çamur kaçak zon ve miktarları.

### 3.2.3. AMÇ-2016/3 Sondajı Üretim, Kuyu Geliştirme ve Test Çalışmaları

AMÇ-2016/3 sondajı teçhiz edildikten sonra artezyenik üretime geçmiş ve 13 saat üretim yapılarak 1,8 l/sn. debi ve 46 °C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir. Kompresörlü üretimde ise 56 °C ve 2 l/sn. olarak ölçülmüştür. AMÇ-2016/3 sondajında 2.189 metrede 87,65 °C statik sıcaklık, 2.189 metrede 218,13 bar statik basınç ölçülmüş ve rezervuar seviyeleri 1.100-1.200 ile 1.550-1.575 metreler arası olarak tespit edilmiştir. Water loss ve warm up ölçülerine göre de 1.150 ve 1.450 seviyeleri geçirgenliklerin yüksek olduğu kaydedilmiştir (Şekil 13, Çizelge 3).

AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında kuyuya asit basılarak formasyona enjeksiyon gerçekleştirilmiştir. Asitleme sonrası üretim çalışmalarına ait bir fotoğraf Şekil 13' te verilmiştir. Kuyuya su basma işleminde enjektivite endeksinin asitleme sonrası dört kat arttığı gözlenmiştir. AMÇ-2016/3 sondajında elde edilen verilere göre dinamik sıcaklık 2.150 metrede 87,14 °C, üretim yapılan 1.450 metrede ise 70,94 °C, produktivite endeksi  $PI = 4,16$  t/sa./bar olarak hesaplanmıştır.

Asitleme öncesi ve sonrasında water loss testleri karşılaştırıldığında geçirgenliğin yaklaşık dört kat arttığı görülmüştür (Şekil 14a, 14b, Çizelge 4).



Şekil 12- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı kuyu içi jeofizik log termik-1, termik-2 ölçüleri grafiği.



Şekil 13- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı asitleme sonrası üretim çalışmaları.

Kuyuda enjektivite endeksi 0,36 t/sa./bar değerinden 1,45 t/sa./bar değerine yükselmiştir. Kuyuda üretim seviyeleri (1.150 m ve 1.450 m) değişmemiştir (Şekil 14c). Asitleme öncesi akışkanın EC'si 5.109  $\mu\text{S/cm}$ , tuzluluğu 1,79 ppt, TDS değeri 2.374 mg/l ve pH ise 7,13 olarak ölçülmüştür.

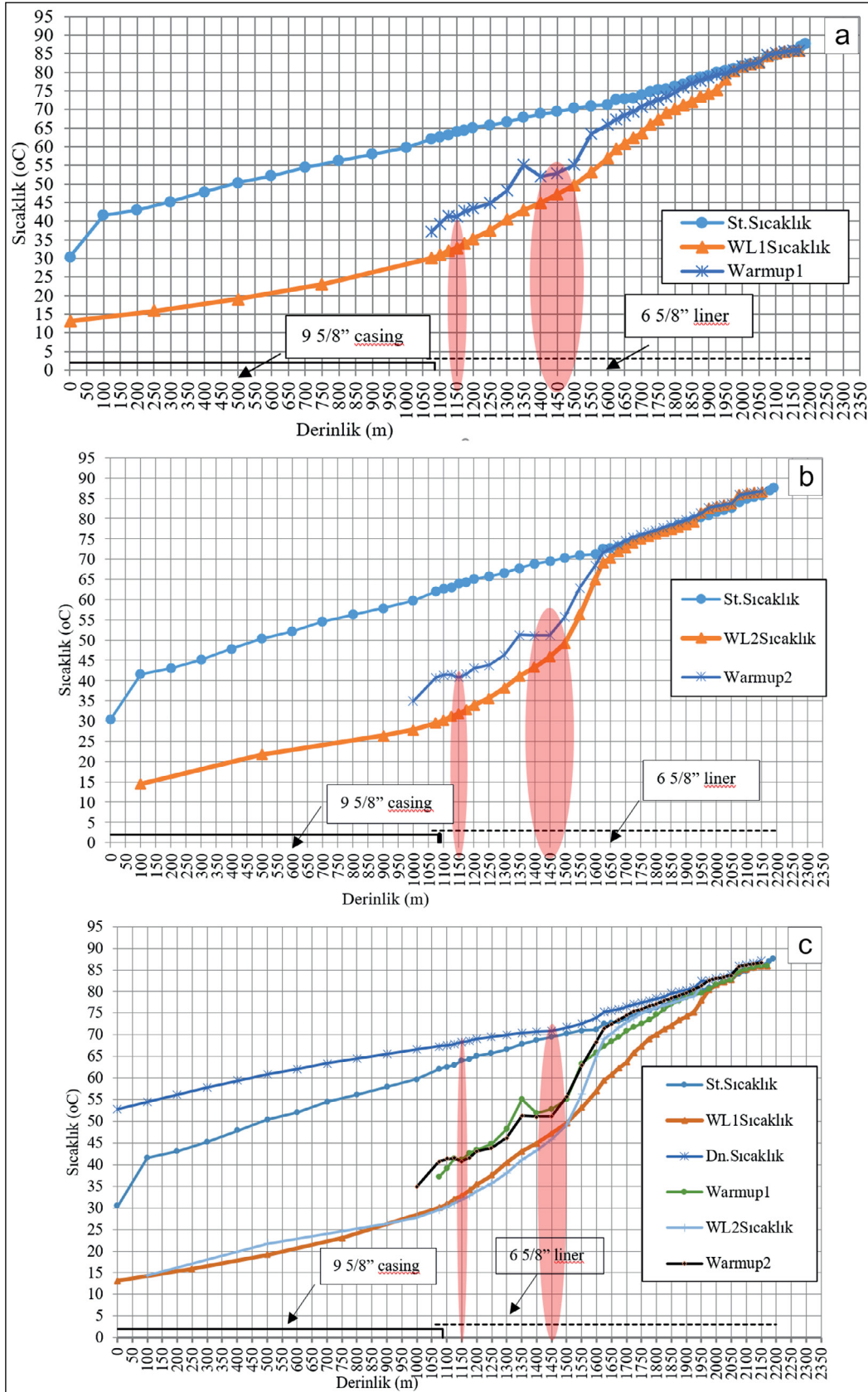
### 3.3. Hidrojeokimya ve İzotop Çalışmaları

Çalışma alanında suların sınıflaması, suların sondajın suyu ile çevre kaynak ve kuyulardan alınan sularının kökenlerinin karşılaştırılması, kalsiyum değerlerine göre kireçlendirici veya kabuk yapıcı özelliklerinin belirlenmesi, maksimum rezervuar sıcaklığı tahmini, beslenme yüksekliği ve suların yaşı hakkında bilgi elde edebilmek için çevredeki 20 adet kaynak, keson kuyu ve AMÇ-2016/3 sondajına ait akışkanın kimyasal örnekler alınarak analizleri yapılmıştır (Çizelge 5). AMÇ-2016/3 jeotermal sondajından alınan akışkan ve 4 adet numunenin izotop analizleri yaptırılarak birlikte değerlendirilmiştir.

Çizelge 3 - AMÇ-2016/3 sondajı waterloss-1 ve warm up-1 testlerine ait sıcaklık değerleri.

Derinlik (m)	Water loss-1 (°C)	Warm up-1 (°C)	Derinlik (m)	Water loss-1 (°C)	Warm up-1 (°C)
0	13,20	-	1.700	63,67	70,81
250	15,85	-	1.725	65,87	71,75
500	19,08	-	1.750	67,32	72,53
750	22,98	-	1.775	69,01	73,40
1.075	30,04	37,19	1.800	70,08	74,59
1.100	30,85	39,17	1.825	71,23	75,96
1.125	31,94	41,44	1.850	72,11	77,01
1.150	32,81	41,19	1.875	73,34	77,82
1.175	33,96	42,69	1.900	74,26	78,62
1.200	35,35	43,45	1.925	75,26	79,24
1.250	37,50	44,80	1.950	77,92	79,61
1.300	40,45	48,21	1.975	80,31	80,54
1.350	43,02	55,15	2.000	81,54	81,63
1.400	44,88	51,90	2.025	82,25	82,22
1.450	47,15	52,81	2.050	82,67	82,69
1.500	49,67	55,10	2.075	84,58	84,62
1.550	53,19	63,39	2.100	85,12	85,16
1.600	56,95	65,91	2.125	85,55	85,56
1.625	59,43	67,40	2.150	85,85	85,86
1.650	60,76	68,50	2.170	85,96	86,01
1.675	62,35	69,50			





Şekil 14- a) AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı asitleme öncesi waterloss-1 ve warmup-1 testlerine ait grafik. b) Asitleme sonrası waterloss-2 ve warmup-2 testlerine ait grafik. c) Tüm sıcaklık eğrilerini gösterir grafik.

Çizelge 4- AMÇ-2016/3 sondajı asitleme sonrası water loss-2 ve warm up-2 testlerine ait değerler.

