

**SARAYKENT VE AKDAĞMADENİ (YOZGAT) SICAK VE
MİNERALLİ SULARININ HİDROJEOKİMYASAL VE
İZOTOPIK İNCELEMESİ**

**HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPIC
INVESTIGATION OF SARAYKENT AND AKDAGMADENI
(YOZGAT) HOT AND MINERAL WATERS**

SEVİM ÖZULUKALE

PROF. DR. ŞAKİR ŞİMŞEK
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2017

SEVİM ÖZULUKALE' nin hazırladığı “Saraykent ve Akdağmadeni (Yozgat) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ (HİDROJEOLJİ) MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

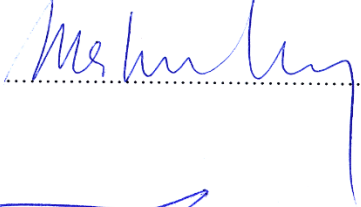
Prof. Dr. Mehmet ÇELİK
Başkan


.....


Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK
Danışman


.....

Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ
Üye


.....

Prof. Dr. Halim MUTLU
Üye


.....

Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN
Üye


.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 08.02.2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

09 / 02 / 2017

Sevim ÖZULUKALE

Aileme,

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23/01/2017



SEVİM ÖZÜLÜKALE

ÖZET

SARAYKENT VE AKDAĞMADENİ (YOZGAT) SICAK VE MİNERALLİ SULARININ HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELEMESİ

SEVİM ÖZULUKALE

Doktora, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK

Ocak 2017, 127 sayfa

Tez çalışmasında Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanları'ndaki jeotermal sistemin kavramsal hidrotermal modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, alanın jeolojik, hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesiyle beraber alandaki suların fiziksel, hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri incelenmiştir. Böylece, jeotermal sistemin beslenme bölgesi ve dolaşım mekanizması belirlenmiştir.

Çalışma alanı Yozgat il sınırları içerisindeki Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanlarını kapsamaktadır. Kırşehir Masifi'nin Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfikleri (gnays, şist ve mermer) çalışma alanının temel kayaçlarını oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki yapısal deformasyonun yoğun olduğu kırık ve fay zonlarının yerel olarak geliştiği kısımlarda Eosen yaşlı volkanitler (riyolit, bazalt, andezit) jeotermal akışkan için rezervuar oluşturmaktadır. Bölgedeki örtü kayaçlar Eosen yaşlı tuf birimleri, kil ve marn gibi sedimanter birimler ile metamorfiklerdeki şistlerdir.

Çalışma alanında sıcak ve mineralli su kaynakları ile jeotermal kuyular bulunmaktadır. Saraykent sıcak ve mineralli sularının dönemsel akışkan sıcaklıkları 48.2-76.2°C arasında ve Akdağmadeni sıcak ve mineralli sularının akışkan sıcaklıkları 26.0-47.7°C arasında değişmektedir. Bölgedeki soğuk su örneklerinin $Ca^{+2}-HCO_3^-$, sıcak ve mineralli su örneklerinin $(Na^++K^+)-Cl^- -SO_4^{-2}$ ve $(Na^++K^+)-SO_4^{-2}-Cl^-$ su tipinde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı içerisindeki suların hidrojeokimyasal ve izotop içerikleri konum ile litolojik özelliklere göre değişim göstermektedir. Jeotermal suların doygunluk indeksi (SI) hesaplamaları ile jeotermal kuyulardan alınan kabuklaşmaların minerolojik içeriği karşılaştırıldığında jeotermal suların kalsit ve kuvarsa doygun oldukları ve böylece kabuk yapıcı özellikte olduğu belirlenmiştir.

Saraykent-Akdağmadeni Alanı'nın Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL) denklemi, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}=8.25*\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} +17.90$ ($R^2=0.99$) eşitliği ile tanımlanmıştır. Soğuk sular ile sıcak ve mineralli sular meteorik kökenlidir. Sıcak ve mineralli suların soğuk sulara göre daha düşük $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve ^3H izotop değerlerine sahip olması, jeotermal rezervuardaki sıcak suların daha yüksek kotlardan beslendiğini ve uzun yeraltısu dolaşım süresine sahip olduğunu göstermektedir. Her iki jeotermal alanda yer alan sıcak ve mineralli suların $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ içeriğine göre hesaplanan muhtemel beslenme yükseltisinin Saraykent Jeotermal Alanı için ortalama 1623-1975 m aralığında ve Akdağmadeni Jeotermal Alanı için ortalama 1768-1905 m aralığında olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler çalışma alanının GD'sunda yer alan ve metamorfitten (mermer, şist) oluşan Akdağmadeni Horstu'ndaki yükseltilere karşılık gelmektedir.

Jeotermal akışkanlardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izotop değerlerine göre tatlısu/denizel karbonatların çözünmesinden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Sıcak ve mineralli suların $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerlerine göre kökenlerinin volkanik/sedimanter sülfürden ve Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı İç Anadolu Grubu'na ait jips vb. evaporitlerden oluşabileceği belirlenmiştir. Saraykent'teki jeotermal suların toplam alfa ve toplam beta değerleri Akdağmadeni'ndeki diğer su örneklerine göre daha yüksektir. Bunun Saraykent'teki granitik intrüzyon ve riyolitik volkanitlerden dolayı olduğu anlaşılmaktadır.

Rezervuar muhtemel sıcaklığı için, silis ve izotop jeotermometreleriyle hesaplanan ortalama değerlerin; Saraykent Jeotermal Alanı'nda 130 °C civarında, Akdağmadeni Jeotermal Alanı'nda 120 °C civarında olmasının kabul edilebilir bir beklenti olacağı sonucuna varılmıştır.

Çalışma alanındaki güncellenen jeolojik-hidrojeolojik veriler ve ayrıntılı hidrojeokimyasal, jeokimyasal, izotopik veri toplama ve değerlendirme ile alanın kavramsal hidrotermal modeli oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, sıcak ve mineralli su, hidrojeokimya, izotop, hidrotermal model, Saraykent, Akdağmadeni, Yozgat.

ABSTRACT

HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPIC INVESTIGATION OF SARAYKENT AND AKDAGMADENI (YOZGAT) HOT AND MINERAL WATERS

SEVİM ÖZULUKALE

Doctor of Philosophy, Department of Geological (Hydrogeological)
Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK

October 2017, 127 pages

The study aimed to construct a conceptual hydrothermal model of the geothermal system in Saraykent and Akdagmadeni Geothermal Areas. In this context, the physical, hydrogeochemical, isotopic properties of the waters in the area as well as the geological and hydrogeological properties of the area were investigated. Thus, the geothermal system was tested to determine the areas of recharge and circulation mechanism.

The study area covers the Saraykent and Akdagmadeni Geothermal Areas in Yozgat province. The Paleozoic-Mesozoic metamorphic rocks of the Kirsehir Massif (gneiss, schist, marble) are the basement rocks of the study areas. The major geothermal reservoirs in the study areas occur in the Eocene aged volcanic rocks which have local fracture and fault zones and excessive tectonic deformations. The cap rocks of both areas are composed of Eocene tuff and clay and marl sedimentary, and metamorphic rocks (particularly schist).

Water springs and geothermal wells are located within the study areas. In the Saraykent geothermal springs periodic discharge temperature range from 48.2 to 76.2 °C, whereas in the Akdagmadeni geothermal springs periodic discharge temperature range from 26.0 to 47.7 °C. The cold water samples are classified as $\text{Ca}^{+2}\text{-HCO}_3^-$ types, whilst geothermal water samples are classified as $(\text{Na}^+\text{+K}^+)\text{-Cl}^-\text{-SO}_4^{2-}$ and $(\text{Na}^+\text{+K}^+)\text{-SO}_4^{2-}\text{-Cl}^-$ types. The hydrogeochemical and isotopic contents of the water samples in the study area vary according to local and lithological characteristics. A comparison of the Saturation Index (SI) calculations of geothermal waters with the minerals content of the scales from geothermal wells, revealed that the geothermal waters have calcite and quartz saturation and thus are scale-forming.

The local meteoric water line of the Saraykent-Akdagmadeni Area has been determined as $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}=8.25*\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}+17.90$ ($R^2=0.99$). Both cold waters with hot and mineral waters are meteoric in origin. The hot and mineral waters compared to the cold groundwater have lower $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ and ^3H isotopic values that suggest higher recharge elevation and longer residence times (more than 60 years) of hot water in the geothermal reservoir. It is estimated that the probable elevation areas of recharge calculated for $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ content in hot and mineral waters in both geothermal areas are between 1623 to 1975 m for Saraykent Geothermal Area and 1768 to 1905 m for Akdagmadeni Geothermal Area. These values correspond to the southeast of the study area and the elevations of the Akdagmadeni Horst, which consists of metamorphic rocks (marble, schist).

It shows that the $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ isotope values in geothermal fluids may have originated from the dissolution of freshwater/marine carbonates. These geothermal springs were determined to have originated from volcanic/sedimentary sulfur and evaporites (gypsum etc.) belonging to Central Anatolian Group of Middle Miocene-Pliocene, according to the $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ isotopic value of hot and mineral waters in the study areas. The total alpha and total beta values in water samples taken from Saraykent geothermal waters are higher than other water samples in Akdagmadeni Area. This might be related to granitic intrusions and rhyolitic volcanics in the Saraykent area.

For reservoir temperature, average values were calculated with silica and isotope geothermometers; It was concluded that a reasonable expectation would be around 130 °C in Saraykent Geothermal Area and around 120 °C in Akdagmadeni Geothermal Area.

The conceptual hydrothermal model of the studied area is created by the updated geological-hydrogeological data in the studied areas and detailed hydrogeochemical, geochemical and isotopic data collection and evaluation.

Keywords: Geothermal, hot and mineral water, hydrochemistry, isotope, hydrogeochemical model, Saraykent, Akdagmadeni, Yozgat.

TEŞEKKÜR

Tez danışman hocam Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK'e tez çalışmamın her aşamasında bana göstermiş olduğu olağanüstü desteği, cesareti, inancı, değerli rehberliği ve maddi ve manevi cömert yardımlarından dolayı minnettarlığımı ifade etmek isterim. Çok büyük bilimsel tecrübelerinden dolayı kendisi ile çalışma şansına sahip olduğum için çok mutluyum.

Ayrıca, Tez İzleme Komitesi üyeleri olan Prof. Dr. Mehmet ÇELİK (AÜ) ve Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN (HÜ)'a değerli zamanlarını ayırdıkları, bilgi ve tecrübeleri ile araştırma yöntemlerinin belirlenmesinde ve değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olup ve yorumlarıyla katkıda buldukları için çok teşekkür ederim. Çok büyük bilimsel tecrübelerinden yararlandığım değerli hocalarımla çalışma şansına sahip olduğum için çok mutluyum.

Bu tez çalışmasının deneysel aşamasını oluşturan analizlerin bir kısmı Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ'nin (HÜ) önderliğinde, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) ölçüm cihazlarından yararlanılarak sağlanmış ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ - $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ duraylı izotop analizlerinin yapılmasını Otgonbayar NAMKHAİ ile gerçekleştirip ve önerileriyle destek vermiştir. Su kimyası analizleri ve trityum analizleri Prof. Dr. Serdar BAYARI (HÜ), Prof. Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ), Kimya Mühendisi Füsun MUSLU (HÜ) ve Kimyager Esin ÖNCEL'in (HÜ) de katkılarıyla Su Kimyası Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmesinden dolayı teşekkür ederim.

Tezimin alan çalışmaları sırasında değerli yorumları, önerileri ve motivasyon desteği ile tez çalışmama destek olan Yrd. Doç. Dr. Türker KURTTAŞ'a (HÜ), Bozok Üniversitesi (Yozgat) Kimya Bölümü'nden arazide kullanmam için ölçüm cihazı ve saf su temininde destek oldukları için Doç. Dr. İsmail AKDENİZ'e, meteoroloji ve hava fotoğrafı verileri için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Alan çalışmalarının gerçekleştirilmesi için Yozgat Valiliği, Saraykent ve Akdağmadeni Kaymakamlığı, Yozgat İl Özel İdare Su İşleri Müdürlüğü, Akdağmadeni Belediyesi gerekli kolaylığı gösterip ve daha önceki çalışmalardan faydalanmamı sağladıkları için, ayrıca Saraykent İl Özel İdaresi Müdürlüğü ve Akdağmadeni Öğretmenler Evi çalışanlarına alandan yağmur örneklerini toplayarak tarafıma ulaştırdıkları için çok teşekkür ederim.

Kayaçlarda XRD analizi Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne ait XRD Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olup bu imkanı sağlayan HÜ Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkanlığı'na, örneklerin kurutma ve öğütme işlemini gerçekleştiren Osman KÜÇÜKKURT'a (HÜ), XRD analizini gerçekleştiren Gülay KILINÇ'a (HÜ), bu analiz sonuçlarımın yorumlanmasında katkıda bulunan Doç. Dr. Elif VAROL MURATÇAY'a çok teşekkür ederim.

Tezin çeşitli aşamalarında uzaktan algılama verilerin analizi ve hava fotoğraflarının incelenmesinde yol gösteren Prof. Dr. Tekin YÜRÜR'e (HÜ), Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU'na (HÜ), Yrd. Doç. Dr. İnan ULUSOY'a (HÜ), harita ve kesit çizim programlarının kullanımı esnasında karşılaştığım problemleri çözmeme yardımcı olan Harita Teknikeri Bülent TOPUZ'a (HÜ), Jeoloji (Hidrojeoloji) Yüksek Mühendisi Kemal KOÇ'a, ilk örnekleme alanda yardımcı olan Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisi Deniz ÖZBEK'e ve Tolga TANSEL'e çok teşekkür ederim.

“Saraykent ve Akdağmadeni (Yozgat) Sıcak ve Mineralli Sularının Kökeninin Belirlenmesine Yönelik Hidrojeokimyasal ve İzotopik Ölçüm ve Değerlendirme Çalışması” konulu HÜ BAP ID: 726 ve 014 D09 602 007 nolu destek projesinin finansal desteği ile tezin yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına katkı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜ BAP)'ne çok teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında alan çalışmalarının her aşamasında sabırla ve büyük destekleriyle katkıda bulunan değerli babam Mehmet ÖZULUKALE'ye teşekkürlerimi sunarım. Yaşamım boyunca göstermiş oldukları cesaret, sevgi, sabır, verdikleri manevi destekten dolayı aileme ve değerli meslektaşım Yalçın YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER	ix
ÇİZELGELER.....	xiv
FOTOĞRAFLAR.....	xvi
EKLER	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri.....	2
1.3 Çalışma Alanının Yeri.....	3
1.4 Doruk ve Akarsu Ağı	4
1.5 İklim ve Bitki Örtüsü	5
1.6 Önceki Çalışmalar.....	9
2 ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	12
2.1 Çalışma Alanının Stratigrafisi.....	12
2.1.1 Paleozoyik-Mesozoyik.....	12
2.1.2 Eosen.....	19
2.1.3 Orta Miyosen-Pliyosen	22
2.1.4 Kuvaterner.....	22
2.2 Metamorfizma ve Volkanizma.....	23
2.3 Yapısal Jeoloji.....	23
3 ÇALIŞMA ALANININ HİDROJEOLJİSİ.....	25
3.1 Çalışma Alanındaki Jeotermal Alanlar	25
3.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri	25
3.2.1 Geçirimli Hidrojeolojik Birimler	25
3.2.2 Yarı Geçirimli Hidrojeolojik Birimler	26
3.2.3 Geçirimsiz Hidrojeolojik Birimler	26
3.3 Çalışma Alanındaki Kaynaklar	28

3.4	Çalışma Alanındaki Sondaj Kuyuları	29
4	ÇALIŞMA ALANINDAKİ ÖRNEKLEME İŞLEMLERİ.....	35
4.1	Çalışma Alanındaki Örneklemeler	35
4.2	Gerçekleştirilen Analizler	38
5	HİDROJEOKİMYA	41
5.1	Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	41
5.1.1	Hidrokimyasal Fasiyes Türleri	43
5.1.2	Hidrokimyasal Fasiyeslerin Dağılımı	43
5.1.3	Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler	44
5.2	Suların Mineral Doygunluk İndeksi ve Jeokimyasal Bulguların Değerlendirilmesi .	51
5.3	Sulama Suyu Sınıflandırılması.....	52
5.4	Sulardaki Kirlilik Değerlendirmeleri	59
6	İZOTOP HİDROJEOLJİSİ.....	64
6.1	Duraylı İzotoplar ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$)	64
6.1.1	Sulardaki $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ - $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ İlişkisi ve Ortalama Beslenme Yükseltisi.....	67
6.1.2	Sulardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ İzotopu Analizleri.....	76
6.1.3	Sulardaki $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ İzotopu Analizleri.....	78
6.2	Sulardaki Tritiyum İzotopu (TU) Analizleri	81
6.3	Sularda Toplam Alfa (α) ve Toplam Beta (β) Analizi	84
7	REZERVUAR MUHTEMEL SICAKLIĞININ BELİRLENMESİ.....	86
7.1	Kasyon Jeotermometreleri.....	86
7.2	Silis Jeotermometreleri.....	89
7.3	İzotop Jeotermometresi	92
8	KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL.....	95
8.1	Rezervuar ve Örtü Kayaçlar.....	95
8.2	Beslenme Alanı	96
8.3	Isı Kaynağı	96
9	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
	KAYNAKLAR.....	106
	EKLER	109

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	4
Şekil 1.2. Doruk ve Akarsu Ağı Haritası.....	5
Şekil 1.3. Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan bazı meteoroloji istasyonlarının konumlarının dağılımı.	6
Şekil 1.4. Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan bazı meteoroloji istasyonlarının ortalama yıllık yağış ve sıcaklık değerlerinin grafiği	7
Şekil 2.1. Çalışma alanının jeolojik haritası (Akçay vd. [13], Dalkılıç vd. [14]'den düzenlenerek alınmıştır).	14
Şekil 2.2. Saraykent-Akdağmadeni (Yozgat) çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti ([2], [13] ve [14]'den yararlanılarak hazırlanmıştır).	15
Şekil 2.3. Saraykent bölgesinin jeolojik enine kesiti (A-A'-A'' kesiti).	16
Şekil 2.4. Saraykent bölgesinin jeolojik enine kesiti (C-C' kesiti).	16
Şekil 2.5. Akdağmadeni-Melikli-Karadikmen bölgesinin jeolojik enine kesiti (D-D'-D''-D''' kesiti).	17
Şekil 2.6. X-X''' noktalarını birleştiren kısma ait jeolojik şematik blok diyagram (Akçay vd. [13], Dalkılıç vd. [14] jeolojik haritasından düzenlenerek hazırlanmıştır).	17
Şekil 3.1. Çalışma alanının hidrojeolojik haritası (Akçay vd. [13], Dalkılıç vd. [14] jeolojik haritalarından yararlanılarak hazırlanmıştır).	27
Şekil 3.2. Saraykent-Akdağmadeni (Yozgat) çalışma alanındaki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren genelleştirilmiş hidrostratigrafik kesiti ([2], [13], [14]'den yararlanılarak hazırlanmıştır).	28
Şekil 3.3. Çalışma alanına ait açılmış sondaj kuyularının jeolojik logları ve ölçeksiz krokisi ([6], [7], [11] ve [12]'den yararlanılarak hazırlanmıştır).	32
Şekil 3.4. Saraykent bölgesinin enine hidrojeolojik kesiti (C-C' kesiti).	33
Şekil 3.5. Akdağmadeni-Melikli-Karadikmen bölgesinin enine hidrojeolojik kesiti (D-D'-D''-D''' kesiti).	34
Şekil 4.1. Çalışma alanından toplanan su ve yağış örneklerinin konumsal dağılımı.	39

Şekil 5.1. Çalışma alanındaki iyonların dağılımı (dairesel diyagramı).....	45
Şekil 5.2. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.....	47
Şekil 5.3. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.....	47
Şekil 5.4. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.....	48
Şekil 5.5. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.....	48
Şekil 5.6. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.....	49
Şekil 5.7. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.....	49
Şekil 5.8. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.....	50
Şekil 5.9. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.....	50
Şekil 5.10. Eylül 2014 döneminde çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi grafiği.....	51
Şekil 5.11. Mart 2015 döneminde çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi grafiği.....	52
Şekil 5.12. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi grafiği.....	52
Şekil 5.13. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.....	53
Şekil 5.14. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.....	54
Şekil 5.15. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.....	55

Şekil 5.16. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.....	56
Şekil 5.17. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.....	57
Şekil 5.18. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.....	58
Şekil 5.19. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.....	58
Şekil 5.20. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.....	59
Şekil 5.21. Eylül 2014 dönemine ait kirlilik göstergesi olan iyonların grafiksel gösterimi.	60
Şekil 5.22. Mart 2015 dönemine ait kirlilik göstergesi olan iyonların grafiksel gösterimi.	61
Şekil 5.23. Ağustos 2015 dönemine ait kirlilik göstergesi iyonların grafiksel gösterimi. ..	61
Şekil 5.24. Şubat 2016 dönemine ait kirlilik göstergesi olan NO ₃ iyonunun grafiksel gösterimi.	62
Şekil 6.1. Dönemsel olarak çalışma alanından toplanan yağış (yağmur ve kar) örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop değerlerine göre hazırlanan Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun (LMWL) grafiği.	69
Şekil 6.2. Küresel Meteorik Su Doğrusu-GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Eylül 2014 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.....	70
Şekil 6.3. Çalışma alanındaki Eylül 2014 tarihine ait soğuk su kaynaklarına ait su örneklerinin $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ -yükseklik (m) grafiği.	70
Şekil 6.4. Küresel Meteorik Su Doğrusu-GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Mart 2015 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.....	71
Şekil 6.5. Çalışma alanındaki Mart 2015 tarihine ait soğuk su kaynaklarına ait su örneklerinin $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ -yükseklik (m) grafiği.	72