Derinlik (m)	water loss-2 (°C)	warm up-2 (°C)	Derinlik (m)	water loss-2 (°C)	warm up-2 (°C)	Derinlik (m)	water loss-2 (°C)	warm up-2 (°C)
1.000	27,82	34,93	1.550	56,31	62,90	1.900	78,46	79,69
1.075	29,58	40,74	1.600	64,95	68,38	1.925	79,00	80,41
1.100	30,23	41,34	1.625	69,12	71,51	1.950	81,32	81,33
1.125	31,15	41,47	1.650	70,24	72,49	1.975	82,59	82,58
1.150	31,81	40,79	1.675	71,76	73,46	2.000	83,02	82,99
1.175	32,79	41,53	1.700	72,86	74,46	2.025	83,34	83,35
1.200	33,89	43,03	1.725	73,92	75,38	2.050	83,72	83,73
1.250	35,61	43,80	1.750	74,96	75,87	2.075	85,82	85,74
1.300	38,12	46,21	1.775	75,59	76,59	2.100	86,21	86,17
1.350	41,14	51,25	1.800	76,35	77,14	2.125	86,47	86,43
1.400	43,30	51,08	1.825	76,82	77,81	2.150	86,62	86,67
1.450	45,89	51,12	1.850	77,33	78,45			
1.500	49,24	55,63	1.875	77,92	79,03			

Bu numunelerin sıcaklıkları 14,3 °C - 24,4 °C arasında, elektriksel iletkenlikleri ise 126-2.970  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. AMÇ-2016/3 jeotermal kuyusu ise 56 °C, 2,16 ppt tuzluluk ve 5.350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  EC değeri ölçülmüştür.

Back (1960, 1961), “jeolojik fasiyes” kavramından esinlenerek, yeraltı sularının hidrojeolojik sistem içerisinde geçirdikleri jeokimyasal süreçler sonucunda sahip olduğu kimyasal bileşim için “hidrokimyasal fasiyesi” kavramını ortaya atmıştır. Hidrokimyasal fasiyesi etkileyen süreçler su-kayaç etkileşimi, deniz suyu karışım süreçleri ve jeotermal sistemlerdeki major katyon takas iyon bileşimlerinin değişmesi şeklinde olur. Örneklenen sular  $\text{Ca}+\text{Mg}$ ,  $\text{Na}+\text{K}$ ,  $\text{HCO}_3+\text{CO}_3$  ve  $\text{Cl}+\text{SO}_4$  iyon çiftlerinin meq/l toplam derişim bağıl oranlarına göre hidrokimyasal fasiyes türleri (Back,1961) sınıflamasına göre belirlenip, Çizelge 5’te verilmiştir. Piper diyagramı üzerinde numunelerin hidrokimyasal fasiyes tipleri gösterilmiştir. Kaynak, keson kuyu ve jeotermal sondaj (AMÇ-2016/3) suyu örnekleri 7 farklı hidrokimyasal fasiyes grubunda gösterilmiştir. Piper diagramının solunda düşük iyon içeriğine sahip karbonatlı sular fasiyesindeki sular bulunmaktadır. Bu suların EC değerleri 126-1.008  $\text{iS}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Piper diagramında orta kesimde bulunan evaporit çözünme süreçlerinin etkili olduğu M05-20 no.lu örnek  $\text{Na}+\text{Ca}-\text{HCO}_3+\text{Cl}+\text{SO}_4$  fasiyesindeki su daha yüksek iyonik derişime sahip olup jips, anhidrit gibi minerallerin çözünme sürecini

yanıtır. M05-23 no.lu numune ise silikatlı kayalardan minerallerin çözünmesi fasiyesine işaret etmektedir. Piper diyagramında sağ tarafta jeotermal sular kısmında bulunan AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı ise Na bakımından zengin Mg ve Ca derişimleri bakımından daha düşük olan  $\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}+\text{SO}_4+\text{HCO}_3$  hidrokimyasal fasiyesindeki yüksek rezervuar sıcaklığı koşullarını yansıtmaktadır (Şekil 15).

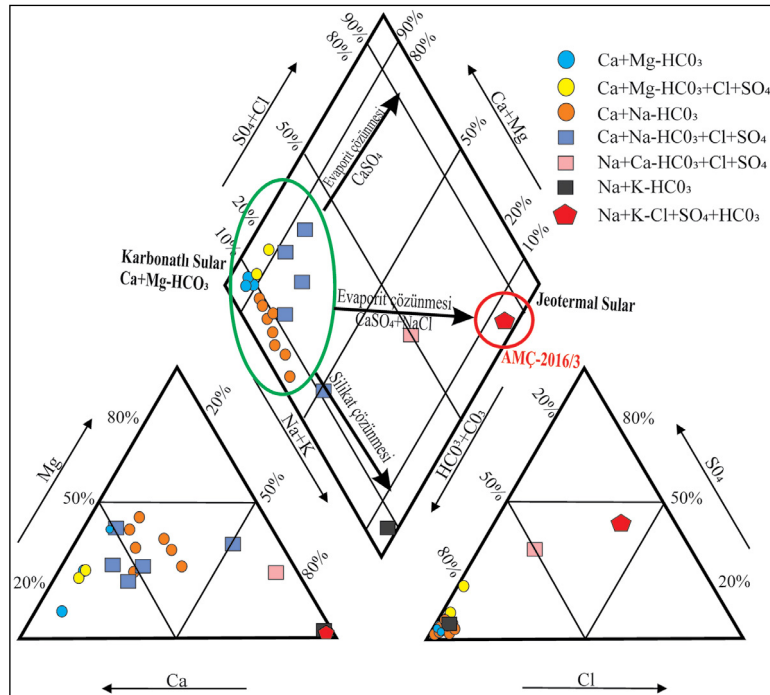
Langelier-Ludwing (1942) diyagramına göre soğuk güncel sulardan jeotermal sulara doğru karışım suları M05-20, M05-21 bulunmaktadır (Şekil 16a). Kaynak ve jeotermal kuyulara ait sular  $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$  üçgen diyagrama Giggenbach (1991) yerleştirilerek suların dağılımının üç bölümde olduğu görülmüştür. Güncel soğuk sulardan jeotermal sondaj sularına doğru bir karışımın olduğu görülmektedir (Şekil 16b).

Yarı logaritmik Schoeller (1967) kökensellik diyagramına göre sahadan alınan M05-20 ve M05-21 numunelerine ait sulara katyonlar  $r(\text{Na}^++\text{K}^+) > r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++}$ , anyonlar  $r(\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{--}) > r \text{SO}_4^{--} > r \text{Cl}^-$ ; AMÇ-2016/3 sondajına ait suda ise katyonlar  $r(\text{Na}^++\text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$ , anyonlar  $r \text{SO}_4^{--} > r \text{Cl}^- > r(\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{--})$  dizilimindedir. Yarı logaritmik Schoeller diyagramı incelendiğinde kaynaklardan alınan tüm suların köken olarak benzer özellikler sergileyen sular olduğu görülmektedir. M05-20 ve M05-21 no.lu örnekler birbiri ile aynı trendi sergilemektedir. M05-23 no.lu keson kuyu numunesi ve AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı suyunun kökenlerinin

Çizelge 5- AMÇ-2016/3 sondajı ve civarında örneklenen su numuneleri ile özellikleri (MTA MAT Dairesi analiz test raporu 2016, Volkan Babacan ve Gülelendam Günendi).

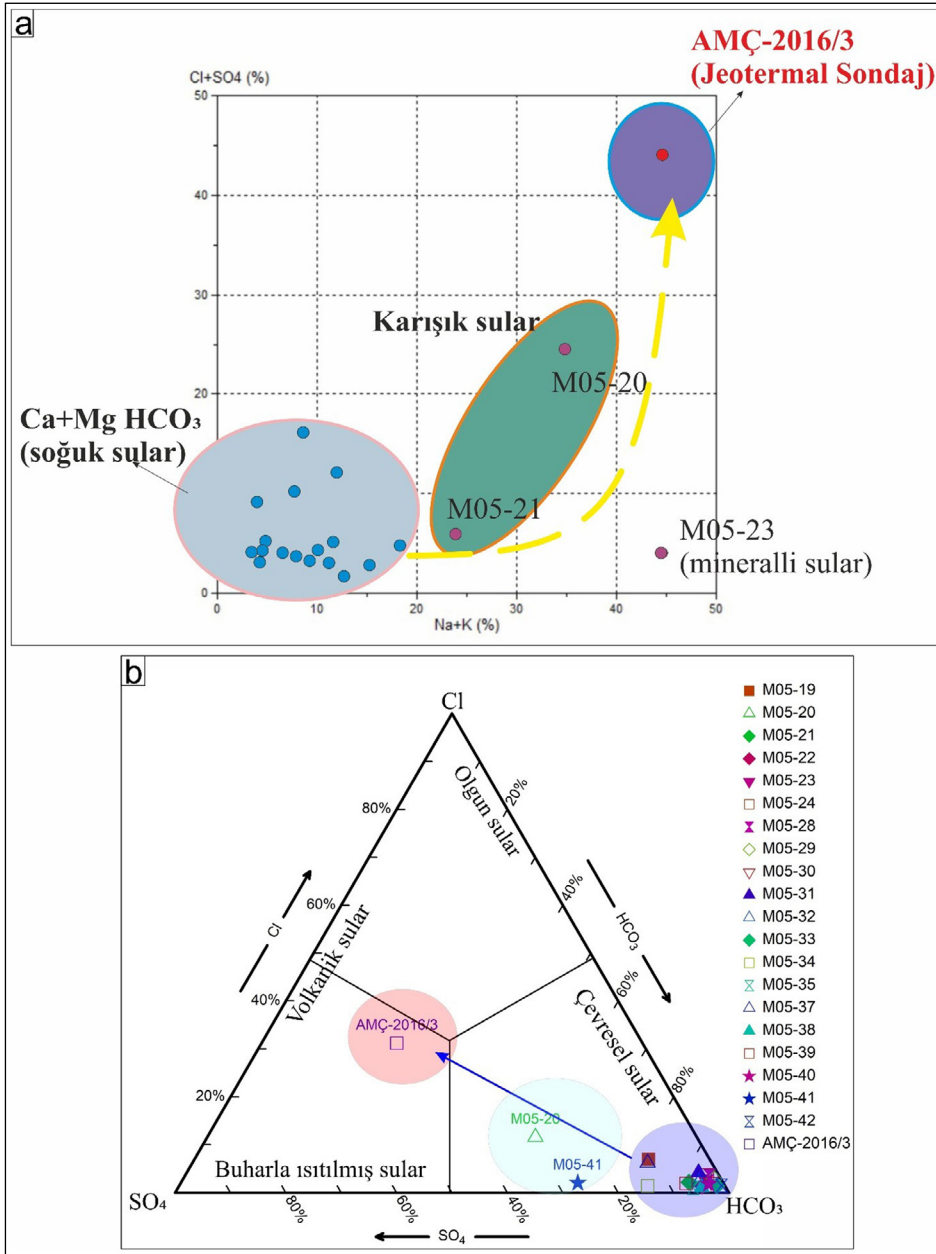
	Tip	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Tuzluluk (ppt)	K	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fasiyes Tipi (Back, 1961)
M05-19	k	18,4	7,5	842	0,4	10,20	49,50	110,0	24,90	466,00	62,7	39,5	Ca+Na-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-20	k	19,7	7,8	2.970	1,6	15,60	569,0	50,20	105,0	1124,0	552	220	Na+Ca-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-21	k	16,1	7,9	875	0,5	2,28	120,0	32,80	42,10	604,00	40,5	14,1	Ca+Na-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-22	k	21,9	7,6	723	0,4	1,58	32,60	68,30	46,50	514,00	22,4	7,36	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-23	K*	18,8	8,3	1.698	0,8	2,89	373,0	4,25	1,44	933,00	28,3	27,4	Na+K-HCO <sub>3</sub>
M05-24	k	24,4	7,4	536	0,3	2,92	30,90	70,00	19,90	377,00	8,02	14,8	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-28	k	17,8	7,8	363	0,2	4,13	12,80	39,80	21,30	269,00	5	9,71	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-29	k	21,8	7,2	240	0,1	4,57	10,70	26,30	11,20	170,00	2,22	5,02	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-30	k	18,3	7,5	126	0,1	2,33	9,28	10,10	5,59	83,7	1,79	2	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-31	k	15,5	7,1	207	0,1	2,83	11,80	22,80	7,13	126,00	4,58	5,72	Ca+Na-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-32	k	14,3	7,5	654	0,3	0,05	16,70	78,90	39,10	441,00	20,1	10,4	Ca+Mg-HCO <sub>3</sub>
M05-33	k	16,6	7,3	252	0,1	3,42	17,10	21,80	12,80	191,00	2,96	2,74	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-34	k	21,5	7,3	715	0,4	3,27	15,00	135,0	24,80	461,00	76,1	7,54	Ca+Mg-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-35	k	20,6	7,3	575	0,3	1,35	11,20	98,40	22,20	389,00	24,7	4,35	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-37	k	21,9	7,3	930	0,5	7,26	32,80	150,0	31,30	472,00	66,4	35,6	Ca+Na-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-38	k	18	7,9	488	0,3	2,70	10,30	100,0	7,12	331,00	15,5	3,55	Ca+Mg-HCO <sub>3</sub>
M05-39	k	20,3	8,2	687	0,4	1,00	17,40	121,0	25,90	440,00	32,6	9,26	Ca+Mg-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-40	k	19,1	7,4	179	0,1	4,12	9,41	21,60	5,79	129,00	3,7	2,45	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
M05-41	k	15,6	7,4	1.008	0,5	20,10	36,80	146,0	40,80	486,00	178	13,7	Ca+Na-HCO <sub>3</sub> +Cl+SO <sub>4</sub>
M05-42	k	18,6	7,6	600	0,3	3,00	63,60	51,80	22,90	423,00	25,4	6,23	Ca+Na-HCO <sub>3</sub>
<b>AMÇ-2016/3</b>	<b>J.S</b>	<b>56</b>	<b>7,6</b>	<b>5.350</b>	<b>2,16</b>	<b>8,7</b>	<b>1246</b>	<b>33,1</b>	<b>8,26</b>	<b>677</b>	<b>1229</b>	<b>864</b>	<b>Na+K-Cl+SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub></b>

k:kaynak, K\*:Keson kuyu, J.S : Jeotermal Sondaj



Şekil 15- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ve değerlendirmelerde kullanılan diğer su örneklerine ait Piper (1944) diyagramı.



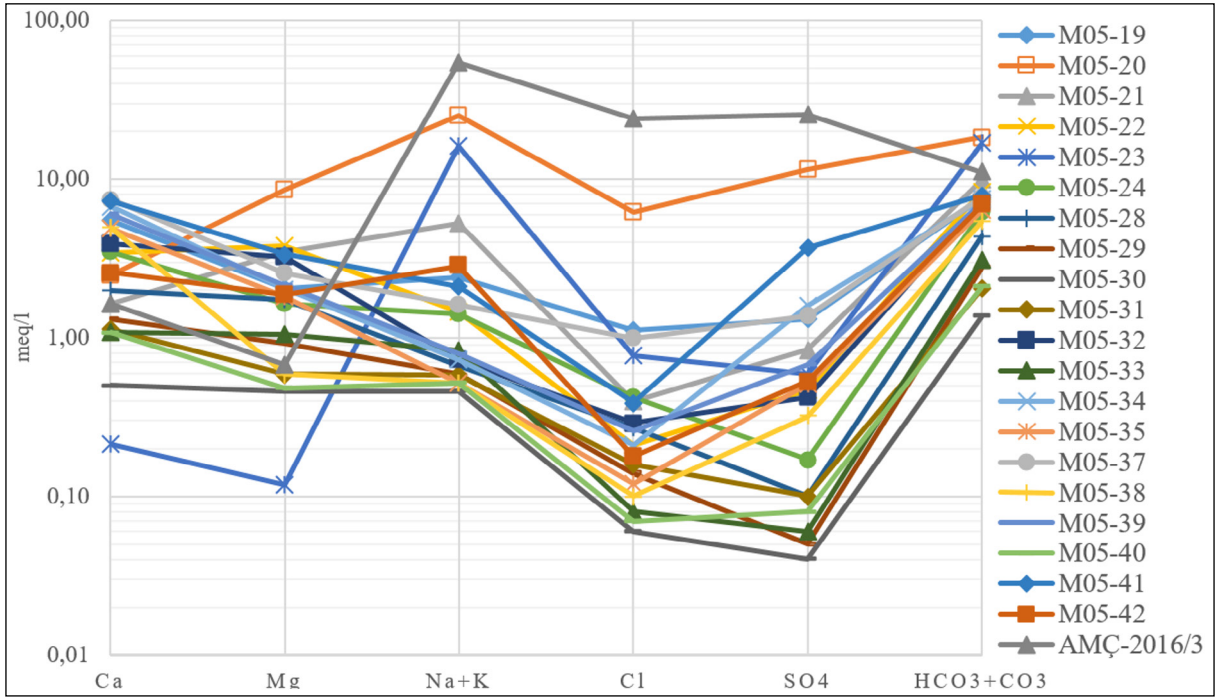


Şekil 16- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ve değerlendirmelerde kullanılan diğer su örneklerine ait a) Langelier Ludwing (1942) diyagramı ve b) Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramı (Giggenbach, 1991).