Şekil 6.6. Küresel Meteorik Su Doğrusu-GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Ağustos 2015 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.....	73
Şekil 6.7. Çalışma alanındaki Ağustos 2015 tarihine ait soğuk su kaynaklarına ait su örneklerinin $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}-\text{yükseklik (m)}$ grafiği.....	73
Şekil 6.8. Küresel Meteorik Su Doğrusu, GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni alanına ait Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Şubat 2016 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.....	74
Şekil 6.9. Sıcak ve mineralli suların beslenme yükseltisinin dönemsel olarak ortalamadan sapmasıyla belirlenen grafiği (kırmızı hat Akdağmadeni sıcak ve mineralli suları için, yeşil hat Saraykent sıcak ve mineralli suları için beslenme yükseltisi aralığı belirlenmiştir).	75
Şekil 6.10. Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların beslenme yükseltisiyle ilişkisinin gösterilmesi.....	76
Şekil 6.11. Karbon kaynaklarının $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ aralıklarının dağılımı [32] ve Mart 2015 dönemine ait su örneklerinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (‰, VPDB) izotop değerlerinin gösterimi.	78
Şekil 6.12. Doğada bulunan farklı sülfür formu kaynaklarının $\delta^{34}\text{S}$ aralıkları [33] ve Mart 2015 tarihindeki su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerlerinin gösterimi.	79
Şekil 6.13. Sülfür izotop kaynaklarının $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ aralıkları [32] ve Mart 2015 tarihindeki su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerlerinin grafiği.....	80
Şekil 6.14. Sülfür izotop kaynaklarının $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4} - \delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ grafiğinde [32] Mart 2015 tarihindeki su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop değerlerinin gösterimi.....	81
Şekil 6.15. Çalışma alanındaki su örneklerinin Cl (ppm) ve ^3H (TU) içeriklerinin konumsal dağılımı.....	84
Şekil 7.1. Na/1000-K/100- $\sqrt{\text{Mg}}$ üçgen diyagramı (Giggenbach [35]) üzerinde çalışma alanından toplanan Eylül 2014 tarihine ait su örneklerinin gösterimi.....	86
Şekil 7.2. Na/1000-K/100- $\sqrt{\text{Mg}}$ üçgen diyagramı (Giggenbach [35]) üzerinde çalışma alanından toplanan Mart 2015 tarihine ait su örneklerinin gösterimi.....	87
Şekil 7.3. Na/1000-K/100- $\sqrt{\text{Mg}}$ üçgen diyagramı (Giggenbach [35]) üzerinde çalışma alanından toplanan Ağustos 2015 tarihine ait su örneklerinin gösterimi.	87

Şekil 7.4. Çalışma alanındaki su örneklerinin katyon jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları aralığı.	89
Şekil 7.5. Çalışma alanındaki su örneklerinin silis ve kalsedon jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları aralığı.	92
Şekil 7.6. Çalışma alanındaki su örneklerinin izotop jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları aralığı.	93
Şekil 8.1. Saraykent Jeotermal Alanı'nın şematik kavramsal hidrotermal-hidrojeokimyasal modeli (B-B'- B'' kesiti).	99
Şekil 8.2. 1-4 noktalarını birleştiren kısımda yer alan Akdağmadeni-Karadikmen bölgesinin şematik kavramsal hidrotermal-hidrojeokimyasal modelini gösteren enine kesit.	100

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1.1. Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarından ölçülen ortalama aylık yağışlar (mm).....	7
Çizelge 1.2. Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarından ölçülen ortalama aylık sıcaklıklar (°C).....	8
Çizelge 5.1. Çalışma alanındaki su örneklerinin sıcaklık değişiminin karşılaştırılması.	42
Çizelge 5.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin iyon dizilimlerinin dönemsel olarak karşılaştırılması.....	46
Çizelge 6.1. Çalışma alanında dönemsel olarak gerçekleştirilen analizler.....	64
Çizelge 6.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin dönemsel $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (V_{SMOW} , ‰) analiz sonuçları.....	65
Çizelge 6.3. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin Eylül 2014 tarihindeki $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerlerinden faydalanılarak beslenme yükseltisinin (m) hesaplanması (Yükseklik= $(\delta^2\text{H}+52.92)/-0.02$).	71
Çizelge 6.4. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin Mart 2015 tarihindeki $\delta^2\text{H}$ değerlerinden faydalanılarak beslenme yükseltisinin (m) hesaplanması (Yükseklik= $(\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}+15.72)/-0.045$).	72
Çizelge 6.5. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin Ağustos 2015 tarihindeki $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerlerinden faydalanılarak beslenme yükseltisinin (m) hesaplanması (Yükseklik= $(\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}+38.86)/-0.027$).	74
Çizelge 6.6. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin farklı dönemler için hesaplanan beslenme yükseltisinin (m) karşılaştırılması.	75
Çizelge 6.7. Mart 2015 döneme ait $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (V_{PDB} , ‰) izotop değerleri.....	77
Çizelge 6.8. Mart 2015 dönemi su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop sonuçları... ..	78
Çizelge 6.9. Çalışma alanındaki su örneklerinin dönemsel trityum analiz sonuçları.....	82
Çizelge 6.10. Mart 2015 tarihindeki sudaki toplam alfa ve toplam beta analiz sonuçları... ..	85
Çizelge 7.1. Katyon jeotermometre eşitlikleri (değişimler ppm'dir).	88

Çizelge 7.2. Katyon jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları (Çizelge 7.1'deki sıralamaya göre hesaplanmıştır).	88
Çizelge 7.3. Silis jeotermometreleri için sıcaklık eşitlikleri ($S = \text{SiO}_2$, ppm).....	90
Çizelge 7.4. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarında dönemsel analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan silis jeotermometre hesaplaması (Çizelge 7.3'deki sıralamaya göre hesaplanmıştır).	91
Çizelge 7.5. Mart 2015 tarihindeki analiz sonuçlarına göre $\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ jeotermometresi ile çalışma alanındaki sıcak suların rezervuar muhtemel sıcaklığının ($^{\circ}\text{C}$) hesaplanması.	93
Çizelge 8.1. Çalışma alanının kavramsal hidrotermal modelinin çizelgesi (YSA5 sıcaklık ve izotop değerleri Eylül 2014 iken, diğer su örneklerinin değerleri Eylül 2014-Mart 2015 tarihlerine ait ortalama olarak verilmiştir).....	98

FOTOĞRAFLAR

Sayfa

Foto 2.1. Akdağmadeni’nde Kırşehir Masifi metamorfitlei içerisindeki fay zonunun görünümü (Sivas-Yozgat Karayolu’ndan kuzeye bakış).....	18
Foto 2.2. Akdağmadeni’nde Kırşehir Masifi metamorfitlei içerisindeki fay düzleminin yakından görünümü Akdağmadeni’nde Kırşehir Masifi metamorfitlei içerisindeki fayın görünümü (Sivas-Yozgat Karayolu’ndan Akdağmadeni Mevkii kuzeye bakış).....	18
Foto 2.3. Saraykent, Hamam Mevkiine giden yol üzerinde görülen volkanitler.....	20
Foto 2.4. Saraykent, Hamam Mevkiine giden yol üzerinde görülen asidik karakterli volkanitler.....	21
Foto 2.5. Karadikmen (Akdağmadeni) bazalt stnları.	21
Foto 2.6. Muşalikalesi Köyü Kalesinde (Akdağmadeni) bazalt birimleri.	21
Foto 4.1. Saraykent jeotermal kuyularından (YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) rnek toplama ve ölçüm çalışması görünümü.	35
Foto 4.2. Karadikmen jeotermal kuyusu (YSA3), Uyuz Hamamı (YSA6), Karadikmen civarı jeotermal kaynaktan (YSA5) rnek alımı.....	36
Foto 4.3. Akdağmadeni’nden yağmur (YSA-A), akarsu (YSA10), soğuk su kaynağı (YSA4) ve kardan (K4) rnek alımı.....	37
Foto 4.4. Saraykent jeotermal kuyularından kabuklaşma örneğı alımı.	38

EKLER

Sayfa

EK 1. Çalışma Alanının Jeolojik Haritası ([13], [14]'den düzenlenerek alınmıştır).....	109
Ek 2. Çalışma Alanından Eylül 2014'teki (1. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).....	110
EK 3. Çalışma Alanından Mart 2015'teki (2. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).....	113
EK 4. Çalışma Alanında Ağustos 2015'teki (3. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).....	116
EK 5. Çalışma Alanında Şubat 2016'daki (4. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).....	119
EK 6. YSA13 Kodlu Kabuklaşma Örneğinin XRD Grafikleri (a, b).....	121
EK 7. YSA15 Kodlu Kabuklaşma Örneğinin XRD Grafikleri (a, b).....	123
EK 8. YSA16 Kodlu Kabuklaşma Örneğinin XRD Grafiği.....	125

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

L/s	Litre/Saniye
m	Metre
meq/L	Miliekivelan/Litre
mg/L	Miligram/Litre
pH	Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritması
ppm	Milyonda bir
ppb	Milyarda bir
² H ₂ O	Sudaki döteryum izotopu
³ H	Tritiyum izotopu
¹⁸ O _{H₂O}	Sudaki oksijen-18 izotopu
¹⁸ O _{SO₄}	Suda çözülmüş sülfata ait oksijen-18 izotopu
³⁴ S _{SO₄}	Suda çözülmüş sülfata ait kükürt-34 izotopu
¹³ C _{DIC}	Çözülmüş inorganik karbonun karbon-13 izotopu
µS/cm	MikroSiemens/Santimetre
δ	İzotop değişiminin standarttan sapma miktarı (binde)
R ²	Belirleme katsayısı
SI	Doygunluk İndeksi
t	Sıcaklık (°C)
T	Hidrolik İletkenlik Katsayısı
S	Depolama Katsayısı
σ	Standart Sapma

Kısaltmalar

AÜ	Ankara Üniversitesi
BAP	Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
CDT	Canon Diablo Troilite Standartı
DIC	Çözülmüş İnorganik Karbon
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DMSHY	Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik
Eİ	Özgül Elektriksel İletkenlik

GMWL	Global Meteoric Water Line (Dünya Meteorik Su Doğrusu)
HÜ	Hacettepe Üniversitesi
JK	Jeotermal Kuyu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PDB	Pee Dee Belemnite Standartı
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
V _{SMOW}	Viyana Ortalama Okyanus Suyu Standardı (Standart Mean of Ocean Water)
TS	Türk Standartları
TU	Tritiyum Birimi
UKAM	Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi

1 GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji, üretilen akışkan sıcaklığına göre elektrik üretimi, konut ısıtmacılığı, seracılık, balneoloji vb. alanlarda kullanım olanaklarının olması bu enerji kaynağına yönelimi arttırmaktadır.

Türkiye, jeolojik ve tektonik özelliklerinden dolayı jeotermal kaynaklar bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. İç Anadolu Bölgesi'nde de yerel enerji kaynağı olan sıcak ve mineralli suların incelenmesi ve değerlendirilmesiyle bu enerjinin geliştirme olanaklarının ve kullanım özelliklerinin belirlenmesinin bölgenin kalkınmasına ve gelişmesine imkan sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışma alanından Ankara-Sivas yüksek hızlı tren hattının da geçmesi jeotermal kaynaklara ulaşımı ve bu enerjiden faydalanma olanaklarını da arttırması beklenmektedir.

Bu tez çalışmasında, Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanları'ndaki jeotermal akışkanın fiziksel, kimyasal, izotopik ve radyoaktivite (toplam alfa ve toplam beta) özelliklerinin incelenmesi ile jeotermal sistemin beslenme bölgesi ve dolaşım mekanizması belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece, çalışma alanındaki jeotermal sistemin kavramsal hidrotermal modelinin oluşturulmasına odaklanılmıştır. Ayrıca, çalışma ile bölgedeki jeotermal kaynaklardan (kaynak ve kuyu) yararlanma olanaklarının belirlenmesine de katkıda bulunulmuştur.

1.1 Amaç ve Kapsam

Jeotermal rezervuardaki akışkan hidrolojik çevrimin bir parçasıdır. Bu nedenle, sıcak ve mineralli suların sürdürülebilirliğini sağlamak için jeotermal rezervuardaki akışkanın beslenme ve dolaşımı dikkate alınarak sistem yaklaşımına gerek duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında esas olarak, Yozgat İli'nin Saraykent ve Akdağmadeni ilçelerini kapsayan jeotermal alanlarda jeotermal rezervuarın beslenmesini sağlayan genellikle derin dolaşımlı olan yeraltısuyu akım sistemlerinin hidrojeokimyasal ve izotopik incelemesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu tez çalışmasında, Yozgat İli Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanı'nda jeotermal sistemi tanımlamak için elde edilen hidrojeokimyasal ve izotopik verilerle beraber çalışma alanının jeolojik özellikleri de dikkate alınarak sistemin kavramsal hidrotermal modelinin oluşturulması ve jeotermal sudan yararlanma olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanında yapılan önceki çalışmalardan da derlenen verilerle birlikte hidrokimyasal analiz sonuçları ile hidrojeokimyasal fasiyes dağılımları belirlenmiş

ve sulara çevresel izotoplar ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$, ^3H), suda çözülmüş inorganik karbonun $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izotopu ile sülfata ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotopu ve radyoaktivite (toplam alfa ile toplam beta) analizleri doğal izleyici olarak kullanılmıştır. Böylece, jeotermal sistemi besleyen akım yollarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Hidrokimyasal analiz sonuçları ile jeotermal akışkanın kuyularda kabuklaşma veya korozyon oluşturma potansiyeli ve olası kirlilik türü ile kısmen balneolojik özellikleri de araştırılıp kullanım olanakları da incelenmiştir. Tez 9 ayrı bölümden oluşmaktadır.

1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Saraykent ve Akdağmadeni sıcak ve mineralli sularının bulunduğu alanda büro, arazi ve laboratuvar çalışmaları şeklinde yürütülmüştür.

Çalışma alanındaki jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenebilmesi için alandaki birimlerin litolojik özellikleriyle birimler arasındaki tektonik ilişkilerin belirlenmesi gerekmiştir. Bölgede jeolojik amaçlı çalışmalar derlenerek, çalışma alanının genişliği de dikkate alınarak bu alanın 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur.

Temmuz (2014) ayında ön arazi çalışması yapılarak çalışma alanı içerisindeki sıcak su noktalarının (sondaj kuyuları, sıcak/soğuk su kaynakları) konumları GPS ile belirlenmiştir

Eylül (2014) ayında yağış sularının örneklenmesinden faydalanmak için çalışma alanına plüviyometreler kurulmuştur. Eylül (2014), Mart (2015), Ağustos (2015), Şubat (2016) dönemlerinde çalışma alanındaki kaynaklar, kuyular, akarsular ve/veya yağışlardan (yağmur/kar) kimyasal ve izotopik analizler için örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanından 28 noktadan su örneği, 7 noktadan yağış (yağmur ve kar) örneği toplanarak laboratuvarlarda hidrokimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Ayrıca, jeotermal kuyulardan 3 adet kabuklaşma örnekleri toplanarak XRD analizi gerçekleştirilmiştir Tüm su örneklerinin kimyasal sonuçlarından, hidrojeokimyasal çalışmalarda yaygın olarak kullanılan diyagramlardan yararlanılarak litoloji ve hidrokimya arasındaki ilişki açıklanarak köken değerlendirmelerinde, olası rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesi için jeotermometre hesaplamalarında, doygunluk indeksi hesaplamasıyla ortamın özelliklerinin ve suların kullanım esnasında kuyuda ne tür kabuklaşmalar oluşturabileceğini belirlemek için kullanılmıştır. Jeotermal kuyularının bazılarında alınan kabuklaşma örneklerinin XRD analiz sonuçları ile doygunluk indeksi hesaplamaları karşılaştırılarak değerlendirilerek jeotermal kuyuların işletilmesi esnasında oluşabilecek kabuk türlerinin belirlenmesinde de kullanılmıştır.

Tüm su örneklerinin izotop analiz sonuçlarından köken değerlendirmelerinde, sığ ve derin dolaşımli suların ayırt edilmesinde, jeotermal suyun beslenme yükseltisinin belirlenmesinde, olası rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesi için jeotermometre hesaplamalarında ve alanın yerel meteorik su doğrusunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Buna göre kuyulardaki kabuklaşma türü belirlenmiştir. Mevcut jeotermal sondaj kuyularına ait kuyu logları yardımıyla rezervuar ve örtü birim litolojileri ayırt edilmiştir.

Elde edilen veriler, literatürdeki jeolojik, hidrojeolojik ve sondaj çalışmalarının birlikte değerlendirilmesiyle Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanı'nın kavramsal hidrotermal modeli oluşturulmuştur.

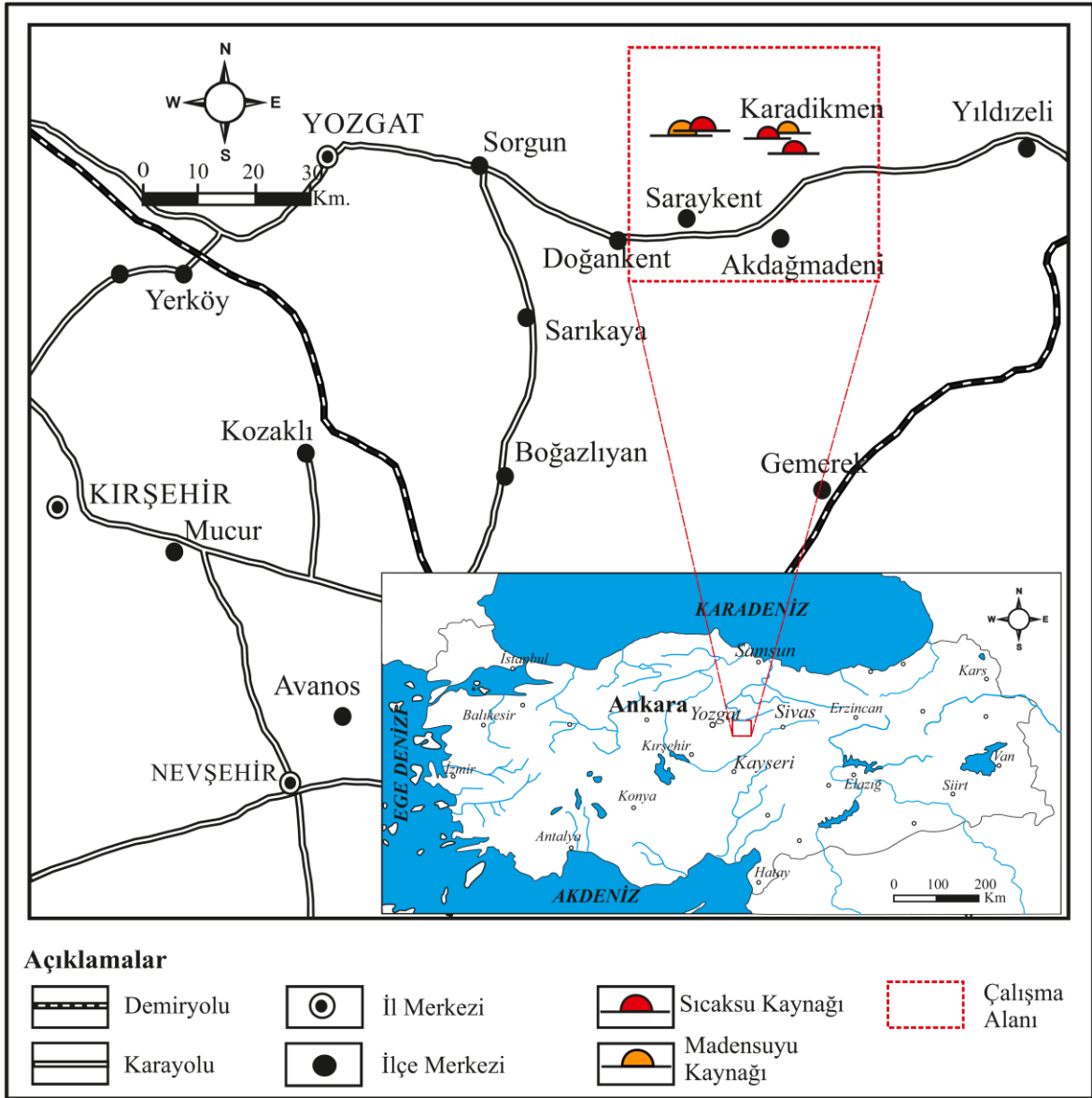
Verileri işleme ve değerlendirme sürecinde ArcGIS 10.3 ve PhreeqC Interactive 3.3.7 yazılımlarından faydalanılmıştır.