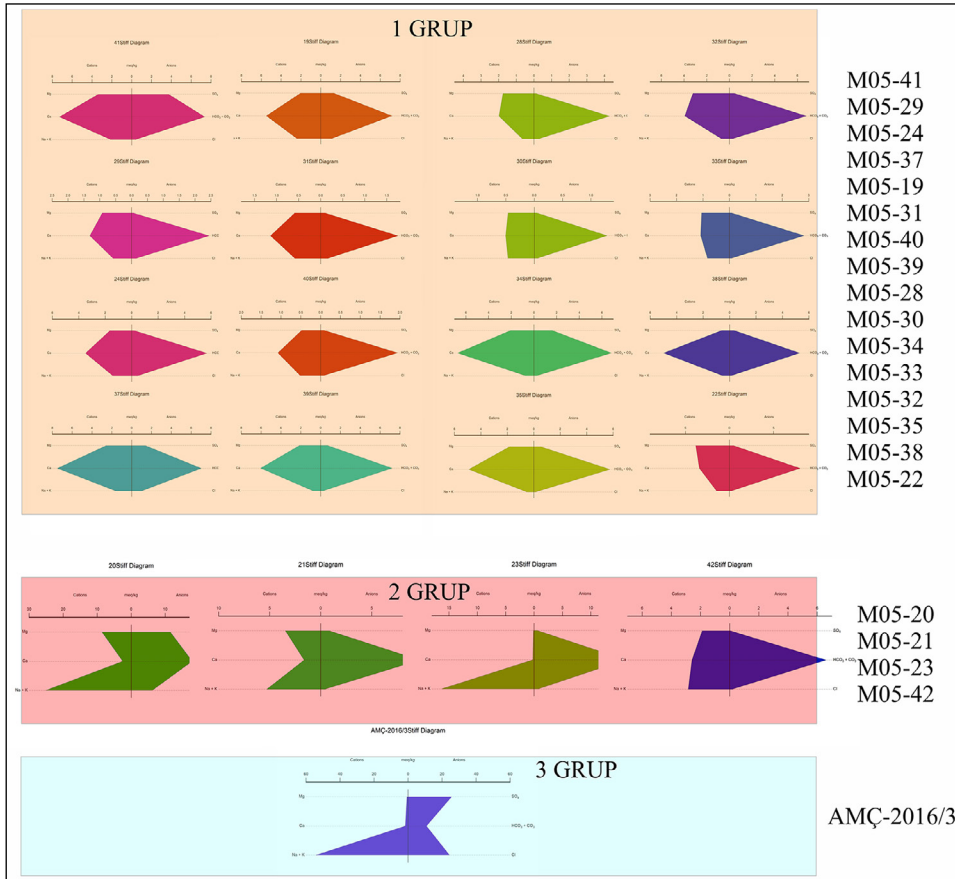
ise birbirine yakın olduğu mineral dizilim trendinden görülmektedir (Şekil 17).

Stiff(1951) diyagramlarına göre 1. Grup örneklerin çoğunluğu katyon fasiyesi Ca tipi, anyon fasiyesi HCO<sub>3</sub> tipi olarak sınıflandırılmaktadır. Bununla birlikte, 2 grup örneklerde ise Mg ve Na+K katyon fasiyesine doğru iyon değişimi söz konusudur. M05-20, M05-21, M05-42 no.lu örneklerde nispeten jeotermal etki bulunup, jeotermal akışkan taşıyan tektonik hatlar

üzerinde bulunmaları ile iyon değişim süreçlerinin olduğu söylenebilir. Bu grup içerisindeki M05-23 no.lu jeotermal sondaja ait numune ise çözünme (su kayaç etkileşimi) ile iyon değişim ve TDS ile EC'deki artışlar etkili süreçlerdir. AMÇ-2016/3 no.lu jeotermal sondaja ait akışkanın numunesi katyon fasiyesi Na+K, anyon ise Cl ve SO<sub>4</sub> fasiyesindedir. AMÇ-2016/3 örneğindeki iyon değişiminin çözünme (su kayaç etkileşimi) ile ilgili süreç olduğunu göstermektedir (Şekil 18).



Şekil 17- AMÇ-2016/3 sondajı ve değerlendirmelerde kullanılan örneklere ait yarı logaritmik Schoeller (1967) diyagramı.



Şekil 18- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ve değerlendirmelerde kullanılan diğer su örneklerine ait Stiff (1951) diyagramı.

Durov (1948) diyagramı hidrojeokimyasal süreçlere ışık tutmak için kullanılmaktadır. Genelde katyon üçgeninde örnekler Ca ve karışım tipi alanında yer alırken, anyon üçgeninde HCO<sub>3</sub> alanında kümelenmiştir. AMÇ-2016/3, M05-20, M05-21, M05-23 no.lu örnekler ise katyon üçgeninde Na tipi sular bölümünde yer almaktadır. Genel olarak ters iyon değiştirme işlemi çalışma alanındaki su kimyasını kontrol etmektedir (Şekil 19).

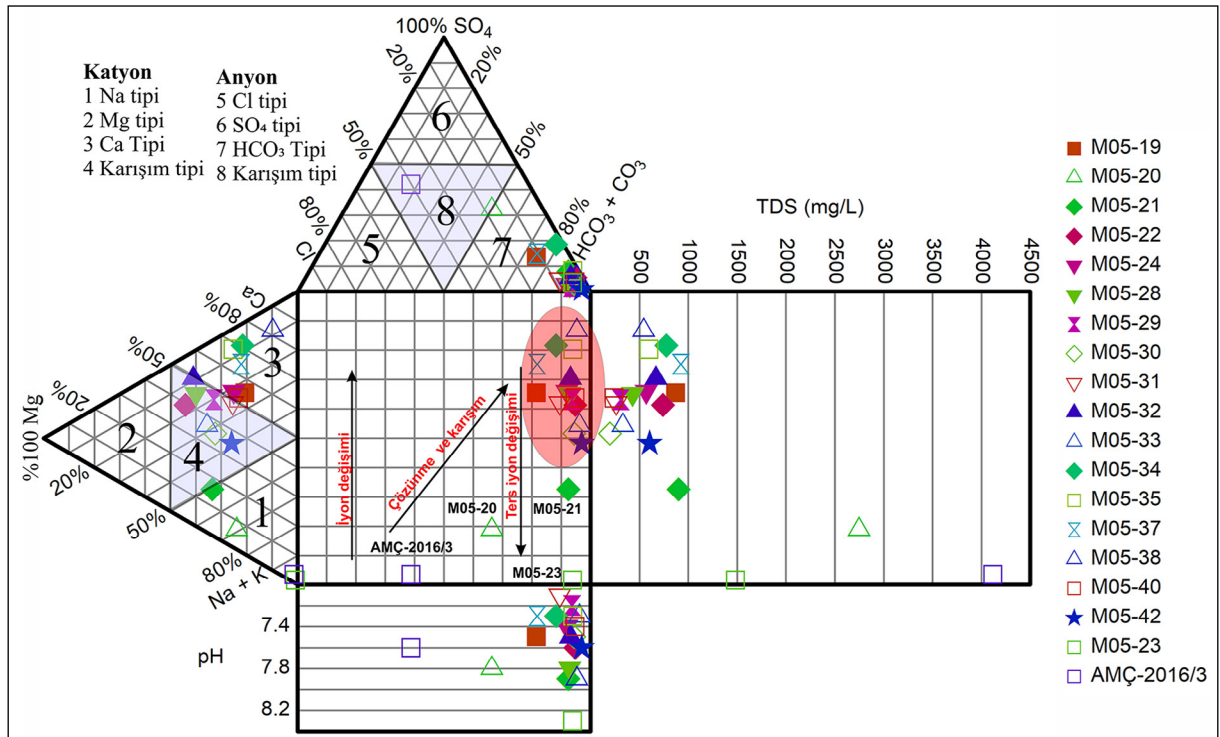
### 3.3.1. Suların Mineral Doygunlukları

Çalışma alanında örneklenen suların, dolomit, anhidrit, kalsit, aragonit ve jips minerallerine göre doygunluk analizleri PHREEQC programı ile yapılmıştır. Bu diyagrama göre tüm numuneler jips ile anhidrite göre doygun değildir (çözündürücü), M05-(19,20,21,22,23,24,28,32,34,35,37,38,41,42) no.lu örnekler kalsit, aragonit ve dolomite göre aşırı doygundur (çöktürücü). M05-(29,30,31,33,40) no.lu örnekleri ise ilgili minerallere göre doygun değildir. M05-39 örneği aragonitle dengede, dolomit ve kalsite doygundur (çözündürücü). AMÇ-2016/3 sondajına ait akışkan numunesi ise tüm minerallere göre doygun değildir (Şekil 20).

### 3.3.2. Jeotermometre Hesapları

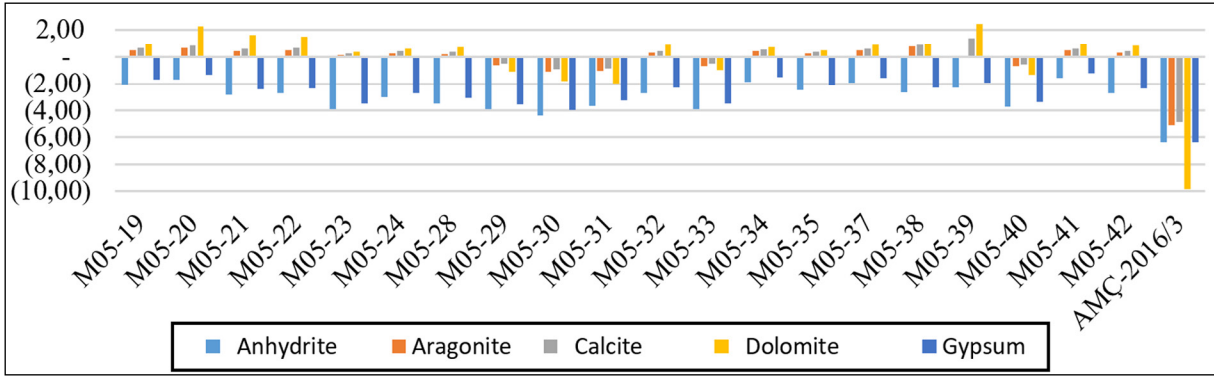
Çalışma alanı ve çevresinde yüzeyleyen kaynak sularından alınan numunelerin kimyasal bileşimleri jeotermal akışkanın rezervuar koşullarındaki sıcaklığını tahmin etmede kullanılmaktadır. Yüzeide bulunan kaynaklar, derinlerden yüzeye doğru çıkarken üst zonlardaki kimyasal bileşimi farklı ve daha soğuk akiferlerle farklı oranlarda karışmaktadır. Bu koşulları düşünerek mineral dengelerini ve SiO<sub>2</sub> miktarına bağlı bazı ampirik formüller türetilerek rezervuar koşullarındaki akışkanın muhtemel sıcaklığı hakkında yaklaşımlar yapılmıştır. Suların kimyasal jeotermometrelere uygunluğu için Na-K-Mg üçlü-denge diagramında (Giggenbach, 1988) kullanılmıştır (Şekil 21). Bu diyagrama göre üç bölüm ayırtlanmıştır. Bunlar dengedeki sular, kısmen dengede olan sular ve olgun olmayan sular şeklindedir. M05-23 no.lu kuyu ve AMÇ-2016/3 jeotermal kuyusundan alınan su örnekleri kısmen dengede olan sular alanında yer almaktadır. Bu sular için Na-K, K-Mg, Na-K-Ca tepkimelerine dayalı katyon jeotermometreleri uygulanmıştır.

Kimyasal tepkimenin dengede olmadığı diğer numuneler ise olgun olmayan sular kısmında yer aldığı için silis jeotermometrelerinin uygulanması doğru olacaktır.

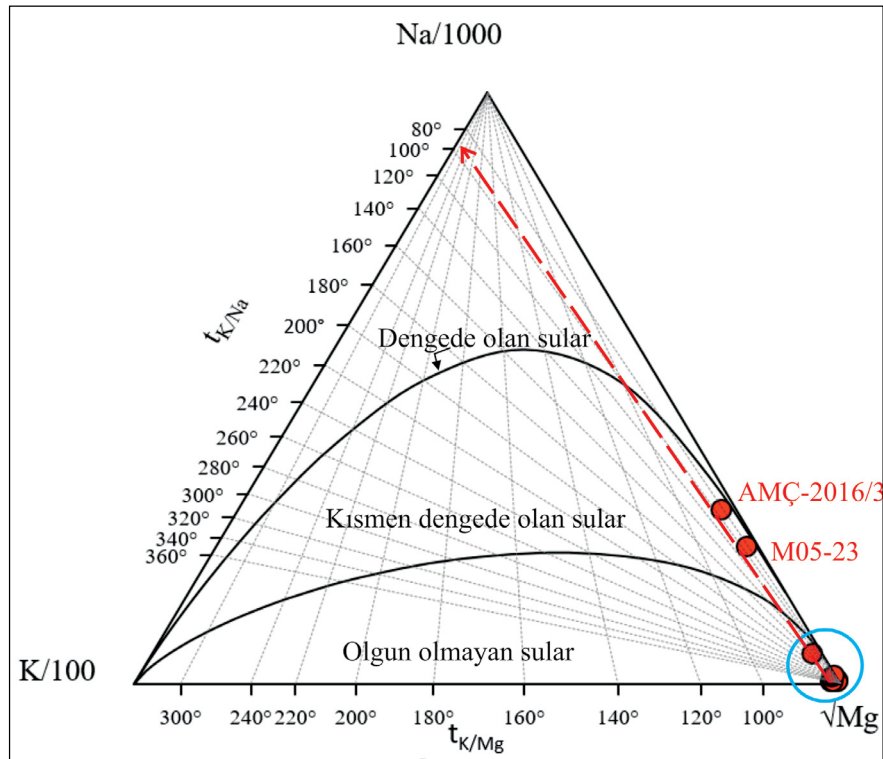


Şekil 19- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ve değerlendirmelerde kullanılan diğer su örneklerine ait Durov (1948) diyagramı.





Şekil 20- Çalışma alanındaki örneklenen sulara ait doygunluk analizi.



Şekil 21- AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ve değerlendirmelerde kullanılan diğer su örneklerine ait Giggenbach (1988) diyagramı.

KAFZ boyunca jeotermal sahalardaki sulara uygulanan kimyasal jeotermometrelere göre muhtemel rezervuar sıcaklıkları 110 °C civarı hesaplanmıştır (Mutlu ve Güleç, 1998). Kısmen denge durumunda olan su noktaları için katyon jeotermometre eşitlikleri uygulanmıştır. AMÇ-2016/3 sondajı kuyu taban sıcaklığı 87.5 °C olmasına karşın Na/K jeotermometreleri 61-82 °C aralığında, M05-23 numunesi için uygulanan jeotermometreler ise 66-87 °C aralığında sıcaklıklar türetmiştir. K-Mg jeotermometresi ise 42-66 °C aralığında değerler

türetmek AMÇ-2016/3 jeotermal akışkanın kuyu taban sıcaklığından düşük kalmıştır. Na-K-Ca jeotermometresinde AMÇ-2016/3 için 92 °C ve M05-23 numunesi için ise 90 °C türetmiş ve kuyu tabanına en yakın sıcaklık değerleridir (Fournier ve Truesdell, 1973). Yapılan jeotermometre hesaplamalarına göre K-Mg ile Na-K jeotermometrelerinde hesaplanan sıcaklıklar kuyu taban sıcaklığından daha düşük olması nedeniyle bu katyon jeotermometreleri güvenilir kabul edilmemiştir. Na-K-Mg diyagramında, olgun olmayan

suların kümelendiği noktadan M05-23 ile AMÇ-2016/3 jeotermal sondaj suyuna çizilen doğrusal hattın yaklaşık 100 °C'lik denge noktasına doğru bir yönelim sergiler. Jeotermal sistemin muhtemel rezervuar sıcaklığının 100 °C ve civarı olabileceği düşünülmektedir (Şekil 21, Çizelge 6).

Giggenbach diyagramında olgun olmayan sular bölümünde yer alan numuneler için silis jeotermometreleri uygulanmıştır. Bu uygulamalara göre yapılan değerlendirmede Kuvars 70-129 °C, Kuvars (buhar kaybı) 73-125 °C, Kalsedon 47-101 °C arasında sıcaklıklar türetmiştir (Fournier, 1977). Ayrıca kuvars (buhar kaybı) 72-124 °C arasında sıcaklıklar türetmiştir (Arnórsson vd., 1983). Bu değerlendirmelere göre kalsedon jeotermometresinde türetilen ortalama sıcaklıklar kuyu taban sıcaklığına göre düşük kaldığı için dikkate alınmıştır. Kuvars ve kuvars (buhar kaybı) jeotermometresinde elde edilen ortalama 95-100 °C sıcaklıklar ise daha kabul edilebilirdir (Çizelge 7).

### 3.3.3. Çalışma Alanında Örneklenen Suların Çevresel İzotop Analizleri ve Değerlendirmeleri

Havzanın hidrodinamik yapısının ortaya konması için AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ait akışkandan

ve M05-20, M05-23, M05-30, M05-33 no.lu örneklerden (Öziçli vd., 2019) izotop analizi ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ,  $^3\text{H}$ ) amaçlı kurak döneme ait numuneler alınmıştır (Çizelge 8).

Suların olası beslenme yüksekliklerinin, su-kayaç etkileşimlerinin ve suların kökenselliğinin saptanması amacıyla duraylı izotoplardan döteryum ve oksijen-18'den, bağlı yaş, geçiş süreleri ve yeraltı suyunun akiferde kalış ve yenilenme süresinin belirlenmesi amacıyla trityumdan faydalanılmaktadır. Yağışlardaki duraylı izotoplardan ( $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$ ) alınan su örneklerinde, Dünya Meteorik Doğrusu:  $\delta\text{D} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$  (Craig, 1961) ve Sinop Meteorik Doğrusu:  $\delta\text{D} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 16,41$  (Dilaver, 2018) ilişkileri tanımlanmıştır. Çalışma alanı ve çevresinden alınan izotop örneklerine bakıldığında dünya meteorik su çizgisi ile Sinop meteorik doğrusu arasında ve Sinop meteorik doğrusunun yakınında yer almaktadır. Çalışma alanından alınan örneklerden M05-20 ve M05-23, M05-30 ve M05-33 no.lu örnekler meteorik kökenli sulardır. Oksijen-18 zenginleşmesi (jeotermal sapma) sıcaklık ve etkileşim süreci, rezervuar kayaç mineralojisine bağlı olup karbonatlı rezervuarlarda gözlenmektedir (Truesdell ve Hulston, 1980). Tassi vd. (2006)'de gösterildiği gibi, AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına ait jeotermal

Çizelge 6- Katyon jeotermometreleri ile muhtemel rezervuar sıcaklıkları (°C).