1.3 Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Yozgat İli'nin doğusuyla Sivas İli'nin batısı arasında kalan, Yozgat İ-34 ve İ-35 paftalarında yer alan yaklaşık 2070 km² lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanı Çekerek Irmağı'nın alt havzaları olan Saray Dere ve Madensuyu Dere havzalarını içeren, batıda Yozgat il sınırı içerisindeki Dedefakılı Köyü, doğuda Evcı Köyü, kuzeyde Çekerek Irmağı ve güneyde ise Beşçatak Köyü, Geyikli Dağı ve Gündos Tepe ile sınırlandırılmıştır.

Çalışma alanında en önemli yerleşim alanları Saraykent ve Akdağmadeni İlçeleri'dir. Yozgat-Sivas D200/E88 Karayolu ile çalışma alanına ulaşım sağlanmaktadır. Çalışma alanındaki çoğu örnekleme noktalarına ulaşım kolay iken bazı sıcak ve mineralli suların buldukları yerlerdeki tali yollarda ise traktörle ulaşım sağlanmıştır. Ayrıca, yapılmakta olan Ankara-Sivas yüksek hızlı tren hattı da çalışma alanı içerisinde geçecektir.

Çalışma alanı içerisinde Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanları yer almaktadır. Yerleşim alanları dere yakınlarındaki düzlüklerde yer almasına karşın yüksek kotlardaki yerleşim yerlerine de ulaşım kolaylıkla sağlanmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

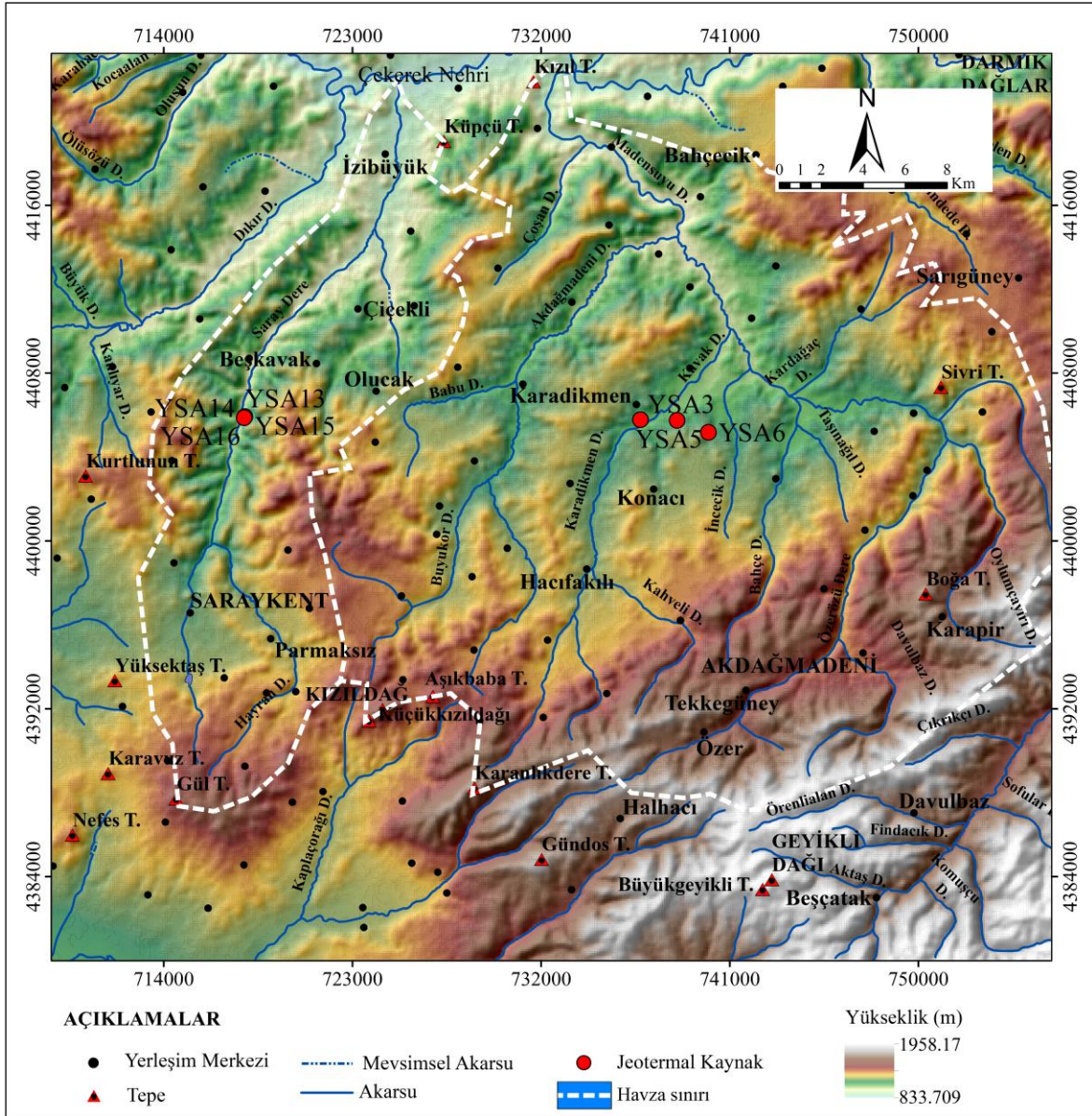
1.4 Doruk ve Akarsu Ağı

Çalışma alanının kuzeyinde ve güneyinde jeomorfolojik olarak yükselti ve çöküntü alanları bulunmaktadır (Şekil 1.2). Çalışma alanın güneyinde doruk hatları en doğudan Karapir Köyü'nden Beşçatak Köyüne kadar olan kesimde KD-GB doğrultuda birbirine paralel doruk hatları görülürken Sarıgüney Köyü'nden Bahçecik Köyü dolayında keskin bir dönüş ile KB-GD yönüne yönelmektedir.

Alandaki en büyük akarsu alanının kuzeyinde doğudan batıya doğru geniş bir yatak içerisinde menderesli akış gösteren Yeşilırmak Nehri'nin alt kolu olan Çekerek Irmağı'na aittir.

Çekerek Irmağı'nın yıllık akım ortalaması 14.4 m³/s dir [1]. Çekerek Irmağı'na kavuşan önemli yan kollar, Olusun Dere, Dıkır Dere, Saray Dere, Madensuyu Dere, Gündelen

Deresi'nden oluşmaktadır. Bu derelerden Olusun Dere, Dıkır Dere ve Saray Dere yaklaşık olarak GB'dan KD'ya doğru akarken Madensuyu Dere, yaklaşık GD'dan KB'ya doğru akmakta olup birçok yan kollardan oluşmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Doruk ve Akarsu Ağı Haritası

1.5 İklim ve Bitki Örtüsü

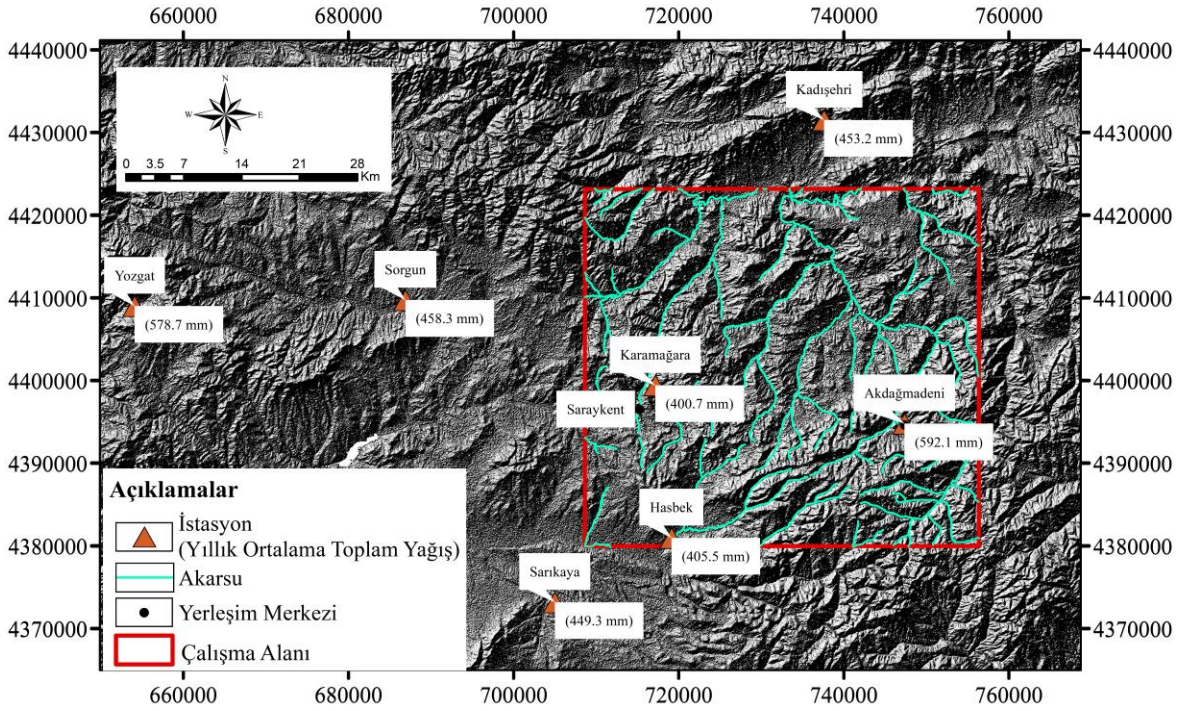
Çalışma alanı İç Anadolu İklimi'nin özelliklerini yansıtacak biçimde yazları sıcak ve kurak olup kışları soğuk ve yağışlıdır.

Çalışma alanı içerisinde veya yakın civarında bulunan meteoroloji istasyonlarının (DMI ve DSI'ye ait) konumları ile ortalama yıllık toplam yağış ve sıcaklık grafiği Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te gösterilmiştir. Bu istasyonların uzun yıllar ortalama aylık yağış ve sıcaklık değerleri sırasıyla Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2 de görülmektedir.

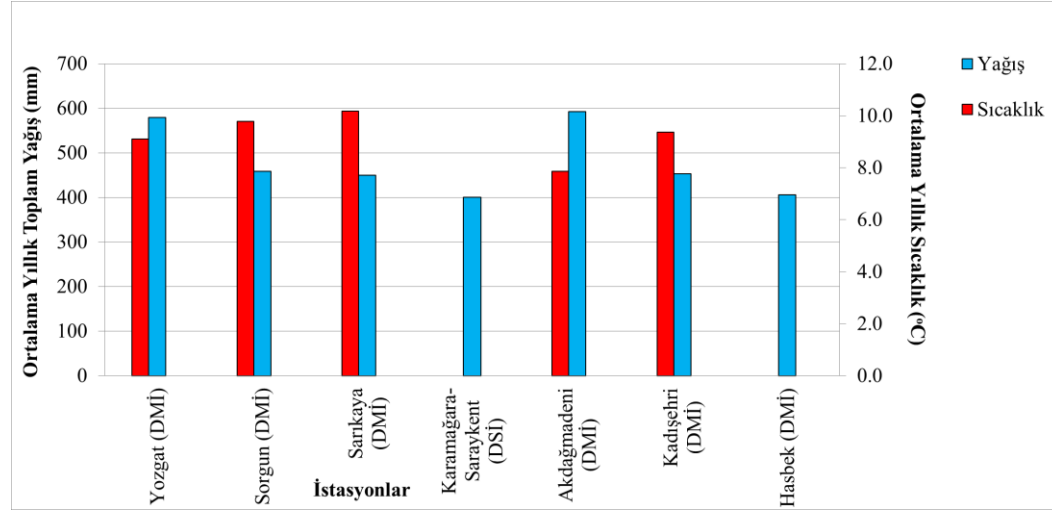
Çalışma alanı ve çevresindeki yağış istasyonlarından hesaplanan ortalama yıllık toplam yağış 400.7-592.1 mm arasında değişmektedir. En büyük ortalama aylık yağış miktarı genellikle Mayıs ayında Sorgun (62.6 mm), Sarıkaya (65.4 mm), Karamağara-Saraykent (60.6 mm), Akdağmadeni (78.0 mm), Kadışehri (73.8 mm), Nisan ayında Hasbek (59.2 mm), aralık ayında ise Yozgat (76.2 mm), en küçük ortalama aylık yağış miktarı ise Temmuz-Eylül aylarında düşmektedir (Çizelge 1.1). Bölge genelinde ortalama yıllık sıcaklıklar 9 °C civarındadır (Çizelge 1.2).

Uzun yıllar ortalama aylık sıcaklıklar Çizelge 1.2’de incelendiğinde 0 °C’nin altındaki ortalama aylık sıcaklıklar Ocak ve Şubat aylarında ve en sıcak ayın Ağustos olduğu incelenen istasyonlarda görülmektedir.

Saraykent Jeotermal Alanı’nda bitki örtüsü bozkır iken Akdağmadeni Jeotermal Alanı’nın güney kısmındaki yükseltilerde genellikle çam ağaçlarından oluşan orman örtüsü çok fazla yer kaplamaktadır. Çalışma alanının kuzey kısmındaki düzlüklerde halk tarım ve hayvancılığı bir arada yapmaktadır.



Şekil 1.3. Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan bazı meteoroloji istasyonlarının konumlarının dağılımı.



Şekil 1.4. Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan bazı meteoroloji istasyonlarının ortalama yıllık yağış ve sıcaklık değerlerinin grafiği

Çizelge 1.1. Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarından ölçülen ortalama aylık yağışlar (mm).

İstasyon	Kayıt Aralığı	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama Yıllık Toplam
Yozgat (DMİ)	1950-2015	68.7	62.8	67.0	62.3	65.3	44.4	12.4	8.9	17.8	36.8	56.1	76.2	578.7
Sorgun (DMİ)	1985-1986; 1988-2009	42.2	43.2	42.6	54.3	62.6	37.2	10.2	10.1	19.7	32.6	51.4	52.1	458.3
Sarıkaya (DMİ)	1986-1992	34.3	35.8	41.3	54.0	65.4	37.8	15.9	6.4	10.6	36.4	59.8	51.5	449.3
Karamağara-Saraykent (DSİ)	1983-1987; 1991-1993	53.8	34.5	26.4	46.7	60.6	31.9	6.6	10.9	7.0	40.3	47.2	34.8	400.7
Akdağmadeni (DMİ)	1965-1973; 1977-1989	63.0	51.4	65.1	76.6	78.0	49.9	12.4	10.4	15.8	43.2	57.4	68.9	592.1
Kadışehir (DMİ)	1988-1992	25.9	40.2	32.5	72.1	73.8	53.3	7.9	3.8	8.3	32.0	60.8	42.6	453.2
Hasbek (DMİ)	1966-1981	48.6	31.7	50.8	59.2	52.2	31.3	7.6	5.6	13.3	23.8	32.1	52.1	405.5

Çizelge 1.2. Çalışma alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarından ölçülen ortalama aylık sıcaklıklar (°C).

İstasyon	Kayıt Aralığı	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama Yıllık Toplam
Yozgat (DMİ)	1950-2015	-1.8	-0.8	3.0	8.5	13.1	16.8	19.7	19.8	15.6	10.3	4.6	0.5	9.1
Sorgun (DMİ)	1985-1986; 1988-2009	-2.0	-1.2	4.0	9.7	14.0	17.9	20.8	21.2	16.6	11.3	4.7	0.3	9.8
Sarıkaya (DMİ)	1986-1992	-2.0	-0.2	4.3	10.5	13.3	17.8	21.0	21.9	17.4	12.3	5.5	0.5	10.2
Akdağmadeni (DMİ)	1965-1973; 1977-1989	-2.5	-0.9	2.4	7.7	11.7	14.8	17.4	17.4	14.3	8.9	3.9	-0.5	7.9
Kadışehri (DMİ)	1988-1992	-3.5	-2.14	4.6	10.56	13.1	17.22	19.52	20	16.12	11.88	5.08	0	9.4

1.6 Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ilgili alt bölümlerde detaylı olarak verilmiştir. Bu çalışmaya temel olabilecek nitelikte görülen önceki çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

Ketin [2], “Yozgat Bölgesinin Jeolojisi ve Orta Anadolu Masifinin Tektonik Durumu” çalışmasında Yozgat-Yerköy-Sorgun ve Saraykent civarını da içeren 1/100.000 ölçekli jeolojik etüt yaparak temel birimler ile Eosen yaşlı birimleri ayırtlamıştır.

Büyükönal [3], “Yozgat ve Yakın Çevresi Mağmasal Kayaçlarının Petrografisi ve Petrokimyası” isimli tez çalışmasında bölgedeki magmatik (volkanik ve derinlik) kayaçların petrografik, mineralojik ve kimyasal incelemesini yaparak birimleri ayırtlamıştır. Bölgedeki asit ve bazik mağmasal kayaçların Üst Kretase ’den genç, Eosen’den yaşlı olduğunu belirterek, volkanitlerin ise Lütesiyen öncesi-Lütesiyen sonrası yaşta kayaç türlerini içerdiğini belirtmektedir.

Dökmeci [4], “Akdağmadeni yöresinin jeolojisi” çalışmasında Akdağmadeni (Yozgat) civarındaki jeolojik birimleri Akdağ Metamorfik Grubu, Magmatitler ve Eosen birimler şeklinde açıklamıştır. Bölgenin tektonizması hakkında açıklamalara da yer verilerek, bu alandaki kıvrım eksenlerinin de kıvrımlı olması metamorfitlelerin ikinci kez tektonizmadan etkilendiğini belirtmiştir.

Sağiroğlu [5], Akdağmadeni (Yozgat) cevherleşmelerinin skarn oluşuklarını inceleyerek cevherleşmeler çevresinde gözlenen skarn oluşuklarının bölgesel başkalaşım kayaçları ve granitik kayaç dokanağı boyunca geliştiğini belirtmiştir.

Yurdagül [6], “Yozgat Akdağmadeni Saraykent (Karamağara) Eski Roma Hamamı Hidrojeoloji İncelemesi” çalışmasında DSİ tarafından 4 m aralıklı açılan 30 m derinlikli 34216 numaralı ve 66 m derinlikli 34217 numaralı sondaj kuyularında Saraykent Jeotermal Alanı için rezervuarın hidrolik karakteristiklerini ($T=100 \text{ m}^2/\text{gün}$ ve $S=1 \cdot 10^{-4}$) belirlemiştir. Bu sondaj kuyularından 65-70°C sıcaklık elde edildiğini ve suların korozif özellikte olduğunu belirtmiştir. Yozgat-Saraykent Jeotermal Alanı civarında 1/5000 ölçekli jeoloji haritasını da yaparak, 34217 numaralı sondaj kuyusunun işletmeye uygun olduğunu ve pompayla 10 L/s işletme debisi olarak önermiştir.

Çağlayan [7], Yozgat-Akdağmadeni-Karadikmen Jeotermal Enerji Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu’nda YAK 2010/8 kuyunun civarındaki alanın jeolojisi ve sondaj çalışmaları

hakkında bilgiler yer almaktadır. Açılan YAK 2010/8 kuyusunun 486 m derinlikte olduğunu, kompresörle 100 L/s debi ve 50°C sıcaklıkta akışkan elde edildiği bildirilmiştir.

Burçak vd. [8], Saraykent (Karamağara) kaplıcasını da içine alan alanda jeotermal jeolojisi çalışması yaparak alanın stratigrafisi ve tektoniğini belirlemeye çalışmışlardır. Bu alanda kısmi jeofizik ölçümler alınmış olup değerlendirmede bulunmuşlardır. Bu alandan toplanan soğuk ve sıcak su örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri hakkında yorumlarda bulunmuşlardır. Alanda kayaçların alterasyon koşullarının belirlenmesi amacıyla alterasyon numunesi alarak XRD analizlerini yaptırarak değerlendirmişlerdir. XRD analizi sonucunda hidrotermal mineral topluluğu olarak opal, simektit, kaolinit ve illit olduğunu belirlemişlerdir. Bu mineral topluluğuna göre dasit ve piroklastiklerde gelişen yüzey alterasyonunu oluşturan akışkanların pH koşullarının zayıf asit-nötral karakterli olduğunu ve alterasyona neden olan akışkanların yaklaşık 100°C sıcaklıkta olduğunu belirtmişlerdir.

Saraykent Jeotermal Alanı'nda bulunan akışkanın Na-HCO₃-SO₄ su tipinde olduğu ve sıg kuyuda % 90.16 CO₂, % 6.30 N₂, % 3.50 O₂, 400 ppm H₂, 43 ppm H₂S, 14 ppm CH₄ gazı ölçüldüğünü belirtmişlerdir.

Şimşek vd. [9], “Yozgat Saraykent ve yakın çevresinin jeotermal potansiyelinin araştırılması ve etüdü projesi raporu” çalışmasında Yozgat Valiliği adına gerçekleştirilen projede alanda jeolojik, hidrojeolojik ve kısmi jeofizik inceleme ve ölçümler yapılarak, alanda temel derinliğinin 500 m'ye ulaştığını belirtmişlerdir. Elde edilen tüm verilerin değerlendirmesini yaparak 550±100 m derinliğinde Saraykent Jeotermal Alanı için gradyan sondajı yeri (SKTG-1) önermişlerdir.

Şimşek vd. [10], “Yozgat Akdağmadeni ve yakın çevresinin jeotermal potansiyelinin araştırılması ve etüdü projesi raporu” çalışmasında Yozgat Valiliği adına gerçekleştirilen projede alanda jeolojik, hidrojeolojik ve kısmi jeofizik inceleme ve ölçümler yapılarak elde edilen verilerin değerlendirmesi yapılmıştır. Alandaki sıcak ve mineralli suların çizgiselliklerin (tektonik kırık hatlarında) kesişme kısmında yer almasından dolayı yüzey drenajından fazla beslenme alanına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Alandaki jeofizik çalışmalar sonucunda Akdağmadeni İlçesi'nin kuzeyinde, tabanı oluşturan mermerlerin Eosen birimlerin altında faylara bağlı olarak 100-600 m. arasında değişen derinliklerde varlığının saptandığını belirtmişlerdir. Çalışkan (Muşalikalesi) civarında bir noktada ise tabanın ölçü derinliği içinde görülmediğini belirtmişlerdir. Sıcaksu kaynağına yakınlığından dolayı öncelikli olarak Karadikmen dolayında 350±100 m derinliğinde AKD-1 ve Melikli

Çalışkan arasında da 350 ± 100 m derinliğinde AKD-2 gradyan kuyusu açılmasını önermişlerdir.

Şimşek vd. [11] ve [12], Yozgat Valiliği adına gerçekleştirilen Saraykent SKT-1 ve SKT-2 kuyusunda yapılan jeolojik-hidrojeolojik-sondaj çalışmalarına ilişkin danışmanlık çalışmasında jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, sondaj izleme çalışmaları yapılarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir. SKT-1 kuyu tabanında $4^{\circ}\text{C}/100$ m gradyan ölçülmüş SKT-1 kuyusu 650 m derinlikte olup, kompresörle üretimde 1.0-1.5 L/s debide ve mevcut durumda 52°C sıcaklıkta ve 0.5 L/s debide sıcak suyun artezyen olarak akış gösterdiği bildirmişlerdir. SKT-2 kuyusu 300 m derinliğinde açılmış olup, 124 m'den yapılan pompa testinde 41 L/s ve 71.4°C sıcaklığında korozif özellikle akışkan üretildiğini bildirmişlerdir. Alanda yeni araştırma/üretim/enjeksiyon kuyularının açılması gerektiğini önermişlerdir.

Akçay vd. [13], 1/100.000 ölçekli Yozgat İ-34 paftasındaki çalışmasında bölgedeki Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı temel birimleri oluşturan metamorfite, Üst Kretase yaşlı birimleri, Eosen yaşlı volkanitleri ve sedimanter birimleri, Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılıları ve Kuvaterner yaşlı jeolojik birimleri ayırt ederek haritalamışlardır.

Dalkılıç vd. [14], 1/100.000 ölçekli Yozgat İ-35 paftasındaki çalışmasında bölgedeki Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı temel birimleri oluşturan metamorfite, Üst Kretase yaşlı birimleri, Eosen yaşlı volkanitleri ve sedimanter birimleri, Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılıları, Pliyosen yaşlı volkanitleri ve Kuvaterner yaşlı jeolojik birimleri ayırt ederek haritalamışlardır.

Karaca ve Karlı [15], Karadikmen (Akdağmadeni-Yozgat) Civarı Jeotermal Etüt (Jeoloji-Jeofizik) Raporu'nda Karadikmen Alanı'na ait jeolojik, jeofizik ve su kimyası verileri sunulmuştur. Karadikmen jeotermal kuyusu civarında 50 km^2 alanı içeren 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası güncellenmiştir. Temelde yer alan metamorfite ait mermerlerin kırık-çatlak sisteminde dolaşan jeotermal akışkanın alanda yaygın olarak gözlenen fay sistemleri vasıtasıyla geliştirilebilir potansiyele ulaşabileceği belirtilmiştir.

2 ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanında MTA tarafından bölgesel ve yerel ölçekte jeolojik harita çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, MTA tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları ([13], [14]) temel alınarak formasyon adlamaları kullanılmıştır. Çalışmada 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve jeolojik kesitler hazırlanmıştır (Şekil 2.1 ve Ek 1).

Çalışma alanındaki horst ve graben adlandırılması yükselti ve çöküntü anlamına gelmekte olup, önceki raporlardan alınarak aynı adlandırma benimsenmiştir [9].

Tez alanı olan Saraykent ve Akdağmadeni yakın dolayının jeolojisi haritası daha önce MTA tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli Yozgat İ-34 ve İ-35 paftalarına ait jeoloji haritaları çalışma alanını kapsayacak şekilde yeniden düzenlenerek sayısal ortama aktarılıp hazırlanmıştır. Bu çalışmada, inceleme alanı dolayının jeolojisi daha önceki araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar temel alınarak hazırlanmıştır.

2.1 Çalışma Alanının Stratigrafisi

Çalışma alanının güneyinde temelde Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Kırşehir Masifi'ne ait şist, gnays ve mermer gibi metamorfitle bulunmaktadır. Bu metamorfitle Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Orta Anadolu Granitoyitleri tarafından kesilmektedir. Bunların üzerine Eosen yaşlı karasal ve sığ denizel ortamlarda çökelmiş olan kırıntılı ve karbonatlı kayalar ile volkanitler, Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar, Pliyosen yaşlı volkanitler, Pliyosen kırıntılılar gelmektedir. Çalışma alanının kuzeyinde Üst Kretase yaşlı ofiyolitler ve volkanitler, Eosen yaşlı sığ denizel ve karasal ortamda çökelmiş birim üzerine tektonik olarak gelmektedir ([13], [14]). İnceleme alanındaki tüm birimlerin üzerinde Kuvaterner yaşlı alüvyonlar aşıl uyumsuzlukla yer almaktadır (Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).

2.1.1 Paleozoyik-Mezozoyik

Kırşehir Masifi (Pzm)

Metamorfik birimler çalışma alanının temelini oluşturmaktadır. Bu metamorfik birimler çeşitli araştırmacılar tarafından Orta Anadolu Masifi [2], Kırşehir Masifi [16] ve Akdağ Metamorfik Grubu [4] adları altında incelemiştir. Bu çalışmada Kırşehir Masifi kullanılmıştır.

Çalışma alanındaki Kırşehir Masifi başlıca gnays, şist, kuvarsit ve mermerden oluşmaktadır. Ayrıca, yer yer bu birimleri kesen kuvars damarları da alanda izlenmektedir.

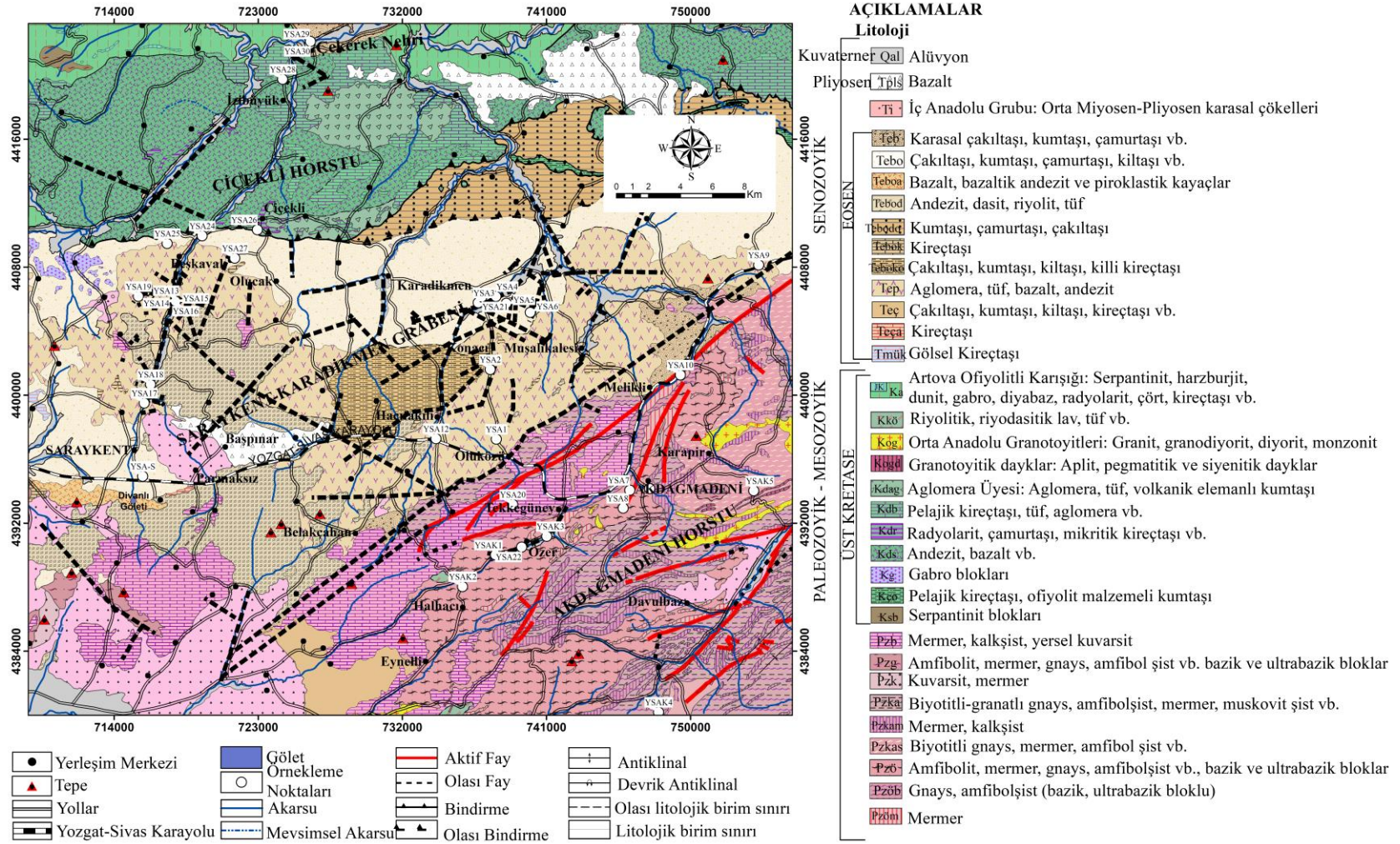
Kırşehir Masifi'ne ait metamorfik kayaların Üst Kretase yaşlı granitoyitler tarafından kesildiği belirtilmiştir [14].

Kırşehir Masifi çalışma alanının güneyinde geniş bir kısımda Evcı, Davutlu, Melikli, Akbaş köyleri, Akdağmadeni İlçesi, Tekkegüney, Halhacı, Erbek, Benli ve Ozan köyleri civarında yüzeylenmektedir.

Kırşehir Masifi'nin üzerine Eosen yaşlı kırıntılı kayalar uyumsuzlukla gelmektedir.

Akdağmadeni ve dolayında bulunan mermerler çeşitli şekillerde görülmektedir. Biyotitli gnayslar içinde Akdağmadeni'nin bulunduğu bölgede iri kristalli-beyaz ve gri renklidirler. Geniş yayılım gösteren bu mermerlerin masif özellikte görüldüğü kısımlar da bulunmaktadır [4]. Metamorfitler; Gümüşler Formasyonu (Pzg), Kabaktepe Formasyonu (Pzk), Kaleboynu Formasyonu (Pzka) (Sarıkavak Üyesi (Pzkas), Mermer Üyesi (Pzkam), Muskovit Şist Üyesi (Pzkamş), Özerözü Formasyonu (Pzö) (Mermer Üyesi (Pzöm), Bloklu Şist Üyesi (Pzöb) ve Bozçaldağ Formasyonu (Pzb) olmak üzere 5 litolojik birime ayrılmıştır. Bu birimler birbirleriyle yanal ve düşey geçişlidirler ([13], [14]).

Göncüoğlu [17] tarafından adlandırılan Gümüşler Formasyonu (Pzg) gnays, mermer, kalkışist, muskovit şist, amfibol şist vb. kayalardan oluşmaktadır. Gümüşler Formasyonu, genellikle metakırıntılı ve metakarbonat aralanmasından oluşmaktadır. Sillimanitli gnays, biyotitli gnays, kuvarsit, kuvars-muskovit şist, kalkışist, amfibolit ve amfibol şistlerle temsil edilen istifin her seviyesinde mermer (metakarbonatlar) izlenmektedir [14]. Seymen [16] tarafından tanımlanan Kabaktepe Formasyonu (Pzk)'nin şist ve mermerlerle aralanmalı olarak görülen kuvarsitlerden oluştuğu belirtilmiştir. Göncüoğlu [17] tarafından adlandırılan Kaleboynu Formasyonu (Pzka) mermer, amfibol şist, biyotit ve muskovit gnays ile kuvarsit aralanmasından oluştuğu belirtilmiştir. Dökmeci [4] tarafından adlandırılan Özerözü Formasyonunun (Pzö) genelde bazik özellikte bir seri olup amfibolit, amfibolit şist, mermer, biyotitli gnays ve yer yer ultrabazik bloklar vb. oluşmakta olduğu ve granitik dayklar ile kesildiği belirtilmiştir. Bu formasyon içerisindeki mermerleri Mermer Üyesi (Pzöm), bazik ve ultrabazik bloklu kesimi Bloklu Şist Üyesi (Pzöb) olarak ayırtlamıştır.

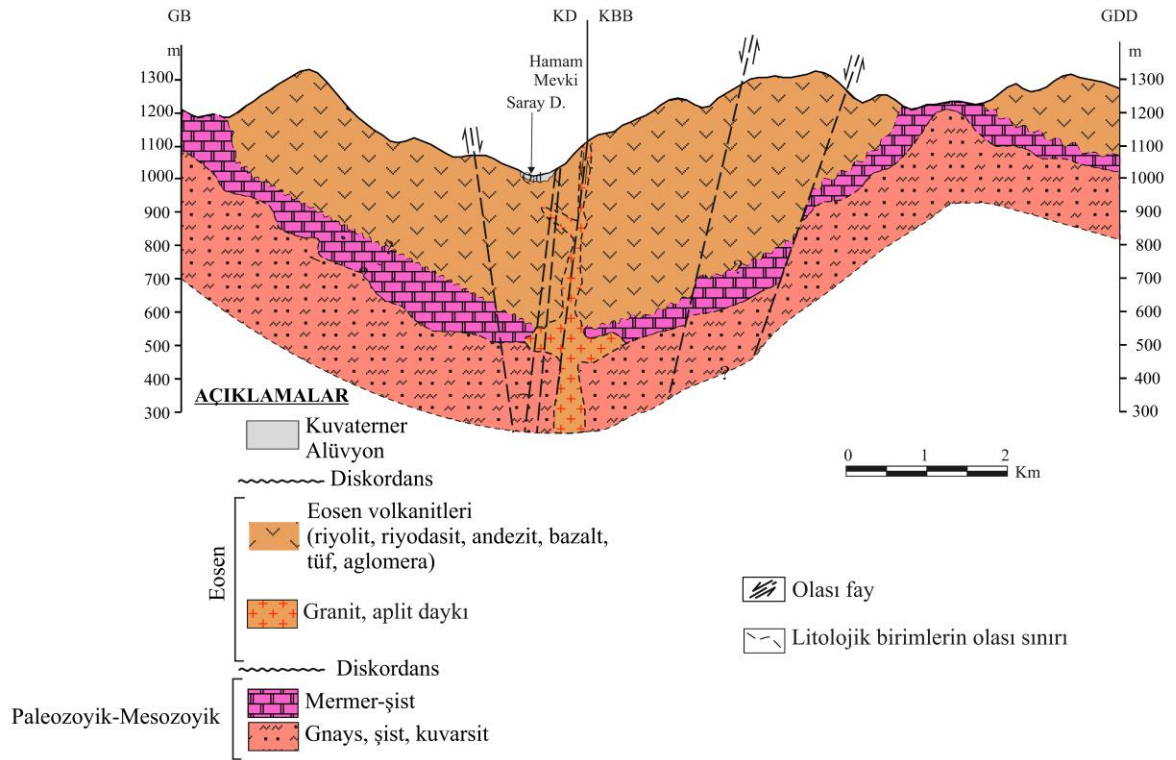


Şekil 2.1. Çalışma alanının jeolojik haritası (Akçay vd. [13], Dalkılıç vd. [14]'den düzenlenerek alınmıştır).

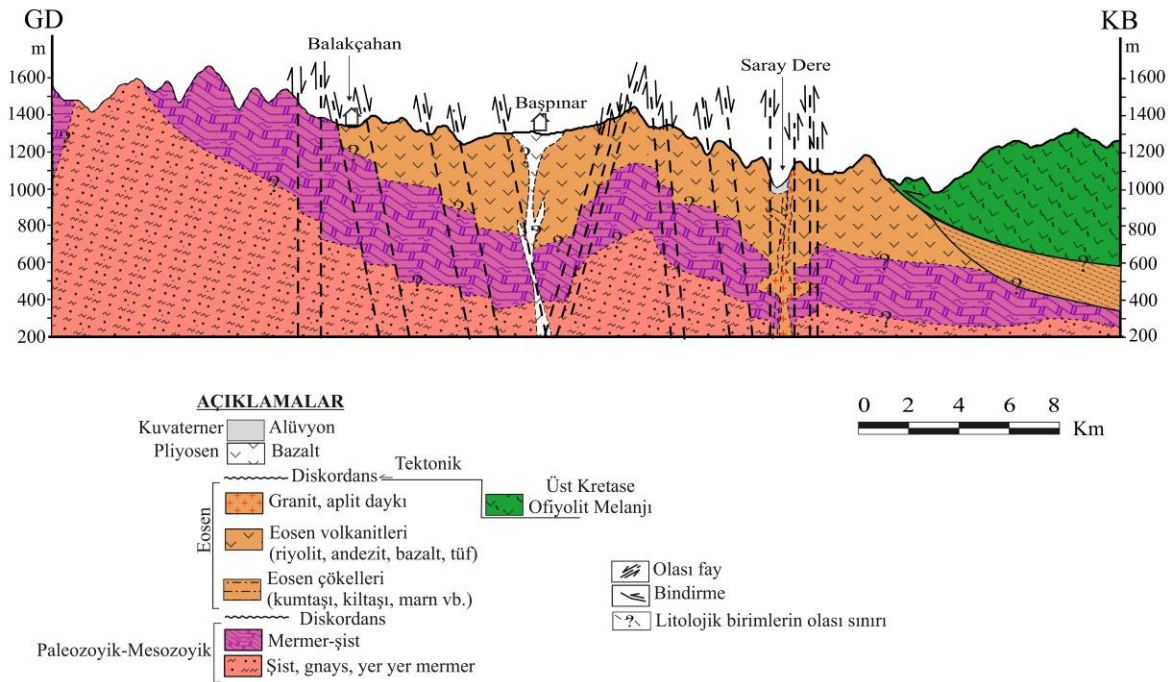
ÜST SİSTEM		SİSTEM	SERİ	FORMASYON	Simge	Kalınlık (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR					
SENOZOYİK		KUVATERNER			Qal	-50	Alüvyon: Çakıl, kum, kil Uyumsuzluk	(Ölçeksiz)					
		TERSİYER		Pliyosen	Sekikaşı Bazaltı	Tpls	-10-100		Bazalt Uyumsuzluk				
				O. Miyosen -Pliyosen	İç Anadolu Grubu	Ti			Çakıltaşı, kumtaşı, kilitaşı, silttaşı, jips Kireçtaşı Tüf, tüfit Kömür Açısal Uyumsuzluk				
		Eosen		Üst	Çayraz Formasyonu Boğazköy Formasyonu Pazararcık Volkanitleri	Tep	Tebo		Teş	Andezit, bazalt, riylit, aplit daykı, aglomera, tüf vb.			
				Orta		Tep	Tebo		Tüf	Konglomera, kumtaşı, kilitaşı, silttaşı, killi kireçtaşı, andezit, dasit, tüf			
				Alt		Tep	Teb		Tüf	Konglomera, kumtaşı, kilitaşı, silttaşı, kireçtaşı			
		PALEOZOYİK-MEZOZOYİK		Kretase	Üst	Kırşehir Masifi Bozçaldağ Formasyonu Özerözü Formasyonu Kızıldağ Formasyonu Kızıldağ Formasyonu Gümüşler Formasyonu	Kog		Kogd	Kkö	?	Konglomera, kumtaşı vb.	
							Orta		Kog	Kogd	Kkö	?	Açısal Uyumsuzluk
							Alt		Kog	Kogd	Kkö	?	Granit, diyorit, granodiyorit, pegmatit, aplit vb.
							?		Pzg	Pzk	Pzö	Pzm	?
								Gnays, amfibolit, amfibol şist, metagabro vb.					
								Gnays, amfibolit, granatlı gnays, kuvars-muskovit şist, mermer, kuvarsit vb.					