Numune Adı	Na-K <sup>1</sup>	Na-K <sup>2</sup>	Na-K <sup>3</sup>	Na-K-Ca <sup>4</sup>	K-Mg <sup>3</sup>
AMÇ-2016/3	69	61	82	90	66
M05-23	73	66	87	92	42

(<sup>1</sup>Arnórsson vd.,1983; <sup>2</sup>Fournier, 1979; <sup>3</sup>Giggenbach, 1988; <sup>4</sup>Fournier ve Truesdell, 1973)

Çizelge 7 - Silis jeotermometreleri muhtemel rezervuar sıcaklıkları (°C).

	Kuvars <sup>5</sup>	Kuvars (buhar kaybı) <sup>5</sup>	Kalsedon <sup>5</sup>	Kuvars (buhar kaybı) <sup>6</sup>		Kuvars <sup>5</sup>	Kuvars (buhar kaybı) <sup>5</sup>	Kalsedon <sup>5</sup>	Kuvars (buhar kaybı) <sup>6</sup>
M05-19	110	110	81	109	M05-33	124	121	95	120
M05-20	94	95	63	94	M05-34	107	107	77	105
M05-21	79	83	47	81	M05-35	73	77	42	76
M05-22	79	83	47	81	M05-37	103	103	73	102
M05-24	95	96	64	95	M05-38	109	109	79	107
M05-28	113	112	84	111	M05-39	99	101	70	99
M05-30	129	125	101	124	M05-40	115	114	85	112
M05-31	126	123	98	122	M05-41	68	73	35	72
M05-32	70	75	38	73	M05-42	82	85	50	84

(<sup>5</sup>Fournier, 1977), (<sup>6</sup>Arnórsson vd.,1983)

Çizelge 8-AMÇ-2016/3 jeotermal sondajna ait su örneği ve değerlendirmelerde kullanılan diğer sulara ait trityum (TU), oksijen-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve döteryum ( $\delta\text{D}$ ) analiz sonuçları.

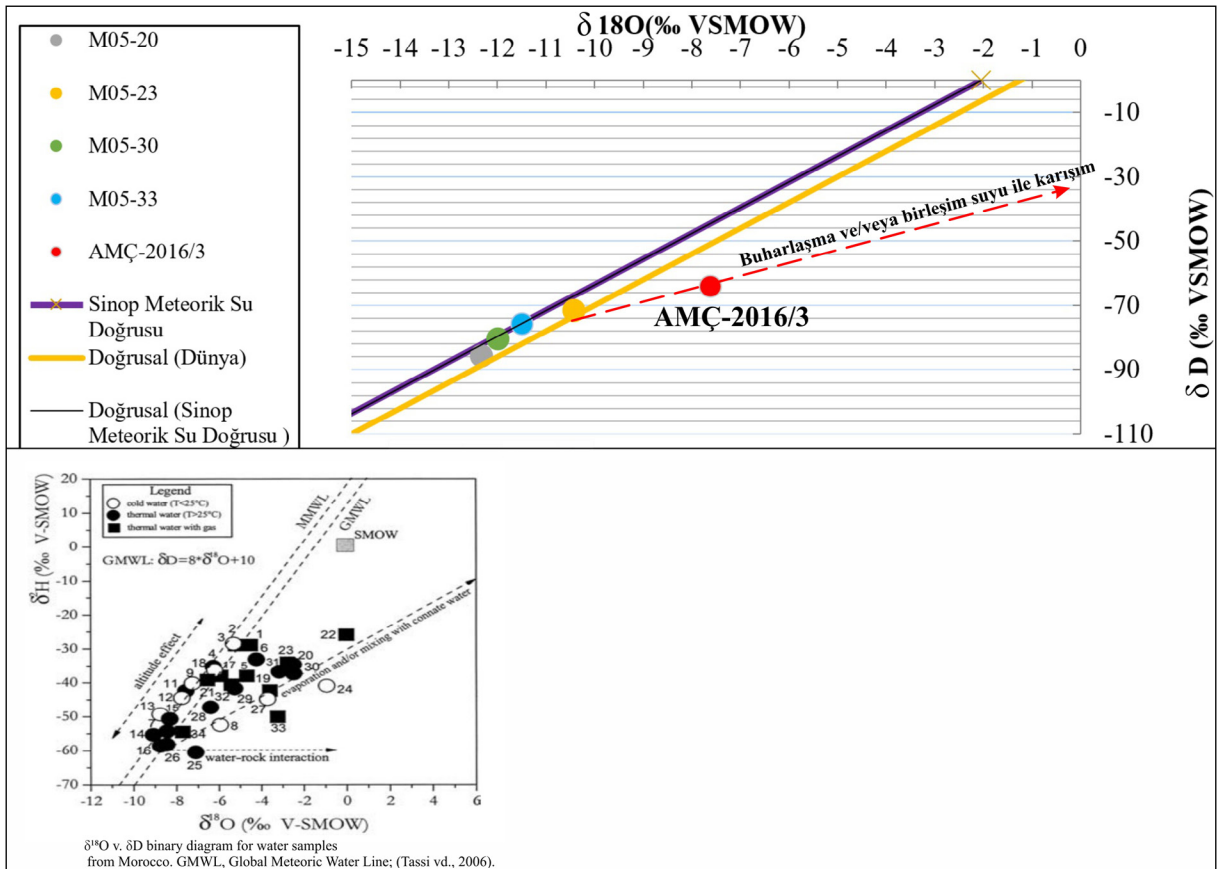
Örnek Adı	TU	d18O	dD	Y	X	H (m)	Pafta	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)
M05-20	0,46	-12,34	-85,89	718329	4527893	574	G35-a4	2.970	41,7	220
M05-23	4,26	-10,43	-71,65	715360	4531266	809	G35-a1	1.698	41,6	27,4
M05-30	0	-11,99	-80,47	715610	4533340	948	G35-a1	126	85,2	2
M05-33	0,07	-11,49	-75,75	713187	4536189	1.030	G35-a1	252	77,7	2,74
AMÇ-2016/3	0	-7,63	-64,07	714365	4529383	651	G35-a1	5.350	32,7	864

su numunesinde de buharlaşma ve birleşim suyu ile karışımı temsil ettiği söylenebilir (Şekil 22).

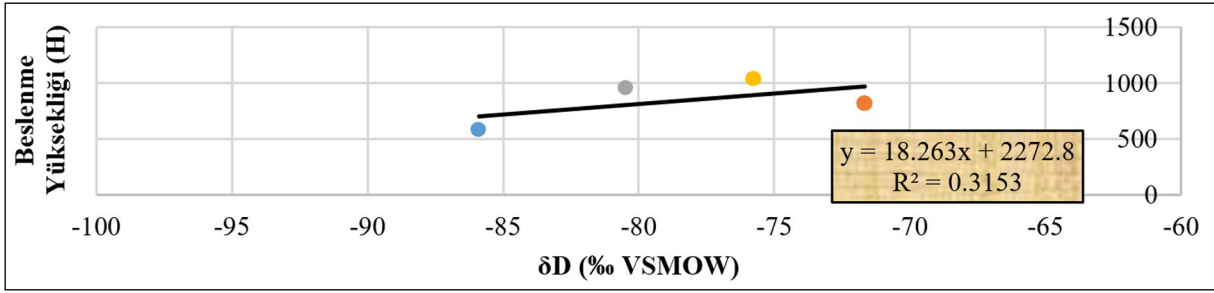
Yeraltı sularında döteryum içeriği yüksekliğe bağlı olarak değişim gösteren bir parametredir. Deniz seviyesinde döteryum içeriği sıfıra yakın iken, yüksek kotlarda döteryum içeriği yüksek değerlere ulaşmaktadır (Clark ve Fritz, 1997). Çalışma alanında izotop analizi yapılan sulardan M05-20, M05-23, M05-30 ve M05-33 no.lu örnekler için döteryum içerikleri, kaynak çıkış kotuna karşılık işaretlenmiş ve “Döteryum = 18,263 (yükseklik) + 2.272,8”

eğilim eğrisi belirlenmiştir (Şekil 23). Gözlem noktaları sadece yağıştan beslenmeleri ve sığ bir dolaşım ile kısa sürede boşalım yaptıkları göz önünde bulundurulmuştur. Beslenim, sondajın kuzeybatısında bulunan Tavşandağı'nın yaklaşık 1.104 metredeki kottan olmaktadır.

Değerlendirmelerde logCl- $\delta^{18}\text{O}$  grafiğinde sığ yeraltı sularından AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına doğru karışım çizgisi görülmektedir. Karışım çizgisi üzerinde M05-23 no.lu numune bulunmaktadır (Şekil 24).