Şekil 2.2. Saraykent-Akdağmadeni (Yozgat) çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti ([2], [13] ve [14]'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

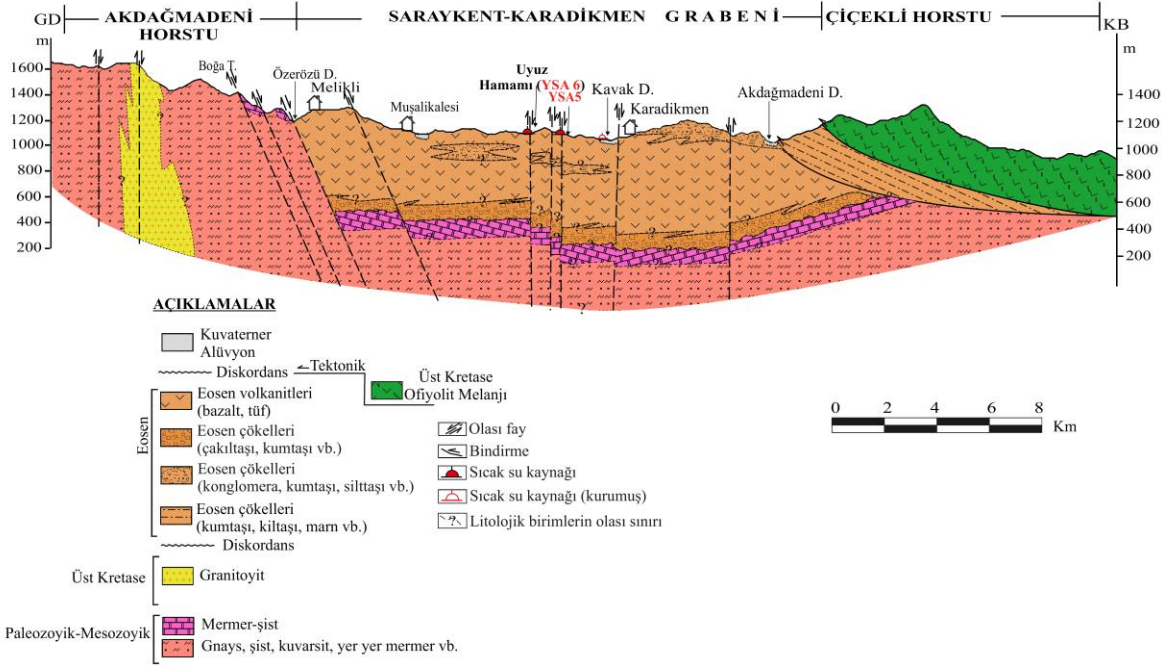
Seymen [18] tarafından adlandırılan Bozçaldağ Formasyonu (Pzb) mermerlerden oluşmaktadır. Formasyon metaçört, seyrek olarak sarı renkli kalkşist ve şist ara seviyeli mermerlerden oluşmaktadır. Ayrıca bazı yerlerde mermerler içerisinde beyaz, açık gri renkli kuvarsit ara seviyeleri de bulunmaktadır. Toroslar'la denştirilerek bu birime Geç Paleozoyik-Mesozoyik yaşı uygulanmıştır [14]. Kırşehir Masifi içerisinde faylanmalar da çalışma alanında görülmektedir (Foto 2.1 ve Foto 2.2).



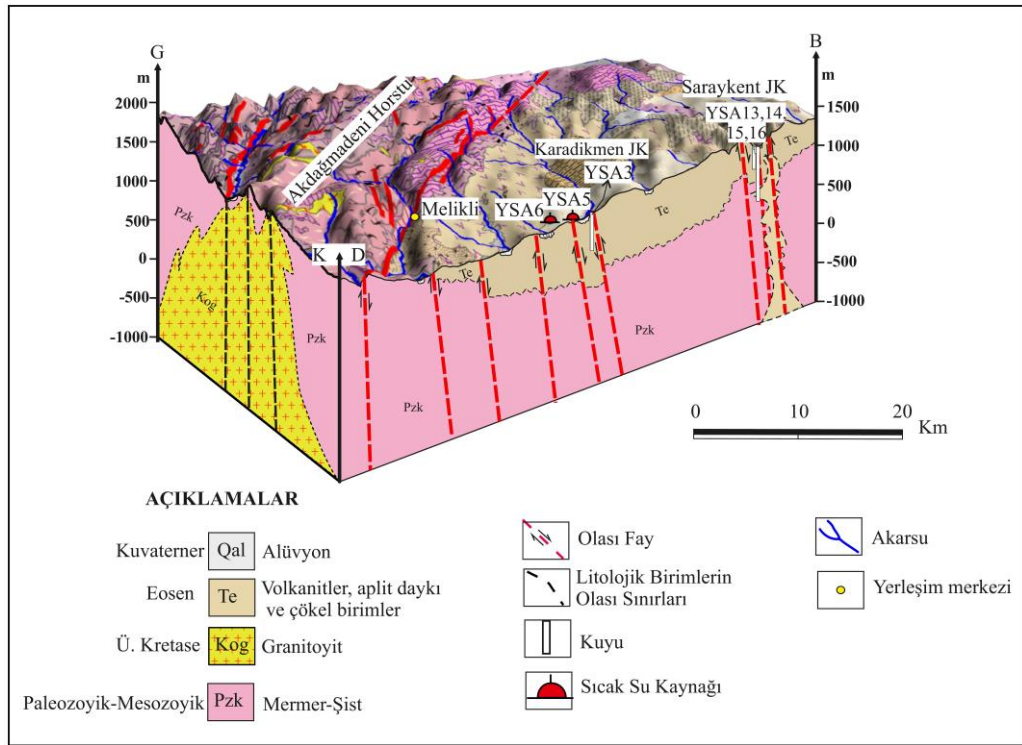
Şekil 2.3. Saraykent bölgesinin jeolojik enine kesiti (A-A'-A'' kesiti).



Şekil 2.4. Saraykent bölgesinin jeolojik enine kesiti (C-C' kesiti).



Şekil 2.5. Akdağmadeni-Melikli-Karadikmen bölgesinin jeolojik enine kesiti (D-D'-D''-D''' kesiti).



Şekil 2.6. X-X''' noktalarını birleştiren kısma ait jeolojik şematik blok diyagram (Akçay vd. [13], Dalkılıç vd. [14] jeolojik haritasından düzenlenerek hazırlanmıştır).



Foto 2.1. Akdağmadeni'nde Kırşehir Masifi metamorfiteeri içerisindeki fay zonunun görünümü (Sivas-Yozgat Karayolu'ndan kuzeye bakış).



Foto 2.2. Akdağmadeni'nde Kırşehir Masifi metamorfiteeri içerisindeki fay düzleminin yakından görünümü Akdağmadeni'nde Kırşehir Masifi metamorfiteeri içerisindeki fayın görünümü (Sivas-Yozgat Karayolu'ndan Akdağmadeni Mevkii kuzeye bakış).

Orta Anadolu Granitoyitleri (Kog)

Orta Anadolu'da çok geniş alanlarda plüton, batolit, stok, damar yerleşen granit, granit porfir, granodiyorit, tonalit, monzonit, kuvarsmonzonit bileşimli derinlik ve yarı derinlik kayaları genel olarak Orta Anadolu Granitoyitleri olarak tanımlanmıştır [19]. Bu granitler, mermer, şist ve gnaysları kesmektedirler. Dokanıklarda kontakt metamorfiteeri oluşturmakta olup büyük granit kütleleri ile birçok magmatik daykın bulunması bir plütonun varlığını

göstermektedir. Bölgedeki magmatitler genellikle granit ve granodiyorit grubundan kayalardır. Çevrede granit magmasına bağlı çok sayıda aplit ve pegmatik daykları mevcuttur. Bu dayklar hidrotermal etkinliklerin devam ettiği sırada yerleşmişlerdir. Dokanıklarda kontakt metamorfiteilerin geniş ve dar zonlar halinde bulunması granitlerin metamorfiteileri kesip çıktığına kanıt olarak görülmektedir [4].

Çalışma alanındaki dayklar Saraykent'te jeotermal kuyularının doğusunda görülmektedir.

Birim yaşının Geç Kampaniyen-Erken Maatsrihtiyen olabileceği belirtilmektedir [14].

Çalışma alanındaki granitoyitler genellikle alanın güneyinde ve doğu kısmında yer almaktadır. Çalışma alanında Akçakışla, Topaktaş, Aşağı Yahyasaray, Yukarı Çulhallı ve Karapir Köyleri civarında yüzeylendiği görülmektedir.

Kötüdağ Volkaniti (Kkö)

Çalışma alanının güneybatı kesiminde bu birim görülmektedir. Seymen ([18], [20]) tarafından adlandırılan ve tanımlanan birim, riyolitik ve riyodasitik lav ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Dalkılıç, vd. [14] birime yaş verilebilecek kesin bir veri olmadığını ve bu volkanitlerin yaşının en çok Kampaniyen'e kadar çıkabileceğini belirtmektedirler. Bu çalışmada Kampaniyen yaşı benimsenmiştir.

İzmir-Ankara-Erzincan Zonu

İzmir-Ankara-Erzincan Zonu'nun Geç Kretase yaşlı Artova Ofiyolitli Karışığı'na (Ka) ait ofiyolitli melanj ve olistostromlar, sedimanter ve volkanik kayalardan oluşan Darmik Formasyonu (Kd) ile kırıntılı ve pelajik kireçtaşlarından oluşan Çomaklıdağ Formasyonu (Kço) Eosen yaşlı birimlerin üzerine tektonik olarak üzerlemektedir [14]. Bu zon çalışma alanının kuzey kısmında tektonik olarak görülmekte ve bazı bölümlerde (KB'da Yukarıoba Köyü civarı, KD'da Darmik Dağı Civarı) topografik yükseklikleri oluşturmaktadır.

Artova Ofiyolitli Karışığı'na (Ka) ait ofiyolitli melanj içerisinde gabro blokları (Kg) da bulunmaktadır [13].

2.1.2 Eosen

Çalışma alanında Eosen yaşlı birimler, sedimanter ve volkanik birimler olarak görülmektedir.

Eosen yaşlı Baraklı Formasyonu'nun (Teb) karasal kırıntılı kayalaları daha yaşlı birimleri açısız uyumsuzlukla örtmekte ve kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı, kiltaşından oluşan Çayraz Formasyonu'yla (Teç) yanal ve düşey geçişlidir. Bunlar kuzeyde izlenen Eosen yaşlı

kumtaşı, kireçtaşı, kıltaşı, silttaşından oluşan Boğazköy Formasyonu (Tebo) ve volkanitlerden oluşan Pazarcık Volkanitleri (Tep) ile girik bulunmaktadır [14].

Baraklı Formasyonu karasal sedimanter fasiyeste olup formasyonun genellikle kumtaşı, çamurtaşı, marn ardalanmalı kısımlarında önemli ekonomik kömür seviyeleri daha yaygındır [1].

Eosen denizel sedimanları değişik beslenme nedeniyle havzada değişik fasiyelerde görülmektedir. Çalışma alanında bu birim kumtaşı, killi kumtaşı-çakıltaşı, mikroçakıltaşı seviyelerinden oluşan detritik şekilde görülmektedir. Melikli Köyü civarında yüzeyleyen Eosen, tabanda metamorfit çakılları içeren taban çakıltaşlarıyla başlamaktadır. Genellikle kompakt olan çakıltaşlarının bazı kısımları gevşek tutturulmuştur. Taneler ince kum boyutundan blok boyutuna kadar değişmektedir. Çakıllar genellikle metamorfit elemanlı olup çok azda olsa granit çakılları görülebilmektedir [4].

Metamorfit kayaç elemanlı çakıllar, mermer, kalkışist, mikaşist ve gnays parçalarından oluşmaktadır. Genellikle kalın tabakalanmalı olup yer yer breşik özelliktedir [4].

Çalışma alanında Eosen volkanitleri, başlıca riyolit, riyodasit, andezit, bazalt, aglomera ve tüfden oluşmaktadır. Çalışma alanının Akdağmadeni-Karadikmen Köyü civarında soğuma çatlaklarından dolayı bazalt sütunları görülmektedir. Çalışma alanındaki volkanitler Saraykent İlçesi civarında asidik özellikte iken Akdağmadeni-Karadikmen Köyü civarında bazik karakterli olarak görülmektedir (Foto 2.3, Foto 2.4, Foto 2.5 ve Foto 2.6).



Foto 2.3. Saraykent, Hamam Mevkiine giden yol üzerinde görülen volkanitler.



Foto 2.4. Saraykent, Hamam Mevkiine giden yol üzerinde görülen asidik karakterli volkanitler.



Foto 2.5. Karadikmen (Akdağmadeni) bazalt sütunları.



Foto 2.6. Muşalikaesi Köyü Kalesinde (Akdağmadeni) bazalt birimleri.

2.1.3 Orta Miyosen-Pliyosen

İç Anadolu Grubu (Ti)

İç Anadolu bölgesindeki Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı akarsu, yelpaze, göl vb. karasal çökel fasiyesler Dönmez vd. [19] tarafından İç Anadolu Grubu adı altında toplanmıştır.

Tabanda kırmızı-kahverenkli alüvyal yelpaze çökelleriyle başlayan birim, yanal ve düşey yönde geçişli olarak kumtaşı, kiltası, marn, silttaşı, çamurtaşı ve kireçtaşlarına geçiş göstermektedirler. Dalkılıç, vd., [14] istif içerisinde daha çok kanal dolguları halinde split, andezit, granit, diyabaz, granodiyorit ve metamorfik kayaç çakılları görülmektedir. Kumtaşları genellikle teknesi çapraz tabakalı, bazen ince tabakalı, beyaz gri, sarı, kahverenkli, laminalı ve derecelenmeli görülmektedir. Silttaşı, kiltası, marn, jips kristalli, karbonat yumru, ince kireçtaşı, ince kömür ara seviyeli ve tuf, tüfit düzeylerinin de görülmekte olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışma alanında bu birim Çöteli, Parmaksız, Başpınar, Ürkütlü, Yazıkaplancı, Davulbaz ve Yukarı Çulhalı köyleri civarında görülmektedir. Bu birim üzerine alüvyonlar uyumsuzlukla gelmektedir.

Sekikaşı Bazaltı

Pliyosen yaşlı bazaltlardan oluşan Sekikaşı Bazaltı (Tpls), Özcan vd. [21] tarafından adlandırılmıştır.

Birim koyu gri, siyah renkli olup ve soğuma sütunları gösteren bazaltlardan oluşmaktadır. Altındaki birimleri yatay bir durumda açısız uyumsuzlukla örtmektedir. İç Anadolu Grubu kayaçları ile yanal ve düşey geçişlidir. Yaklaşık 10-100 m arasında değişen kalınlıkta olduğu ve birimin yaşının Pliyosen kabul edildiği belirtilmiştir [14].

Çalışma alanındaki Pliyosen yaşlı bazaltlar Başpınar, Abdurrahmanlı, Yeni Yapan ve Sekikaşı Köyleri civarında görülmektedir.

2.1.4 Kuvaterner

Alüvyon (Qal)

Akdağmadeni Deresi, Saray Deresi ve çalışma alanındaki diğer dereler boyunca gelişen çalışma alanındaki birimlerinden taşınması ve ayrışıp parçalanmasından oluşan çakıl, kum ve killerin oluşturduğu alüvyonlar, yaklaşık 15-50 m. kalınlığında görülmektedir.

2.2 Metamorfizma ve Volkanizma

Çalışma alanındaki metamorfizma alanının güneyinde geniş bir alanda yüzlek verirken volkanik birimlerin çoğu alanın orta kesimlerinde yer almaktadır.

Akdağmadeni civarındaki metamorfizmaların kuzeyinde birkaç zonda sillimanit minerali bulunmuş olup, bu bölgedeki yüksek dereceli metamorfizmayı simgelediği ve bu metamorfizmaların güneyinde ise disten mineraline rastlanılmış olup, orta sıcaklık ürünü olduğu belirtilmiştir. Bu metamorfizmaların güneyinde kuzeydeki gibi yüksek sıcaklığa erişilmemiş olup kuzeye doğru metamorfizma şiddetinin arttığı belirtilmiştir [4].

Çalışma alanı civarında Ketin [2] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, magmatizmanın metamorfizma içerisinde plutonik faaliyet olarak, Üst Kretase ve Lütesiyen devirlerinde ise denizaltı volkanizması şeklinde olduğu belirtilmiştir.

Tiryaki ve Ekici [22], Santoniyen-Kampaniyen zamanında Orta Anadolu'daki Neo-Tetis okyanusunun kuzey kolunun Avrasya levhasının altına daldığını, bunun devamında kıta-kıta çarpışmasıyla İzmir-Ankara-Erzincan Zonu'nun oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, volkanitleri oluşturan dasitik kayaların Alt-Orta Eosen döneminde alt kıtasal kabuğun kısmi ergimesiyle oluştuğunu ve bazaltik kayaların ise manto kökenli olduğunu belirtmişlerdir.

2.3 Yapısal Jeoloji

Çalışma alanındaki litolojik birimler şistoziteli, kırıklı, çatlaklı, faylı ve kıvrımlı olup, alanda birçok yapısal unsurlar görülmektedir.

Metamorfizmaların genel yapraklanma düzlemleri KD-GB doğrultuludur. Granit intrüzyonu ve faylanmalar doğrultuyu etkilemiştir. Bu civarda yapılan araştırmalarda kıvrım eksenlerinin de kıvrımlı olması metamorfizmaların ikinci kez tektonizmaya uğradığını göstermektedir. Çalışma alanından doğuya doğru gidildikçe metamorfizma bloklanmış olarak görülmektedir [4].

Çalışma alanının güneyinde kıvrımların eksenlerinin de kıvrılması, Eosen birimlerinde kırık ve kıvrımlar, bölgeyi ikinci bir tektonik etkinliğin Eosen'den sonra geliştiğini göstermektedir. Bölgenin tektoniği Orta Anadolu'nun tektonik gelişimi sürecinde meydana gelmiştir. Çalışma alanını etkileyen faylar ve fay grupları yapıyı daha karmaşık hale getirmektedir. Genel doğrultular KD-GB' dir. Kuzeyde Melikli ve Davutlu köyü güneyinden geçen bir fay mevcuttur. Bu fay yer yer Eosen birimleri ile metamorfizma arasında dokanak oluşturmaktadır. Yer yer doğrultu boyunca breşoik ve ezik kısımların görüldüğü, bölgenin en büyük fayı olduğu belirtilmektedir. Bölgede Alpin hareketler oldukça etkili olmuş,

Çalışma alanında ve dışında Eosen formasyonlarında da belirgin kırılmalar görülmektedir. Bölgedeki granit pltonu yerleşmesi st Kretase sonuna rastlamaktadır [4].

Saraykent alanında görülen riyolitler yüzeyde oldukça kırıklı ve atlaklıdırlar. Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklara yakın olası tektonik hatlar hava fotoğrafları ile Google Earth uydu görüntüleri beraber değerlendirilerek jeolojik haritaya işaretlenmiştir. KD-GB, GD-KB doğrultulu fay/kırık sistemleri ile yaklaşık D-B doğrultulu fay/kırık sistemleri çalışma alanında mevcut olup jeotermal kaynaklar bu hatlar üzerinde gelişmiştir.

3 ÇALIŞMA ALANININ HİDROJEOLOJİSİ

Önceki literatür çalışmalarıyla birlikte, çalışma alanındaki jeolojik birimlerin çevresindekilere göre hidrojeolojik özellikleri bakımından da ayırt edici özellikleri dikkate alınarak geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olabilecek birimler belirlenmiştir (Şekil 3.1 ve 3.2).

Su örnekleme noktalarının sıcaklık ve Eİ (özgül elektriksel iletkenlik) değerlerine göre renklendirmeler yapılarak (**soğuk sular mor renkte, sıcak sular kırmızı renkte, mineralli sular turuncu renkte ve yağış suları mavi renkte**) metin içerisindeki grafiklerde gösterilmiştir.

3.1 Çalışma Alanındaki Jeotermal Alanlar

Çalışma alanının batısında **Saraykent Jeotermal Alanı** ile doğusunda Akdağmadeni İlçesi Karadikmen Köyü içerisinde yer alan **Akdağmadeni Jeotermal Alanı** yer almaktadır. Saraykent Jeotermal Alanı içerisinde 4 adet jeotermal kuyu (YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) ve 2 adet mineralli su kaynağı bulunmaktadır. Akdağmadeni Jeotermal Alanı içerisinde 1 adet jeotermal kuyu (YSA3), 2 adet sıcak ve mineralli su kaynağı (YSA5 ve YSA6) ve 1 adet mineralli su kaynağı bulunmaktadır. Bu jeotermal kaynaklar yaklaşık D-B doğrultulu kırık hatları boyunca Eosen volkanitlerinin içerisinde çıkmaktadır. Çalışma alanındaki jeotermal alanların temel ve örtü birimleri jeolojik özellikleri açısından genel olarak benzerlik göstermekle beraber Saraykent Jeotermal Alanı'ndaki volkanik birimler daha çok asidik bileşimli iken Akdağmadeni Jeotermal Alanı'ndaki volkanik birimler bazik bileşimlidirler.

3.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanındaki litolojik birimler hidrojeolojik (yeraltısuyu taşıma ve iletme) özelliğine göre geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmıştır. Buna göre çalışma alanındaki jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak hidrojeoloji haritası ve hidrostratigrafik sütun kesiti hazırlanmıştır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).

3.2.1 Geçirimli Hidrojeolojik Birimler

Çalışma alanındaki başlıca geçirimli hidrojeolojik birimler; Çalışma alanının temelinde yer alan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfitlelerdeki kırık-çatlaklı ve faylı kısımlardaki mermerler ve Kuvaterner alüvyonlar hidrojeolojik açıdan çalışma alanındaki geçirimli birimleri oluşturmaktadır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Metamorfik birimlerdeki mermerlerin üstlerinin örtü kayalarla (şistlerle) kaplı olduğu kısımlarda basınçlı akifer özelliği

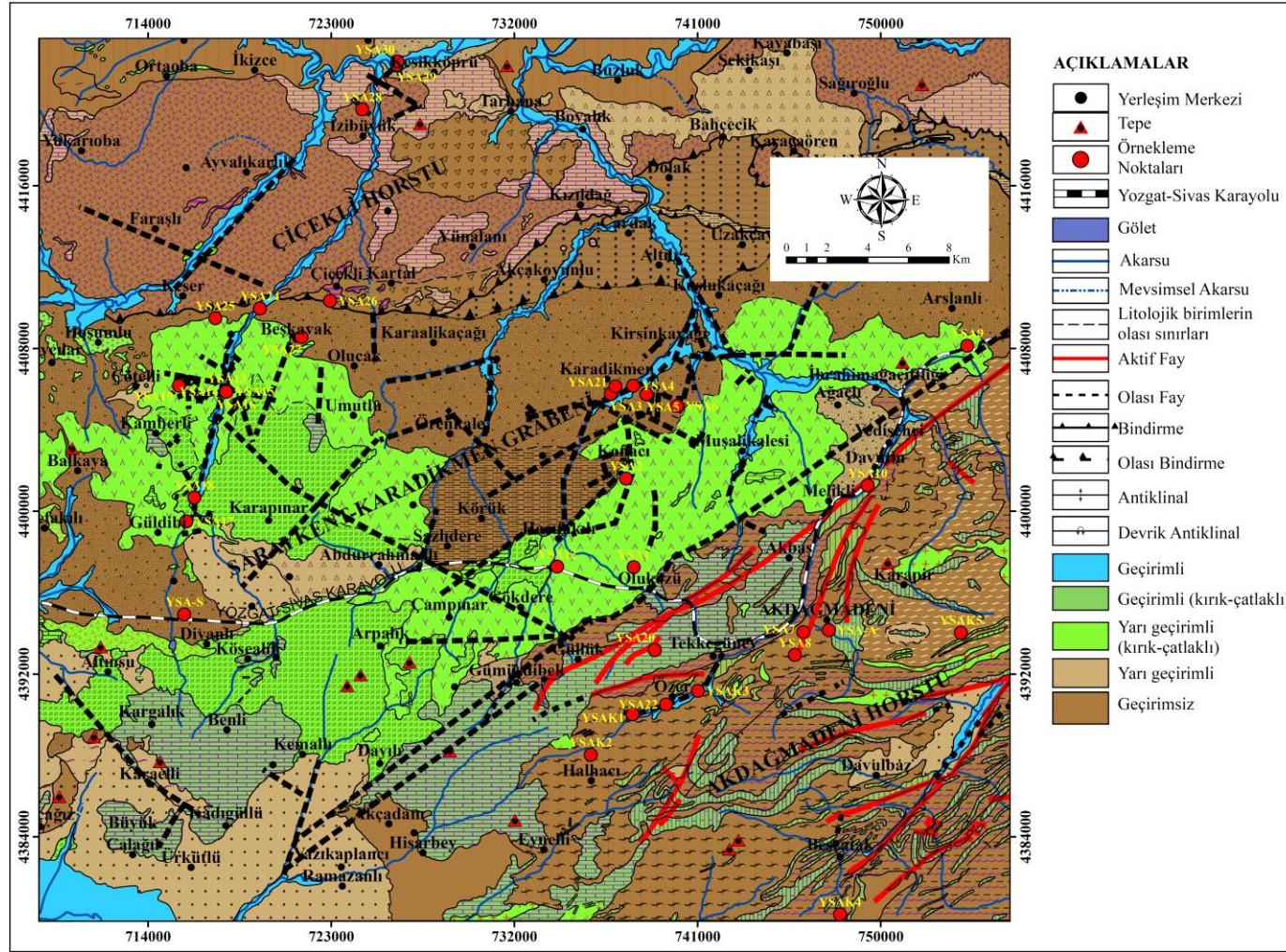
göstermekte, mermerlerin üstlerinin açık olan kısımları ise serbest akifer özelliği göstermektedir. Çalışma alanındaki alüvyonlar serbest akifer özelliği göstermektedir.

3.2.2 Yarı Geçirimli Hidrojeolojik Birimler

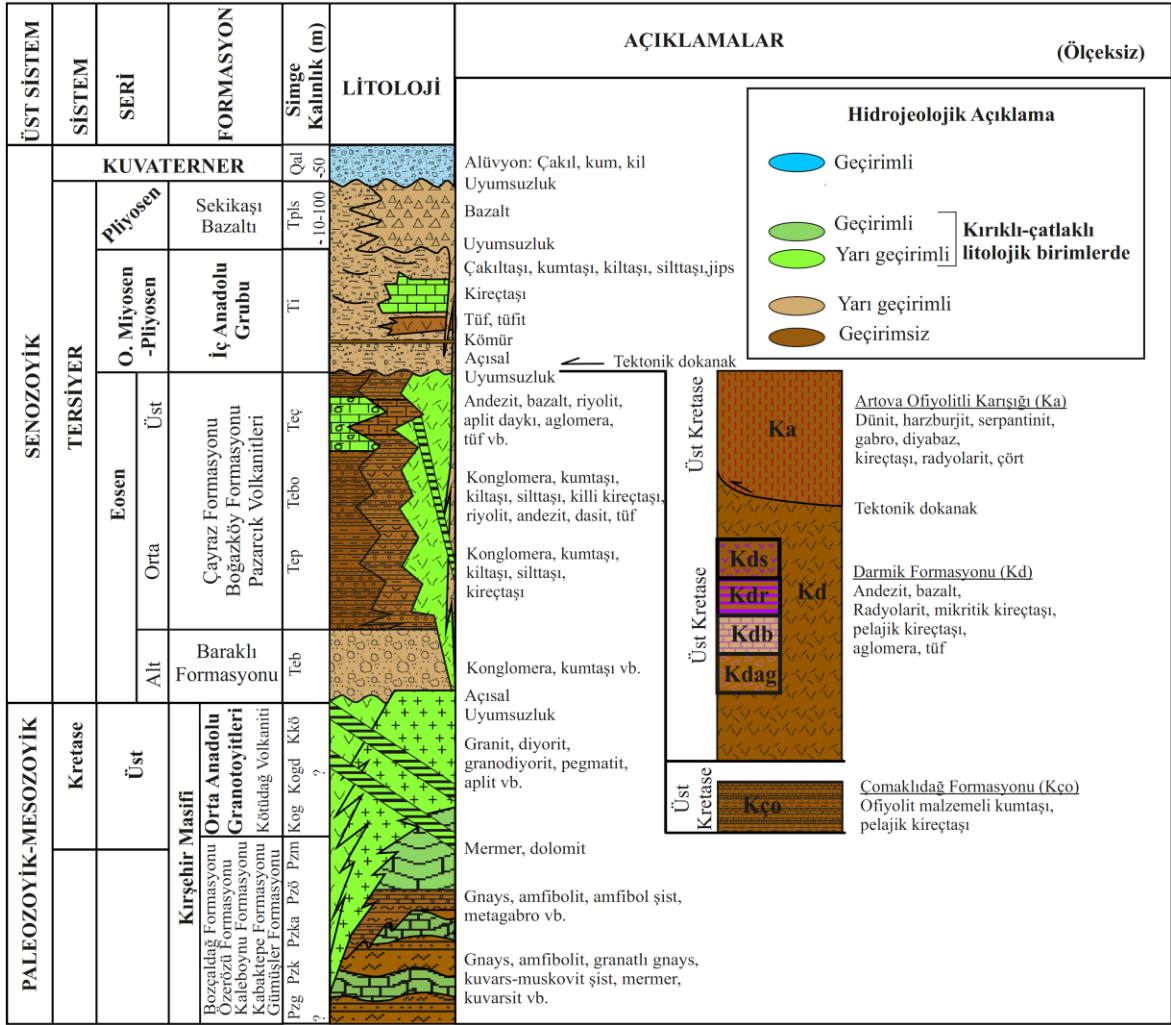
Çalışma alanındaki başlıca yarı geçirimli hidrojeolojik birimler; bu birim içerisindeki kırık-çatlaklı ve faylı kısımlardaki Üst Kretase yaşlı granitoyitler ve volkanitler, Eosen yaşlı kırıklı-çatlaklı-faylı riyolit, riyodasitler, bazalt, andezit, dasit, Eosen kireçtaşı ve Eosen taban malzemesi olan kırıklı-çatlaklı çakıltaşı, kumtaşı birimleri, Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, marn, kiltası ve jipsli birimler ve Pliyosen yaşlı bazaltlar yarı geçirimli olup yerel öneme sahiptir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Eosen yaşlı kırıklı-çatlaklı-faylı riyolit, riyodasitler, bazalt, andezit, dasit birimlerinin kırıklı çatlaklı kısımları sıcak ve mineralli sular için rezervuar özelliği göstermekte olup geçirimsiz örtü birim altında genellikle basınçlı akifer özelliği göstermektedir.

3.2.3 Geçirimsiz Hidrojeolojik Birimler

Çalışma alanındaki örtü kayaç özelliğindeki geçirimsiz hidrojeolojik birimler; Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı gnays ve şistler, Üst Kretase yaşlı ofiyolitli karışık, Eosen yaşlı killi kireçtaşı, kiltası, marn ve kumtaşı ardalanmasından oluşan birimler, Eosen yaşlı volkanitlerdeki dasit, tuf birimleri ile Orta Miyosen-Pliyosen çökeltilerindeki tuf ve tüfit seviyelerinden oluşmaktadır. Bu birimlerdeki kırıklı-çatlaklı ve faylı kısımlar yerel olarak geçirimli olabilirler (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Çalışma alanının hidrojeolojik haritası (Akçay vd. [13], Dalkılıç vd. [14] jeolojik haritalarından yararlanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 3.2. Saraykent-Akdağmadeni (Yozgat) çalışma alanındaki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren genelleştirilmiş hidrostratigrafik kesiti ([2], [13], [14]'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

3.3 Çalışma Alanındaki Kaynaklar

Çalışma alanındaki Saraykent İlçesi civarındaki Sarayözü Köyü yakınlarında soğuk su kaynağı ve Sarısu mineralli su kaynağı mevcuttur. Sarısu mineralli su kaynağının sıcaklığı 9.8-27.6°C arasında mevsimsel belirgin değişimler gözlenmiştir. Çalışma alanındaki Akdağmadeni İlçesi civarında Karadikmen Köyü ile Muşalikallesi Köyü arasındaki hatta yaklaşık sıralı olarak yer alan bazaltlardaki kırık hattından çıkan sıcak ve mineralli su kaynakları (YSA5: 27.3°C) ile Uyuz Hamamı sıcak ve mineralli su kaynağı (YSA6: 26.0-33.6 °C) ile çalışma alanı geneline dağılmış olarak görülen az debili ve mevsimsel soğuk su kaynakları mevcuttur. Bu alanda mermer ve şist dokanaklarında soğuk su kaynakları bulunmaktadır.

Karadikmen İlçası, Karadikmen jeotermal kuyusu yakın civarında daha önce görülürken kuyu açıldıktan sonra bu kaynak kurumuş olup Ekim 2005 tarihinde 38.7°C ve debisi yaklaşık 0.3 L/s olarak ölçüldüğü belirtilmiştir [10].

Çalışma alanı genelindeki soğuksu ve mineralli su kaynaklarının debileri 0.04-0.06 L/s civarında olup sızıntı şeklindedir. Çalışma alanından dönemsel olarak örneklenen kaynak sularının sıcaklıklarında mevsimsel belirgin değişimler gözlenmiştir. Eosen çökelleri genellikle geçirimsiz litolojik birimlerden oluşmakta olup bu alanlarda yüzeysel akış çok gelişmiştir.

3.4 Çalışma Alanındaki Sondaj Kuyuları

Çalışma alanında Saraykent İlçesi Sarayözü Köyü civarındaki jeotermal sondaj kuyusunun 2 tanesi DSİ tarafından açılmış ve 2 tanesi de Yozgat Valiliği İl Özel İdaresi tarafından açtırılmış olup, Akdağmadeni İlçesi Karadikmen Köyündeki jeotermal sondaj kuyusu ise MTA tarafından açılmış ve bu kuyu daha sonra Akdağmadeni Belediyesi'ne devredilmiştir. Alanda toplam 5 adet jeotermal kuyu bulunmakta olup, bu kuyuların derinlikleri 30-650 m arasında değişmektedir. Jeotermal sondaj kuyu loglarında YSA16 kuyusu dışında kuyular Eosen volkanitleri içerisinde kalmış olup temel kayaya girmedikleri, sadece Saraykent alanındaki YSA16 jeotermal sondaj kuyusunun temel kayaya ulaştığı görülmüştür (Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).

Saraykent alanındaki jeotermal kuyular YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16 kuyular olup ilk jeotermal kuyular DSİ tarafından açılmış olup bunlar YSA14 (34217) ve YSA15 (34216) numaralı kuyulardır. Bu alandaki YSA13 (SKT-2) ve YSA16 (SKT-1) kuyular Yozgat Valiliği, Saraykent Kaymakamlığı, Köylere Hizmet Götürme Birliği adına bu kuyular açtırılmıştır. Kuyular açılma tarihi sırasına göre aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

YSA15 (34216) kuyunun toplam derinliği 30 m olup yüzeyden itibaren 27 m derinliğe kadar sırasıyla kumlu, siltli kil, çakıllı kumlu kil, kum-silt-bantlı kil, çakıl-kum, kil, siltten oluşan alüvyon birimi; 27-30 m aralığında riyolit bulunduğu belirtilmiştir. Çamur sıcaklığı 0-20 metreler arası 20°C ve 25. metrede 25°C olarak ölçülmüş olup, pompalama deneyleri esnasında su sıcaklığının 65°C gözlendiği belirtilmiştir [6]. Bu kuyunun akış sıcaklığı Eylül 2014-Ağustos 2015 zaman aralığında yapılan ölçümlerde 65.6-76.2°C olarak ölçülmüştür. YSA15 kuyusu Eylül 2014 döneminde durgun iken Mart 2015 döneminde artezyen yapmasından dolayı sıcaklığında artış gözlenmiştir, artezyen yapmadığı Ağustos 2015 döneminde ise yaklaşık Eylül 2014 dönemindeki sıcaklığına yakın olduğu belirlenmiştir (Ek

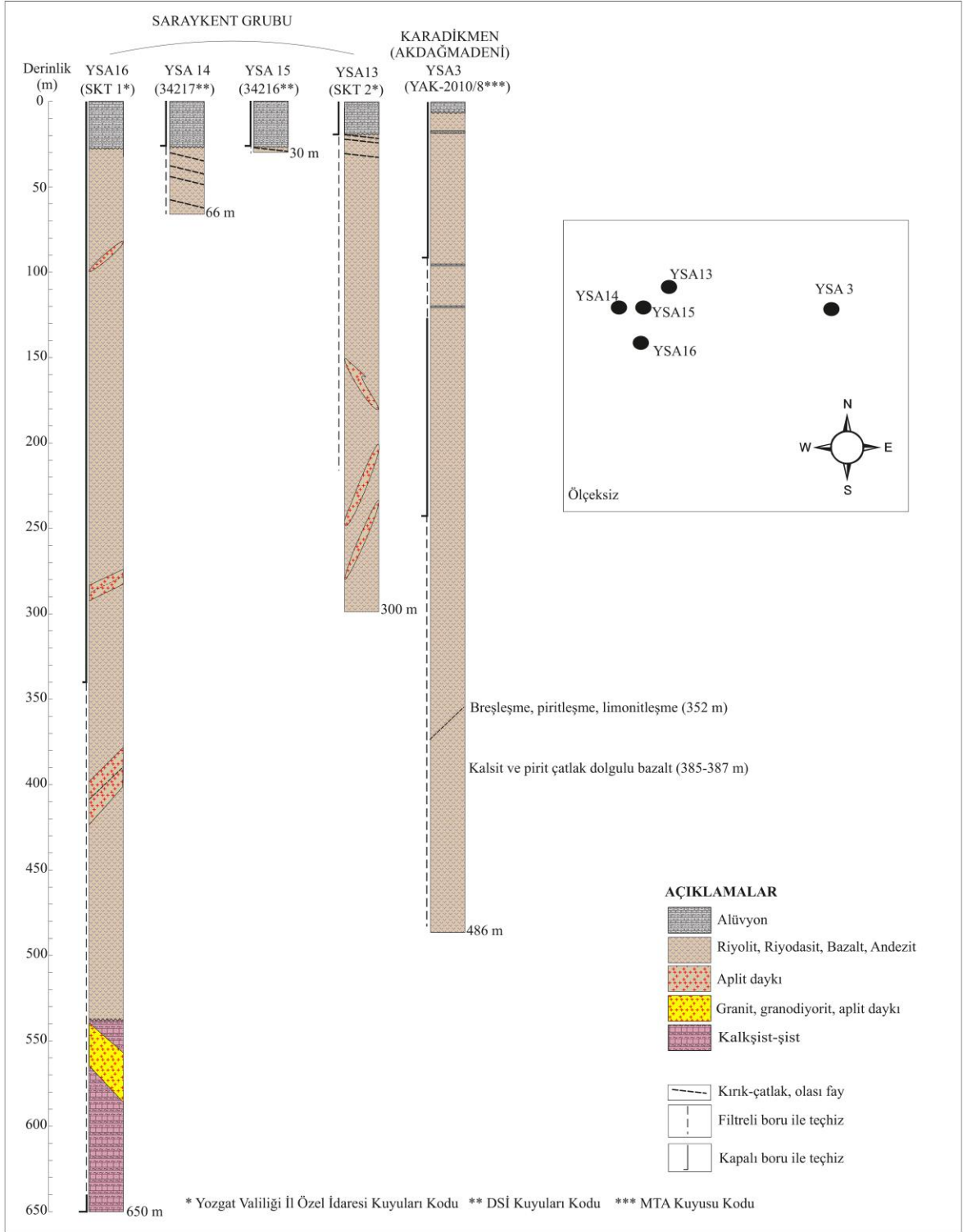
2 , Ek 3 ve Ek 4). Mart ayı yağışlı bir dönem olduğundan boşalımdaki artışın, sistemde mevsimsel beslenmeden dolayı su yükünün arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. YSA14 (34217) kuyunun toplam derinliği 66 m olup yüzeyden itibaren 27 m derinliğe kadar sırasıyla kum, silt, kil, çakıl-kum-kil, kum bantlı kil, kumlu killi siltten oluşan alüvyon birimi; 27-57 m aralığında altere riyolit; 57-66 m aralığında masif riyolit bulunduğu belirtilmiştir [6]. YSA14 kuyusu içerisinde alınan çamur sıcaklığının tüm kuyuda 35°C ölçüldüğü belirtilmiştir. YSA14 kuyusu ve YSA15 (34216) kuyusundan 4 m uzaklıkta açılmıştır. İnkişaf öncesi 1.5-2 L/s debili 70°C sıcaklıklı, gri renkli ve kokulu termal su gözlemlendiği belirtilmiştir. İnkişafta 34 m'lik dinamik seviyeye karşılık 13 L/s verim elde edilmiş ve suyun sıcaklığı 68°C olduğu belirtilmiştir. Alanda 2 termal zonun varlığı belirlenmiş olup 1. termal zon alüvyonda, 2. termal zonun riyolitin faylı altere zonunda yaygın olduğu belirtilmiştir. Kuyularda $T=100 \text{ m}^2/\text{gün}$ ve $S=1*10^{-4}$ olarak belirlenmiştir. YSA14 (34217) kuyunun 10 L/s debi ile sürekli işletilebileceği belirlenmiştir [6]. Bu kuyunun akış sıcaklığı Eylül 2014-Ağustos 2015 zaman aralığında 54.9-69.4°C olarak ölçülmüştür (Ek 2 , Ek 3 ve Ek 4). Mart 2015 döneminde YSA14 jeotermal kuyunun akış sıcaklığında Eylül 2014 dönemine göre düşme görülmüştür. Bunun nedeni kuyudaki suyun durgun olmasından (artezyen yapmamasından) ve soğuk atmosferle ilişkili olmasından kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir.

YSA16 (SKT-1) kuyunun derinliği 650 m olup yüzeyden itibaren sırasıyla 34 m derinliğe kadar çakıl, kum, kil; 34-370 m aralığında riyolit, riyodasit, dasit, alterasyonlu ve pirit mineralli kayalar; 370-405 m aralığında granit, aplit daykısı; 405-538 m aralığında riyolit, riyodasit, dasit, alterasyonlu ve pirit mineralli kayalar; 538-543 m aralığında kalkşist, şist; 543-550 m aralığında granit, aplit daykısı ve şist; 550-650 m aralığında kalkşist ardalanması granit, aplit daykısı bulunduğu, 52°C sıcaklıkta 0.5 L/s debide sıcak su olarak artezyen yapmakta olduğu ve kuyu taban sıcaklığının da 74°C olduğu belirtilmiştir [11]. Çamur kaçaklarının 342-343 m, 408 m, 417 m, 599 m, 637 m derinliğinde görüldüğü ve çamur çıkış sıcaklığının 54.3°C olduğu belirtilmiştir [11]. Bu kuyunun akış sıcaklığı Eylül 2014-Ağustos 2015 zaman aralığında 48.2-51.3°C olarak ölçülmüştür (Ek 2, Ek 3 ve Ek 4).