Şekil 22- AMÇ-2016/3 sondajına ait su örneği ve değerlendirmelerde kullanılan diğer sulara ait oksijen 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve döteryum ( $\delta\text{D}$ ) grafiği.



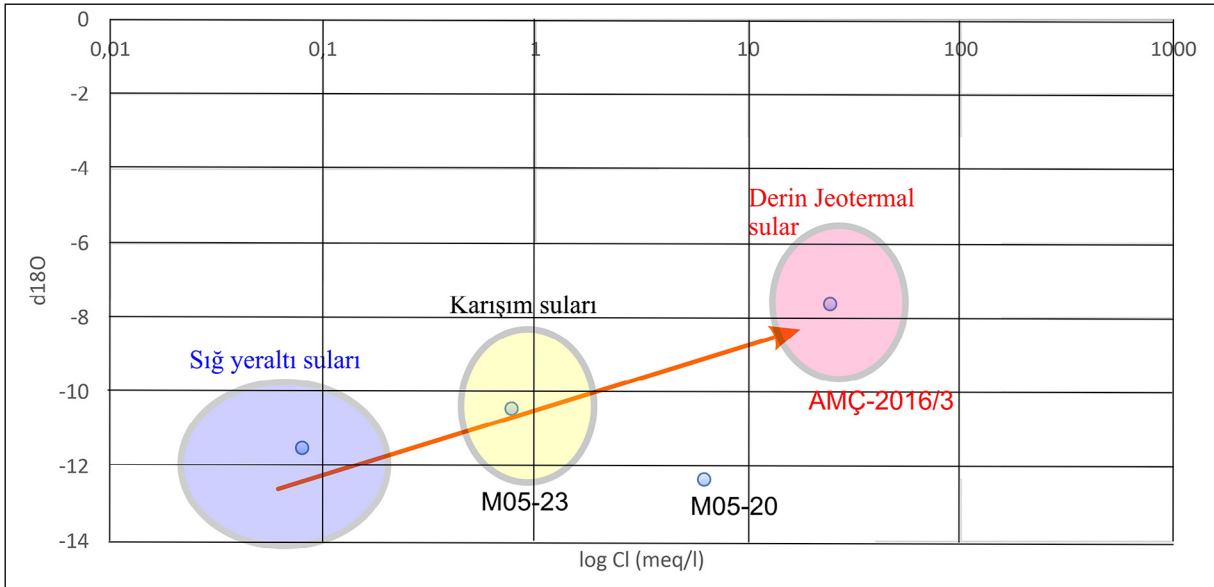


Şekil 23- Değerlendirmelerde kullanılan sulara ait döteryum (δD) ile beslenme yüksekliği (H) grafiği.

### 3.3.4. Çalışma Alanında Örneklenen Suların Trityum Analizi Değerlendirmesi

Hidrojen atomunun bir izotopu olan trityum ( $^3\text{H}$ ) radyoaktif ve yarılanma ömrü 12,32 yıldır (Lucas ve Unterweger, 2000). 1952 yılında başlayan nükleer denemelerde, atmosfere karışan trityum izotopunun yağmur suyuyla birlikte yeraltı sularına karışması, suyun dolaşım süreci hakkında bilgi vermektedir (Clark ve Fritz, 1997). Böylece, trityum içerikleri kullanılarak yapılabilecek kalitatif değerlendirmeler; örneklenen sulardan M05-20, M05-30, M05-33 ve AMÇ-2016/3 no.lu örneklerin trityum içeriği  $<0,8$  olup beslenme yaşları 1952 öncesi beslenmeyi yani submodern suları göstermektedir. M05-23 no.lu örneğin trityum değeri ise 4,26 TU olup su submodern- genç sular sınıfında yer almaktadır.  $^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  ilişkisi suların beslenme yükseklikleri ile akiferden geçiş ve akiferde kalış süresi arasındaki ilişkiyi yansıtır. Düşük

$^{18}\text{O}$  değerleri suların yüksek kottan beslendiğini, düşük  $^3\text{H}$  değerleri de suyun derin dolaşım ve uzun geçiş süresini yansıtmaktadır. Grafik, çalışma alanından izotop analizi için alınan (Öziçli vd., 2019) M05-20, M05-30, M05-33 ve AMÇ-2016/3 no.lu numunelerin M05-23 no.lu numuneye göre uzun süreli yeraltı suyu dolaşımına sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma sahasında kaynakların beslenme alanı yükseklikleri sola doğru artmaktadır (Şekil 25a). İzotop numunelerindeki düşük  $^3\text{H}$  değeri yeraltı suyunun rezervuardan uzun geçiş süresini gösterir. Bu nedenle yeraltı sularının bağlı yaşlarında  $^3\text{H}$  izotopu en önemli bir parametredir. Numunelerin EC değeri de, yeraltına süzülen meteorik suların rezervuardaki kalış süresine bağlı olarak artış göstermektedir. Düşük  $^3\text{H}$  ve yüksek EC değerleri suların derin dolaşımına işaret etmektedir. İncelenen alanda M05-20 no.lu kaynak ve AMÇ-2016/3 no.lu sondaj suyuna doğru, akiferle temas sürelerinin arttığı görülmektedir (Şekil 25b).



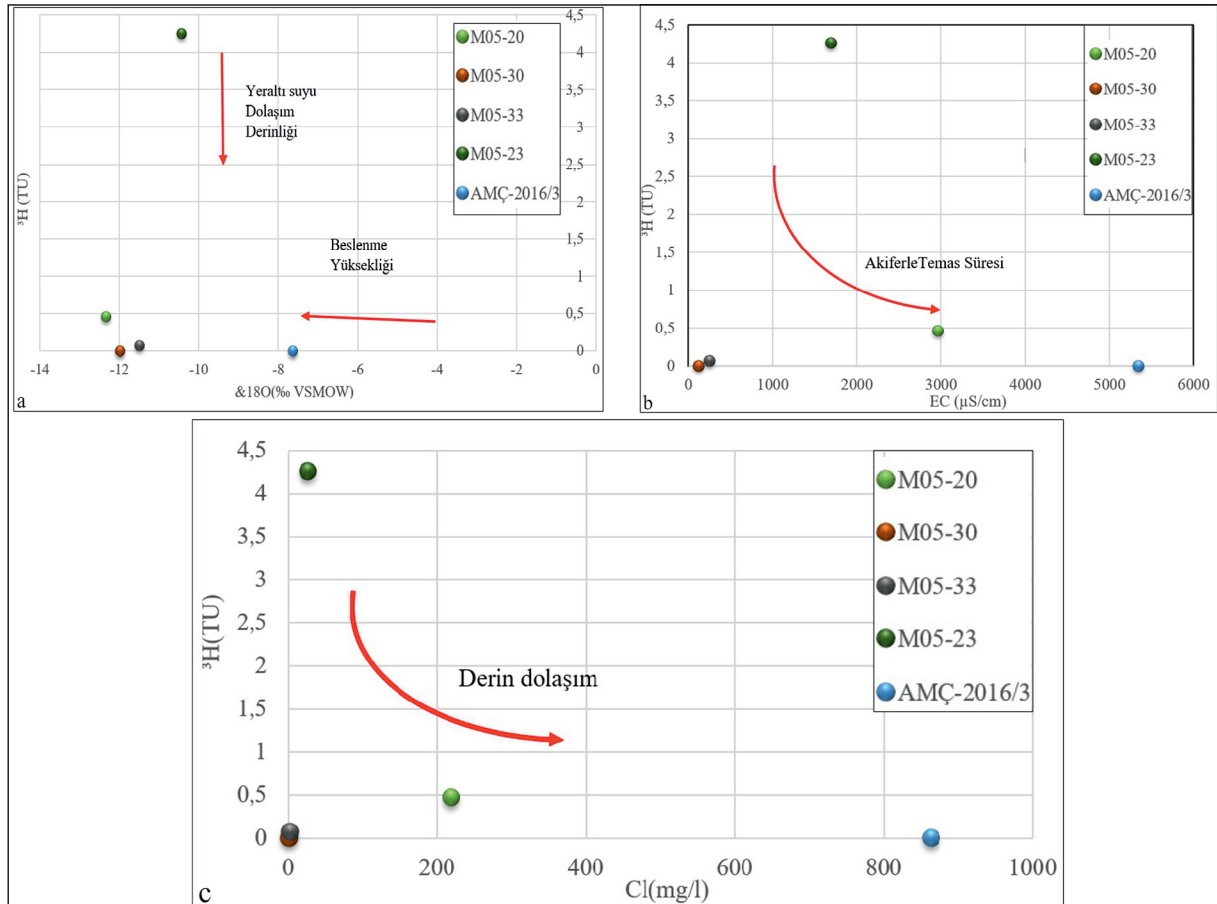
Şekil 24- Değerlendirmelerde kullanılan sulara ait döteryum ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ile log Cl grafiği.