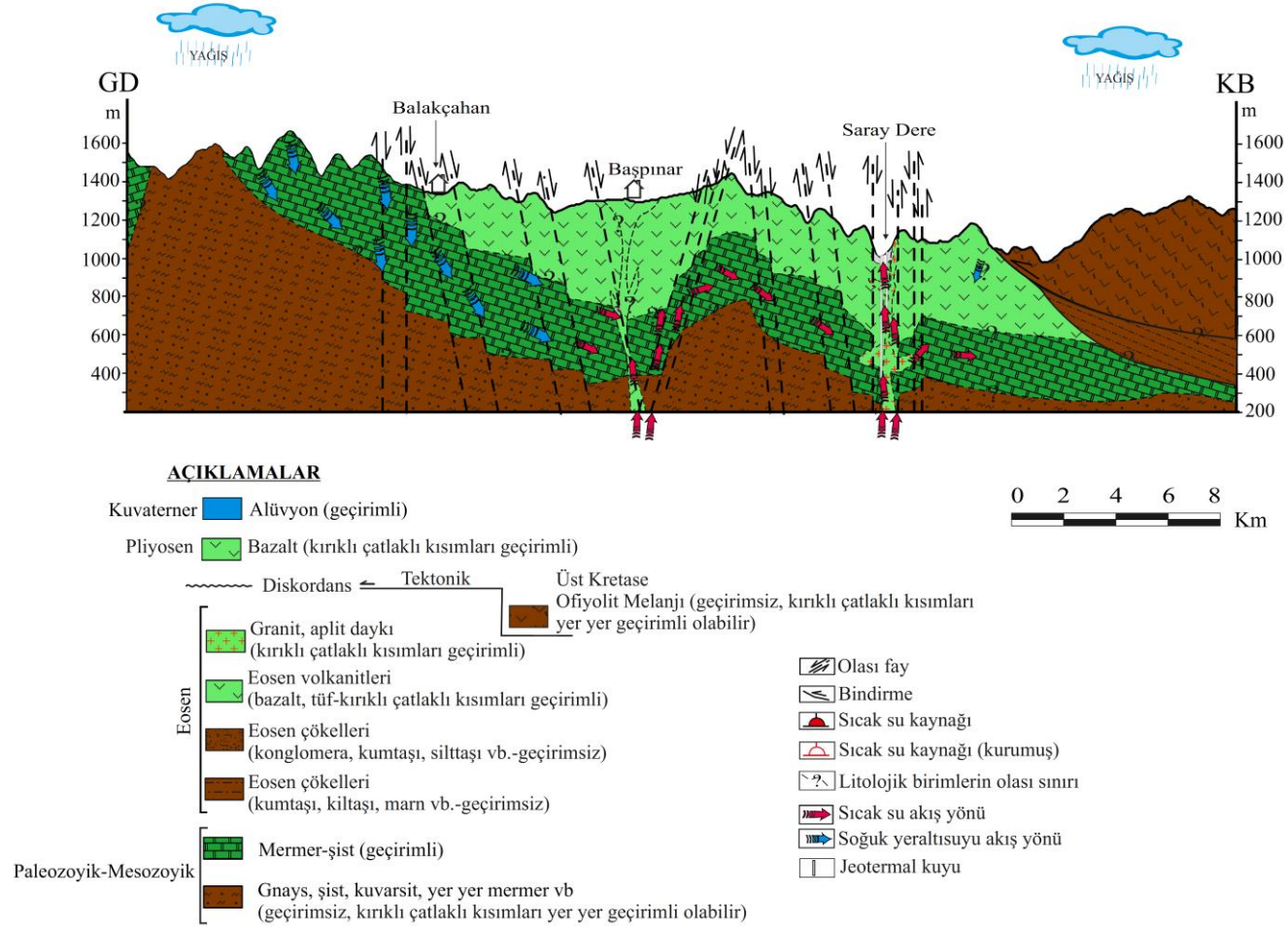
YSA13 (SKT-2) kuyunun derinliği 300 m olup yüzeyden itibaren sırasıyla 0-14 m derinliğe kadar çakıl, kum, kilden oluşan alüvyon birimi; 19-33 m altere riyolit (31.5-33 m arası karot alınamamıştır); 33-132 m aralığında riyolit, riyodasit, dasit (grimsi, yeşil, yer yer yoğun alterasyonlu); 132-164 m aralığında dasit, riyodasit (154-155 m arası karot alınamamıştır); 164-180 m aralığında granit-granodiyorit-aplit daykısı; 180-225 m aralığında riyolit, riyodasit

(nadir piritli, yeşilimsi-gri); 225-244 m aralığında granit-aplit daykı; 244-270 m aralığında riyolit, riyodasit (nadir piritli, yeşilimsi-gri); 270-273 m aralığında granit-aplit daykı; 273-300 m aralığında riyolit ve riyodasit (nadir piritli, yeşilimsi-gri) bulunduğu belirtilmiştir ([12], [23]). Bu kuyunun toplam derinliği 300 m olup üretim derinliği 221 m dir. Bu kuyu inkişaftan sonra 3 L/s kadar artezyen yapıp ilk ölçüm sıcaklığı 62°C dir. Yapılan ilk pompa testinde kuyunun 15 L/s lik debiye sahip olduğu pompa testi ile belirlenmiştir. Bu debi ile pompaj yapıldığında dinamik su seviyesinin 3m de sabit kaldığı ve üretim sıcaklığının da 69.3°C olduğu belirtilmiştir [23]. Bu kuyunun ölçülen akış sıcaklığı Eylül 2014-Ağustos 2015 zaman aralığında 67.0-73.6°C arasında değiştiği belirlenmiştir.

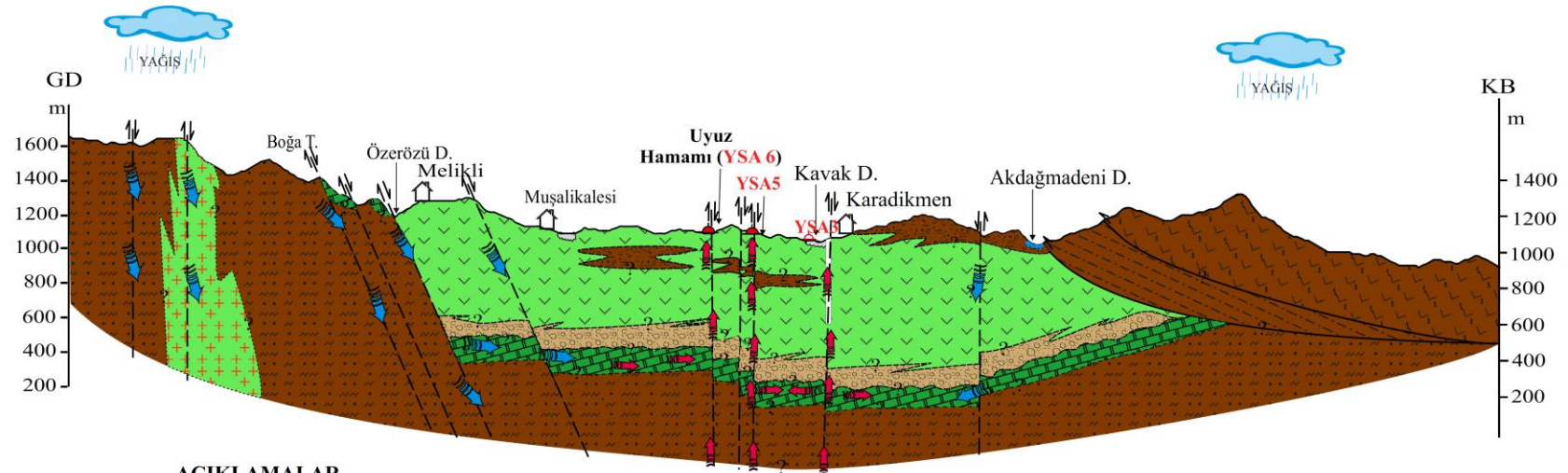
Akdağmadeni alanındaki Karadikmen Köyü'nde YSA3 jeotermal sondaj kuyusu MTA tarafından açılıp Akdağmadeni Belediyesi'ne devredilen YSA3 (YAK-2010/8) sondaj kuyusunun derinliği 486 m dir. Kuyuda yüzeyden itibaren sırasıyla 0-6 m derinliğe kadar kum, kil, çakıldan oluşan alüvyon birimi; 6-486 m aralığında yer yer kıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı ara seviyeleri içeren andezit, andezitik bazalt, bazalt lavları ve piroklastiklerinden oluşan volkanitlerin bulunduğu ve kompresörle kuyu geliştirmeden sonra 100 L/s debide ve sıcaklığı 50.0°C olan jeotermal akışkan üretimin sağlandığı belirtilmiştir [7]. Bu kuyunun akış sıcaklığı Eylül 2014-Ağustos 2015 zaman aralığında 47.5-47.7°C olarak ölçülmüştür (Ek 2 , Ek 3 ve Ek 4).



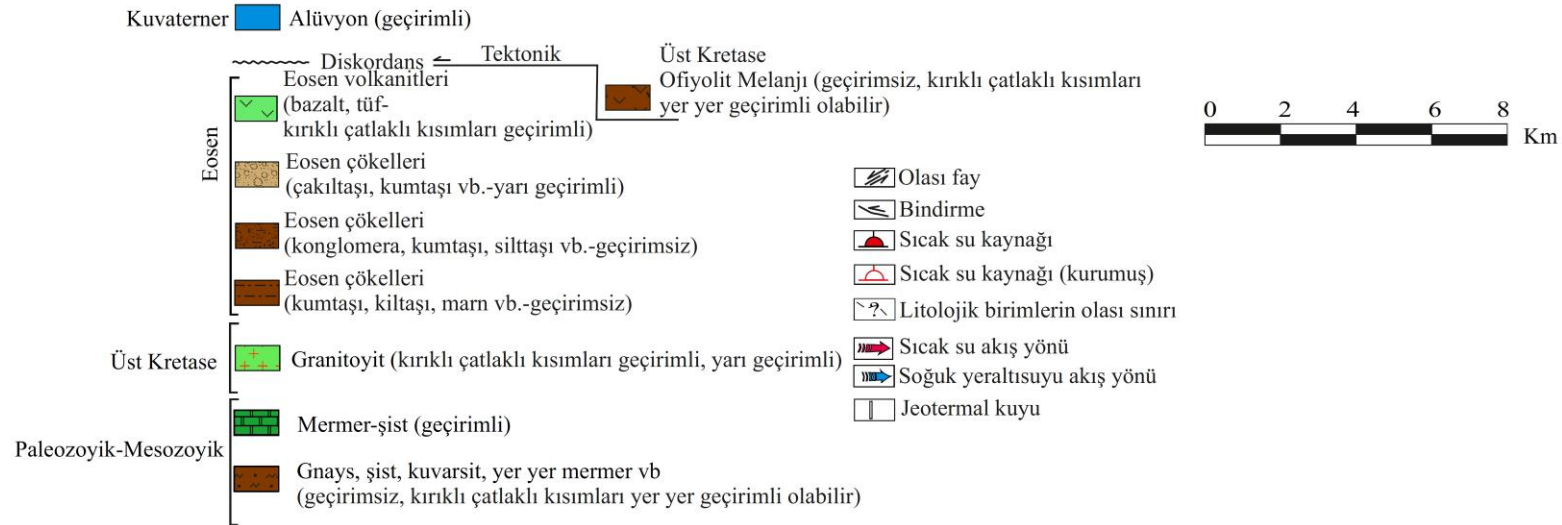
Şekil 3.3. Çalışma alanına ait açılmış sondaj kuyularının jeolojik logları ve ölçeksiz krokisi ([6], [7], [11] ve [12]'den yararlanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 3.4. Saraykent bölgesinin enine hidrojeolojik kesiti (C-C' kesiti).



AÇIKLAMALAR



Şekil 3.5. Akdağmadeni-Melikli-Karadikmen bölgesinin enine hidrojeolojik kesiti (D-D'-D''-D''' kesiti).

4 ÇALIŞMA ALANINDAKİ ÖRNEKLEME İŞLEMLERİ

4.1 Çalışma Alanındaki Örneklemeler

Yozgat İli Akdağmadeni ile Saraykent ilçe merkezi ve yakın çevresinde bulunan sıcak ve soğuk suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortaya çıkartılması, yeraltısuyu akım yolunun, kökenlerinin ve birbirleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla Eylül (2014), Mart (2015), Ağustos (2015) ve Şubat (2016) aylarında çalışma alanında su, yağış ve kuyularda oluşan kabuklaşmalardan örneklemeye çalışmaları yapılmıştır (Foto 4.1, Foto 4.2 ve Foto 4.3).



Foto 4.1. Saraykent jeotermal kuyularından (YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) örnek toplama ve ölçüm çalışması görünümü.



Foto 4.2. Karadikmen jeotermal kuyusu (YSA3), Uyuz Hamamı (YSA6), Karadikmen civarı jeotermal kaynaktan (YSA5) örnek alımı.

Bu 4 dönem (Eylül 2014-Şubat 2016) su/yağış örnekleme işleminde majör anyon-kasyon, bor, silis, iz element analizleri ile $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve ^3H izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Mart (2015) döneminde suda çözülmüş inorganik karbonun $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izotop analizleri (13 adet), suda çözülmüş sülfatın $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop analizleri (5 adet) ve sularda toplam alfa ve toplam beta analizleri (7 adet) yaptırılmıştır. Örneklenen suların sıcaklık, pH ve özgül elektriksel iletkenlikleri (Eİ) alanda yerinde ölçülmüştür.

Çalışma alanındaki her bir su örnekleme noktasından majör anyon-kasyon, iz element, bor ve silis analizleri için 250 mL'lik polietilen şişeler içerisinde, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop analizleri için 30 mL'lik polietilen şişe içerisinde, Tritiyum analizleri için de 500 mL'lik polietilen şişe içerisinde su örnekleri alınmıştır. Çözülmüş inorganik karbondan $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izotop analizleri için su örnekleri 20 mL'lik ağzı tıpalı cam şişede, suda çözülmüş sülfatın $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop analizleri için alınan su örnekleri 1 L'lik polietilen şişede termos içerisinde laboratuvarlara kargolanmıştır. Sularda toplam alfa ve toplam beta analizleri için de 1 L'lik polietilen şişe içerisinde toplanan su örneklerine koruyucu eklenmeden 2 gün içerisinde laboratuvara ulaştırılacak şekilde örnekleme planı gerçekleştirilmiştir.

Yağmur örnekleme için ise çalışma alanında farklı kotlarda yerden 1.5 m yükseklikte olacak şekilde Saraykent İl Özel İdaresi'nin ve Akdağmadeni Öğretmenevi'nin bahçelerine birer adet plüvyometre bırakılarak yağış örnekleri toplanmıştır (Foto 4.3).



Foto 4.3. Akdağmadeni'nden yağmur (YSA-A), akarsu (YSA10), soğuk su kaynağı (YSA4) ve kardan (K4) örnek alımı.

Örnekleme lokasyonlarının koordinatları ve yükseltisi Garmin GPS III Plus model el tipi GPS cihazı ile belirlenmiştir.

Zaman zaman artezyen yapan jeotermal kuyulardaki suyun kullanılmadığı durumlarda kuyudaki su yaklaşık 30 dakika akıtıldıktan sonra örnekleme işlemi yapılmıştır. Sığ kuyuların artezyen yapmadığı zamanlarda ise örnekleme yapılabileceğince en derine indirilerek su örnekleme yapılmıştır.

Çalışma alanındaki Saraykent jeotermal kuyularında oluşan kabuklardan XRD analizi için örnekleme alınmıştır (Foto 4.4).

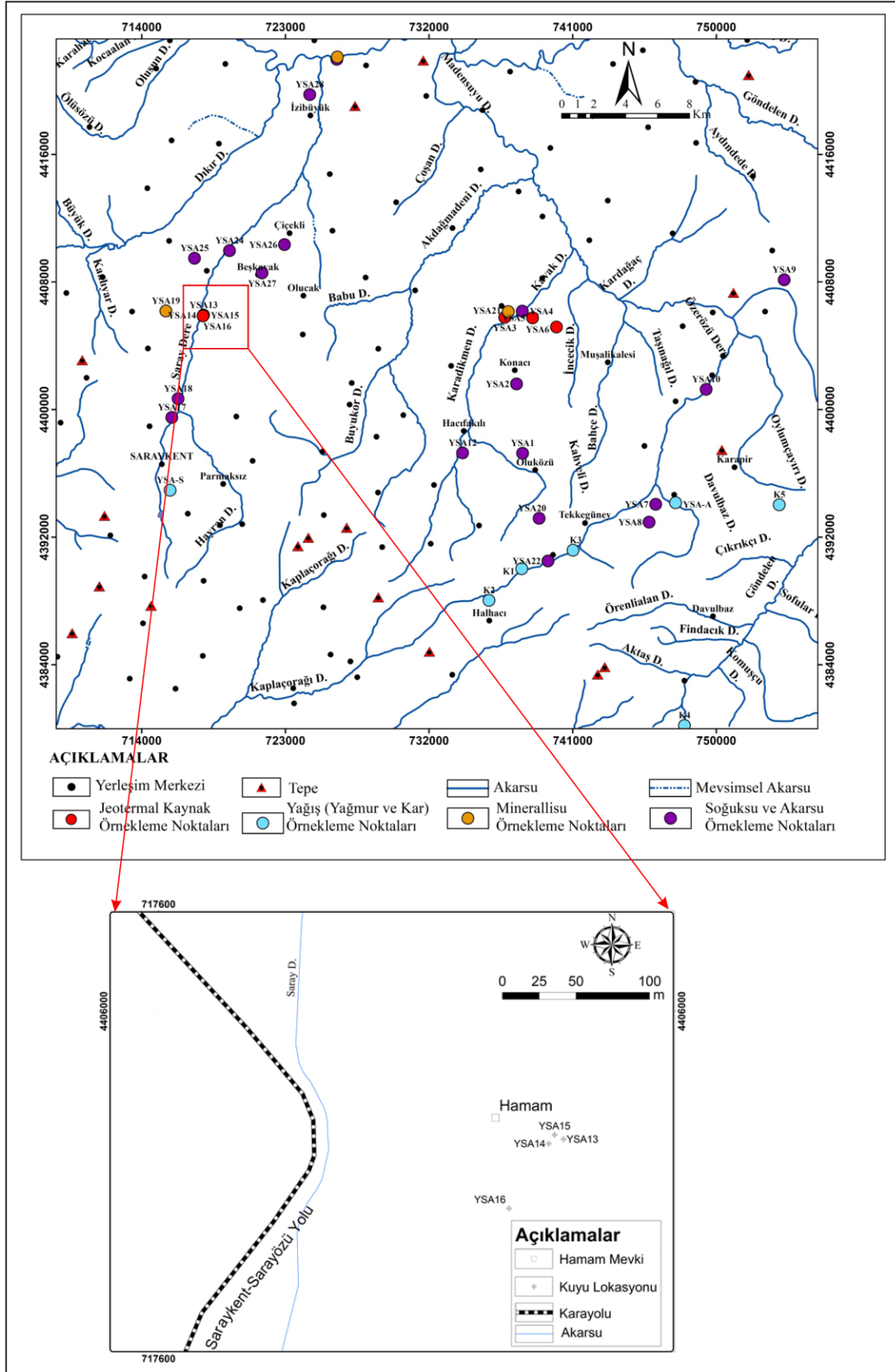
Çalışma alanındaki örnekleme lokasyonlarının alansal dağılımı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Foto 4.4. Saraykent jeotermal kuyularından kabuklaşma örneği alımı.

4.2 Gerçekleştirilen Analizler

Çalışma alanındaki su örneklerinde HÜ Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı'nda, Yüksek Performanslı İyon Kromatografisi (HPIC) ile katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ vb.) ve anyon (Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^- , Br^- ve F^-) analizleri gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizleri için DIONEXLC25 ve ICS-1000 yüksek performanslı iyon kromatografi sistemi ve otomatik asit titrasyon büreti (HCO_3^- ve CO_3^{-2}) kullanılmış; analiz ölçümleri Amerikan Halk Sağlığı Örgütü (APHA) tarafından önerilen standart yöntemlerle gerçekleştirilmiştir [24]. Sularda HCO_3^- ve CO_3^{-2} analizleri titrimetrik (hata sınırı ± 3 ppm) yöntemle yapılmıştır. Sularda iz elementler (ICP-MS), SiO_2 (Spektrofotometre) ve Bor (Spektrofotometre) analizleri de aynı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop analizleri HÜ UKAM Laboratuvarı'nda ve trityum analizleri HÜ Çevresel Trityum Laboratuvarı'nda ulaştırılarak analizi gerçekleştirilmiştir. Çözünmüş inorganik karbondan $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izotop analizleri Iso-Analytical Laboratuvarı'nda (İngiltere), suda çözünmüş sülfatın $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop analizleri Isotech Laboratuvarı'nda (Amerika) ve sularda toplam alfa ile toplam beta analizleri DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı (Ankara) İzotop Laboratuvarı'na ulaştırılarak analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanından toplanan su ve yağış örneklerinin konumsal dağılımı.

Kuyulardan alınan kabuklaşma örnekleri Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarı'na getirilerek burada etüvde kurutma ve öğütme işleminden sonra XRD analizi gerçekleştirilmiştir, analiz sonuçları “Selected Powder Diffraction Data for Minerals” standartına göre değerlendirilmiştir [25].

5 HİDROJEOKİMYA

Litolojik özellikleri benzer olan birimlerin oluşturduğu rezervuarda bulunan akışkanların kimyasal bileşimlerinin de benzer olmaları beklenen durumken rezervuarda özellikle mevsimlere bağlı sıcaklık koşullarının değişmesi, kimyasal bileşimleri benzer olan bu akışkanların toplam iyon derişimlerinin farklılaşmasına yol açmaktadır.