İzotop analiz değerlendirmelerinde yüksek klor değeri de derin dolaşımı, düşük klor değeri sıg dolaşımı yansıtmaktadır. Çalışma alanında örneklenen suların M05-20 no.lu kaynak ve AMÇ-2016/3 no.lu sondaj suyu örnekleri, M05-23, M05-30, M05-33 no.lu örneklerle göre daha derin dolaşımli sulardır (Şekil 25c).

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Merzifon-Çobanören çalışma alanında yapılan jeoloji, jeofizik, su kimyası ve sondaj verileri birlikte değerlendirilmiştir. Örnekleme yapılan 20 adet numunenin elektriksel iletkenlikleri (EC 25 °C) 126-2.970  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . sıcaklıkları 14,3 °C - 24,4 °C, pH değerleri 7,5- 8,3 ve tuzlulukları 0,1-0,8 ppt arasında değişmektedir. AMÇ-2016/3 jeotermal sondajında kesilen birimler yüzeyden itibaren Kuvaterner, Pliyosen, Miyosen, Eosen, Kretase fişi ve ofiyolit birimleri olarak belirlenmiş ve sondajda kompresörlü üretim debisi 5,3 l/sn., üretim sıcaklığı

56 °C, akışkanın artezyen üretim debisi 2 l/sn. ve üretim sıcaklığı 53 °C olarak kaydedilmiştir. Kuyu taban sıcaklığı en yüksek 87,65 °C ölçülerek, üretim endeksi (PI) 4,16 t/sa/bar ve enjeksiyon endeksi (EI) 1,4 t/sa/bar olarak hesaplanmıştır. AMÇ-2016/3 jeotermal kuyusunun EC'si 5.350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ., pH'ı 7,6 ve tuzluluğu ise 2,16 ppt olarak ölçülmüştür. Kuyu testleri sonucunda üretim zonlarının 1.150 ve 1.450 m'lerde olduğu belirlenmiştir. Sondajın beslenimi, sahanın kuzeybatısında bulunan Tavşandağı'nın yaklaşık 1.104 metrelerinden olduğu hesaplanmıştır. Asitleme öncesi ve sonrasında water loss testlerinde geçirgenliğin arttığı fakat üretim zonlarında bir değişimin olmadığı, akışkan miktarında da bir değişimin olmadığı görülmüştür. Çalışma alanından örneklenen suların ve AMÇ-2016/3 no.lu jeotermal akışkan toplam derişim bağıl oranlarına göre 7 farklı hidrokimyasal fasiyes grubunda gösterilmiştir. Yarı logaritmik Schoeller diyagrama göre AMÇ-2016/3 jeotermal sondajına en yakın mineral dizilim



Şekil 25- a)Tritiyum (TU) ile  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) grafiği, b) Tritiyum (TU) ile EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) grafiği ve c) Tritiyum (TU) ile Cl (mg/l) grafiği.

trendinin M05-23 no.lu keson kuyu numunesine ait olduğu görülmüştür. Jeotermometrelere göre 100 °C ve civarı muhtemel rezervuar sıcaklıkları beklenmektedir. AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı kalsit, anhidrit, aragonit, dolomit ve jips minerallerine doygun değildir. AMÇ-2016/3 jeotermal akışkanda, su-kayaç etkileşimi <sup>18</sup>O- zenginleşmesi gözlenmektedir ve düşük trityum içeriği nedeniyle de yaşlı ve uzun süre akifer geçişi olan su sınıfındadır. AMÇ-2016/3 jeotermal akışkanında, buharlaşma ve birleşim suyu ile karışımın yanında sedimanter havzalarda (Merzifon havzası) yeraltı sularının şeyl ve killerden dikey yönde adveksiyon hareketiyle geçerken matriks ters osmos membran etkisi yapmakta ve büyük moleküllerin geçişini geciktirmektedir. Filtre olan sular ağır izotoplarca tükenmektedir. Phillips vd. (1986) <sup>18</sup>O zenginleşmelerini açıklamak için hiperfiltrasyon etkisinin olduğundan söz etmiştir.

### Katkı Belirtme

Bu çalışma, MTA 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 Adnan GÜVEN, Dr. Aydın ÇİÇEK, İsmail ÖZTEL, Kaan GÖREN, Mevlüt ÇALKAYA, Mustafa BAŞIKARA ve Safa BAKRAÇ’a, 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 teşekkür ederim.

### Değinilen Belgeler

Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü, Envanter serisi No: 201. 849, Ankara.

Altner, 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.

Arnórsson, 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.

Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmaz, B. 1973. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, 17-19 Aralık 1973, Ankara, 70-76.

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.

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.

Durov, S. A. 1948. Classification of natural waters and graphical representation of their composition. *Doklady Akademii Nauk SSSR* 1948, 59, 87-90.

Erturaç, M. K. 2009. Amasya ve çevresinin morfolotektonik evrimi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 382.

Fournier, R. O. 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics* 5, 41-50.

Fournier, R. O. 1979. A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Resources Council Transactions* 3, 221-224.

Fournier, R. O., Truesdell, A. H. 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 5, 1255-1275.

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 geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W. F. 1991. Chemical techniques in geothermal exploration; Chemistry Division DSIR., Private Bag, Petone, Nueva Zelandia, 47.
- Güven Ö., Kavukçu, E. 2017 Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Kalitatif Mineralojik-Petrografik Analiz Rapor No: MAT-16005250/R-1, Ankara (yayımlanmamış).
- Hakyemez, Y., Barkut, M. Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Can, B., Dağ, Z., Sözeri, B. 1986. Yapraklı-İlgaz-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 Genel Müdürlüğü, 61, Ankara.
- Koçyiğit, A., Özacar, A. 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, 67-90.
- Langelier, W. F., Ludwig, H. F. 1942. Graphical method for indicating the mineral character of natural waters. *Journal of the American Waterworks Association*, 34, 335-352.
- 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.
- Mutlu, H., Güleç, N. 1998, Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia (Turkey). *Journal Volcanology and Geothermal Research* 85, 495-515.
- Öziçli, F. M., Karzaoğlu, H., Çiçek, A., Güven, A. 2018. Amasya - Merzifon - Osmanoğlu ARA.05.00.2014.JEO.3, Amasya - Merzifon-Aksungur ARA.05.00.2014.JEO.4, Amasya-Merzifon - Uzunyazı ARA.05.00.2015.JEO.2, Amasya - Suluova - Kerimoğlu ARA.05.00.2015.JEO.3, Amasya - Suluova - Kurnaz ARA.05.00.2015.JEO.4, Amasya - Gümüşhacıköy - Güblüce ARA.05.00.2015.JEO.5, Amasya - Merzifon-Karatepe ARA.05.00.2015.JEO.6 ve Amasya-Merzifon-Sarıköy ARA.05.00.2015.JEO.7 jeotermal kaynak arama ruhsat sahalarına ait jeotermal etüt (jeoloji-jeofizik) raporu. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 13766, 378, Ankara (yayımlanmamış).
- Öziçli, F. M. 2020. Merzifon-Suluova çek-ayır havzası jeotermal özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 250, Kütahya.
- Öziçli, F. M., Güven, A., Çiçek, A., Başkara, M. 2019. Amasya-Merzifon-Osmanoğlu ARA.05.00.2014. JEO.3 jeotermal kaynak arama ruhsat sahalarına ait AMÇ-2016/3 jeotermal sondajı kuyu bitirme raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 13829, 88. Ankara (yayımlanmamış).
- Phillips, F. M., Bentley, H.W., Davis, S. N., Elmore, D., Swanick, G. 1986. Chlorine-36 dating of very old groundwater. 2. Milk River aquifer, Alberta, Canada. *Water Resources Research* 22, 2003-2016.
- Piper, A. M. 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses. *American Geophysical Union Transactions* 25, 914-923.
- Rojay, B., Koçyiğit, A. 2012. An active composite pullapart basin within the central part of the North Anatolian Fault System: The Merzifon-Suluova Basin, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 21(4), 473-496.
- Sarp, S., Bakraç, S. 2019. Çankırı-Atkaracalar-Çardaklı ÇAÇ-2019/02 jeotermal araştırma sondajı kuyu bitirme raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 13929, 41. Ankara (yayımlanmamış).
- Schoeller, H. 1967. Hydrodynamique dans le karst. *Chronique d'hydrogeologie* 10, 7-21.
- Sevin, M., Uğuz, M.F. 2013a. 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Çorum G34 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Seri No: 184, 24s., Ankara
- Sevin, M., Uğuz, M.F. 2013b. 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Çorum G35 Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Seri No: 185, 26s., Ankara.
- Stiff, H. A. 1951. The Interpretation of Chemical Water Analysis by Means of Patterns. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* 3, 15-16.
- Tassi, F., Vaselli, O., Moratti, G., Piccardi, L., Minissale, A., Poreda, R., Huertas, A. D., Bendkik, A., Chenakeb, M., Tedesco, D. 2006. Fluid geochemistry versus tectonic setting: The case study of Morocco Geological Society London Special Publications 262(1), 131-145.
- Truesdell, A. H., Hulston, J. R. 1980. Isotopic evidence of environments of geothermal systems. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, The Terrestrial Environment*, Elsevier, Amsterdam, 1,179-226.