Çalışma alanında hidrojeokimya çalışmaları 4 dönemde (Eylül 2014-Şubat 2016) gerçekleştirilmiş olup, bazı dönemlerde bir önceki dönemde örnekleme yapılan su örneğinden 2. defa örnek alınması hızlı tren inşaatından dolayı örnekleme noktalarına ulaşımın mümkün olmamasından (YSA4 ve YSA5) ve bazen de su kaynağının kurumasından (YSA21) dolayı mümkün olmamıştır.

5.1 Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çalışma alanındaki suların majör anyon-katyon konsantrasyonları ve iz element konsantrasyonlarının analiz sonuçları hazırlanan çizelgelerde görülmektedir (Ek 2 , Ek 3 , Ek 3 , Ek 4 ve Ek 5). Saraykent sıcak ve mineralli sularının dönemsel akışkan sıcaklıkları 48.2-76.2°C arasında değişmekte, Akdağmadeni sıcak ve mineralli sularının dönemsel akışkan sıcaklıkları ise 26.0-47.7°C arasında değişmektedir. Diğer su örneklerinin sıcaklıkları genellikle 20 °C'den daha düşüktür.

Alandaki sıcak ve mineralli suların pH değerleri 6.7-7.7 aralığında değişmektedir. Özgül elektriksel iletkenlikleri 2697-3870 µS/cm aralığında ölçülmüştür.

Alandan dönemsel olarak örneklenen sıcak ve mineralli suların (kaynak/kuyu) akışkan sıcaklıklarında genellikle çok az değişimler gözlemlenmiştir. Soğuk su kaynaklarında ise mevsimsel değişimler oldukça belirgindir. Bunun için Çizelge 5.1'de Eylül 2014-Ağustos 2015 tarihleri arasındaki sıcaklık değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları belirlenmiştir. Bu değerlerin standart sapmasının ortalamaya göre yüzdesi hesaplanarak değişim katsayısı (C_v) değeri hesaplanmıştır. Bu katsayının % 5 den büyük olduğu değerler mevsimsel etkinin fazla olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Sıcak ve mineralli sulardan YSA6 YSA14 ve YSA15'de sıcaklık değişimi görülmektedir. YSA6 kaynak çıkışının atmosferle etkileşim halinde olması nedeniyle mevsimsel değişimden etkilendiği, YSA14 ve YSA15 jeotermal kuyularının artezyen yapması durumunda sıcaklığının arttığı ve artezyen yapmadığı yani durgun olması durumunda suyun sıcaklığının atmosferik/mevsimsel etkiyle azaldığı düşünülmektedir.

Suların toplam iyon içeriğinin büyük bir kısmını oluşturan Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{-2} ve Cl^- major iyonları oluşturmaktadır. Major iyon derişimleri, rezervuar litolojisi hakkında bilgi verirken, ortamın su-mineral dengesinin oluştuğu sıcaklık/soğuma koşullarını da yansıtmaktadır. Alandaki jeotermal su örneklerinin major iyon derişimleri aşağıda özetlenmiştir.

Jeotermal rezervuardaki suların Ca^{+2} ve Mg^{+2} derişimleri miktarında sıcaklık etkin rol oynamaktadır. Eğer faylarla derinlerden CO_2 gelimi yoksa, düşük sıcaklıklarda karbonatça zengin ortamlarda bulunan yeraltısularının Ca^{+2} ve Mg^{+2} derişimleri dolaşım süresince artma eğilimindeyken sığ dolaşımdan derin dolaşıma geçerken jeotermal gradyanın etkisiyle sıcaklığın artmasına bağlı olarak çözünürlükleri azalan karbonat iyonunun Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarıyla mineralleşerek çökmesinden dolayı suda Ca^{+2} ve Mg^{+2} derişiminin azalmasına neden olmaktadır. YSA3 kuyu logunda 385-387 m aralığındaki derinlikte alınan karot örneğinde kalsit ve pirit çatlak dolgulu bazalt olduğu belirtilmiştir [7]. Bu durum, kalsit çökmesine bağlı olarak sudaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} derişiminin azalmasını göstermektedir. Alandaki jeotermal kaynaklardaki akışkanlarda HCO_3^- , Ca^{+2} ve Mg^{+2} derişimi düşük olup, bu iyon derişimlerindeki azalmayı görmek mümkündür.

Çizelge 5.1. Çalışma alanındaki su örneklerinin sıcaklık değişiminin karşılaştırılması.

ALAN	Örnek Kodu	Ortalama	Standart Sapma	Cv (%)
AKDAĞMADENİ	YSA1	13.07	1.39	10.6
	YSA2	16.57	3.74	22.6
	YSA3	47.50	0.16	0.3
	YSA6	30.43	3.23	10.6
	YSA7	12.20	2.14	17.5
	YSA8	11.50	1.51	13.1
	YSA9	13.77	3.97	28.8
	YSA10	12.87	4.77	37.1
	YSA12	16.17	6.45	39.9
	YSA20	11.90	3.70	31.1
SARAYKENT	YSA13	70.73	2.76	3.9
	YSA14	64.10	6.53	10.2
	YSA15	69.80	4.60	6.6
	YSA16	49.77	1.27	2.6
	YSA17	15.47	4.75	30.7
	YSA18	17.53	6.25	35.7

Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Mg^{+2} derişimlerinin aksine Na^+ ve K^+ derişimleri sıcaklıkla artmaktadır. Sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+) içeren feldispat ve mika gibi minerallerce zengin rezervuar

kayacı oluşturan Eosen volkanitleri ile beslenme alanındaki Kırşehir Metamorfitleri'ndeki şist ve granit kayaçlarındaki minerallerin çözünmesi bu iyon derişimlerinin artmasına neden olmaktadır.

Sülfat (SO_4^{-2}) derişimi jips, anhidrit gibi evaporit minerallerin çözünmesi dışında pirit mineralinin yükseltgenmesiyle de suya geçmektedir. Alandaki jeotermal suların içerisindeki SO_4^{-2} derişimi İç Anadolu Grubu içerisindeki jips minerallerinden ve/veya volkanik kökenli rezervuar kayaçlardaki pirit minerallerinden dolayı genellikle yüksek görülmektedir.

PhreeqC programındaki akışkanın doygunluk indeksi hesaplamalarında, pH, t ($^{\circ}\text{C}$), majör anyon-kasyonların yanı sıra F, Li⁺, Br, SiO₂ ve B⁺³ iyonları kullanılmıştır.

5.1.1 Hidrokimyasal Fasiyes Türleri

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyesini belirlemek için majör kation-anyon hidrokimyasal analiz sonuçlarını Meq/L'ye dönüştürülüp major kation ve anyonlar kendi içerisinde yüzdeleri belirlenerek yapılan iyonların sıralanması ile su tipleri belirlenmiş ve bu su tipleri Çizelge 5.2'de dönemsel olarak karşılaştırmalı verilmiştir. Burada sıcak suların “(Na⁺+K⁺)-SO₄⁻²/Cl⁻” su tipinde, soğuk suların “Ca⁺²-HCO₃⁻ ve (Na⁺+K⁺)/Mg⁺²-HCO₃⁻” su tipinde ve mineralli suların (maden suyu) genellikle “Ca⁺²-SO₄⁻²” su tipinde olduğu belirlenmiştir.

5.1.2 Hidrokimyasal Fasiyeslerin Dağılımı

Hidrokimyasal fasiyeslerin dağılımı, örneklenen su noktalarındaki major iyonların derişimlerine göre oluşturulan dairesel diyagramlar alanın jeoloji haritasına yerleştirilerek değerlendirilmiştir. Dairesel diyagramın büyüklüğü, toplam iyonik derişimlerle orantılı olarak değişmekte olup bu diyagramlar hidrokimyasal fasiyes dağılımı ile birlikte toplam iyonik derişiminin de bölgesel dağılımını yansıtmaktadır. Bu diyagramlar oluşturulurken çalışma alanındaki tüm su örnekleme noktalarını kapsayacak şekilde yağışlı dönem olan Mart 2015 ile Şubat 2016 dönemlerindeki majör iyonlar ile YSA4 ve YSA5 su noktalarının örnekleme Eylül 2014'de olduğundan bu 2 örnekleme için de bu dönemdeki iyon derişimleri kullanılmıştır (Şekil 5.1).

Çalışma alanındaki Cl⁻ ve SO₄⁻² iyonları, çalışma alanının orta kesimlerine doğru suların toplam iyon derişimleriyle beraber Saraykent ve Akdağmadeni (Karadikmen) sıcak ve mineralli sularında artış görülmektedir. Saraykent Jeotermal Alanı'ndan itibaren daha kuzeye doğru gidildikçe iyon derişimlerinde azalma görülmekle beraber çoğu soğuk su kaynaklarında baskın olan Ca⁺²-HCO₃⁻ fasiyesi yerine Mg⁺²/(Na⁺+K⁺)-HCO₃⁻ iyonlarındaki

artış fasiyes farklılığını oluşturmaktadır. Bu fasiyes farklılığının nedeni alandaki su-kayaç etkileşimindeki farklılıktan kaynaklanmakta ve çalışma alanının kuzeyindeki Çiçekli Horstu'daki soğuk su kaynaklarında görülen Mg^{+2} ve $(Na^{+}+K^{+})$ 'un bu bölümde yer alan ofiyolitik kayalardan geldiği anlaşılmaktadır.

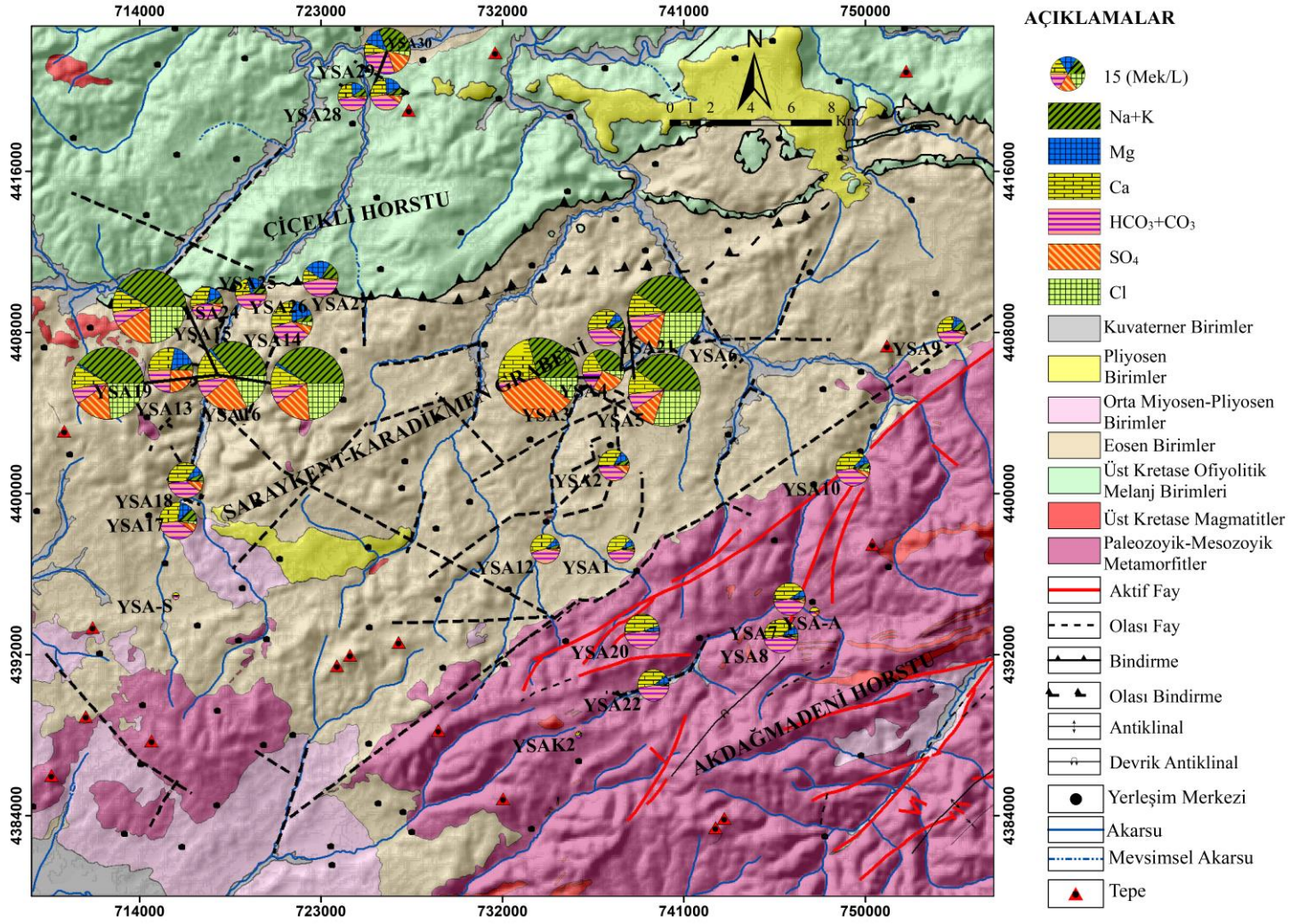
Bu çalışmada, Saraykent jeotermal kuyularında $(Na^{+}+K^{+})-Cl^{-}/SO_4^{-2}$ iyonları baskın karakterde görülmekte iken, Burçak vd. [8], Saraykent Jeotermal Alanı'nda bulunan akışkanın $Na^{+}-HCO_3^{-}-SO_4^{-2}$ su tipinde olduğunu ve sığ kuyuda (YSA15?) % 90.16 CO_2 , % 6.30 N_2 , % 3.50 O_2 , 400 ppm H_2 , 43 ppm H_2S , 14 ppm CH_4 gazı ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Saraykent Jeotermal Alanı'ndaki Burçak vd. [8] tarafından yapılan çalışmada HCO_3^{-} iyonunun baskın anyon görülmesinin nedeni olarak derinlerdeki faylarla CO_2 geliminden dolayı metamorfitlerdeki mermerlerin çözünmesinden oluşabileceği düşünülmektedir.

5.1.3 Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler

Çalışma alanındaki suların kimyasal özelliklerinin ve kökensel ilişkisinin belirlenmesi amacıyla Piper ve Schoeller Diyagram'larından yararlanılmıştır. Dönemsel olarak toplanan su örneklerinin majör katyon-anyon analiz sonuçları % Meq/L olarak Piper Diyagramı'nda, Meq/L olarak yarı logaritmik Schoeller Diyagramı'nda çizilerek gösterilmiştir.

Piper Diyagramı'nda görüldüğü gibi soğuk su örnekleri genellikle daha yüksek Ca^{+2} ve HCO_3^{-} iyonlarınca zenginleşmenin olduğu kısımlarda gruplanırken, sıcak ve mineralli suların $Na^{+}+K^{+}$ ve $Cl^{-}-SO_4^{-2}$ iyonlarınca zenginleşmenin olduğu kısımlarda gruplaştığı belirlenmiştir (Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Yağış örnekleri ile, yağışlardan doğrudan beslenen kaynak ve akarsu örnekleri bu diyagramın sol köşesindeki mor renkli dairelerin içindeki bölgede görülmektedir. Bu bölge kalsitin çözünme bölgesini de göstermekte olup, bu sular Ca^{+2} ve HCO_3^{-} 'lı sular sınıfındadırlar. Sıcak ve mineralli sular diyagramın sağ köşesindeki kırmızı renkli dairelerin içindeki bölgede görülmektedir. Bu bölge magmatik kayalardaki minerallerin ve sülfatlı minerallerin çözünmesinden oluşan bölgeyi göstermekte olup bu bölgedeki sular $Na^{+}+K^{+}$ ve $Cl^{-}-SO_4^{-2}$ 'lı sular sınıfındadırlar. Mineralli su örnekleri (YSA19, YSA21 ve YSA30), soğuk su örnekleri ile sıcak ve mineralli suların gruplaştığı bölgeler dışında yer almakta olup soğuk su örnekleri ile sıcak ve mineralli suların arasında yer almakta olup bu iki suyun karışımı olabileceği düşünülmektedir.

Schoeller Diyagramı'nda sıcak ve mineralli suların $Na^{+}+K^{+}$, SO_4^{-2} ve Cl^{-} iyonlarınca zenginleştiği görülürken soğuk su örneklerinin ise genellikle daha yüksek Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^{-} ve SO_4^{-2} iyonlarınca zenginleştiği belirlenmiştir (Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9).

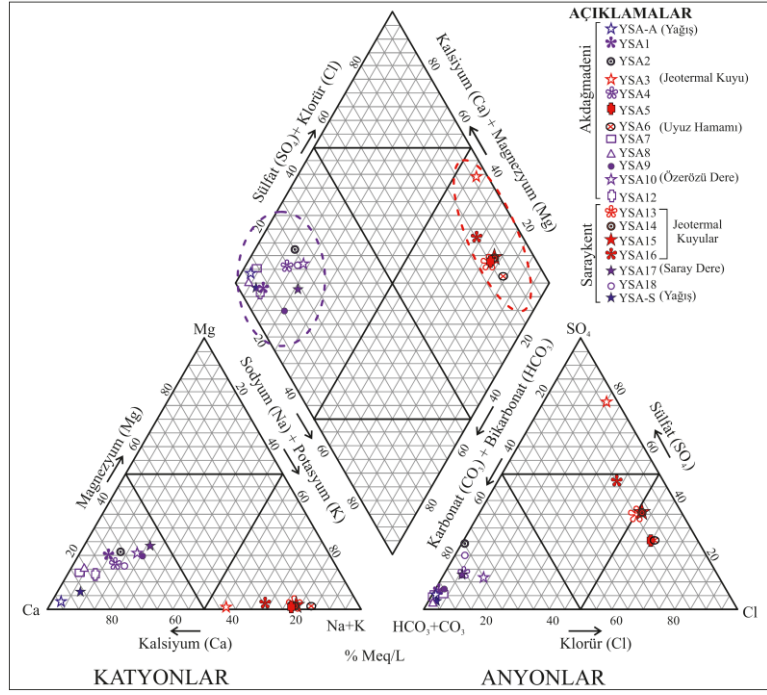


Şekil 5.1. Çalışma alanındaki iyonların dağılımı (dairesel diyagramı)

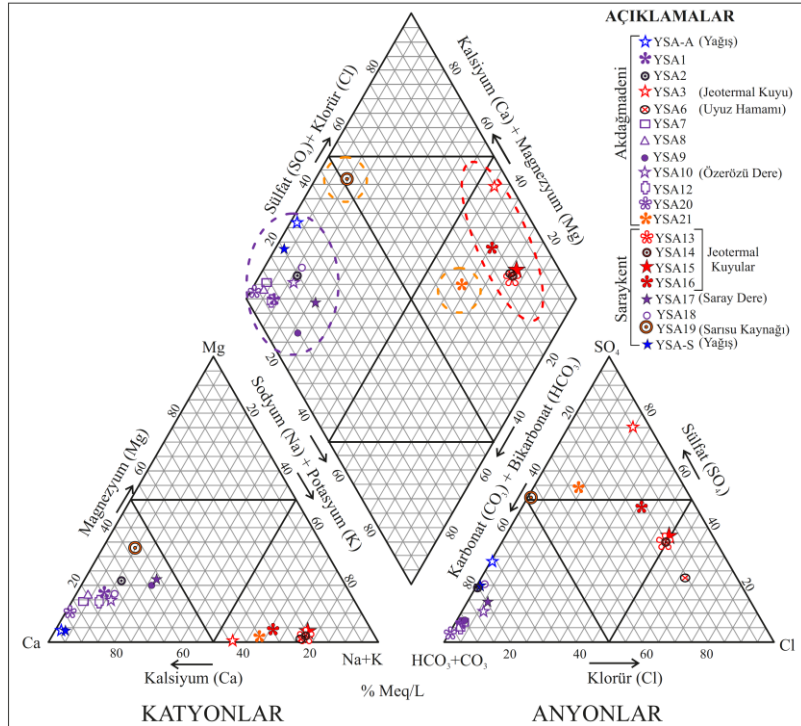
Çizelge 5.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin iyon dizilimlerinin dönemsel olarak karşılaştırılması.

Örnek Kodu	1. Dönem (Eylül 2014)		2. Dönem (Mart 2015)		3. Dönem (Ağustos 2015)		4. Dönem (Şubat 2016)	
YSA1	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA2	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA3	SO₄²⁻>Cl⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	SO₄²⁻>Cl⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	SO₄²⁻>Cl⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*
YSA4	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*	*	*	*	*
YSA5	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*	*	*	*	*
YSA6	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*
YSA7	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA8	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA9	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	*	*
YSA10	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA12	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA13	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*
YSA14	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*
YSA15	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*
YSA16	SO₄²⁻>Cl⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	SO₄²⁻>Cl⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	SO₄²⁻>Cl⁻>HCO₃⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*
YSA17	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA18	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	*	*
YSA19	*	*	SO₄²⁻>HCO₃⁻>Cl⁻	Ca²⁺>Mg²⁺>Na⁺+K⁺	SO₄²⁻>HCO₃⁻>Cl⁻	Ca²⁺>Mg²⁺>Na⁺+K⁺	*	*
YSA20	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA21	*	*	SO₄²⁻>HCO₃⁻>Cl⁻	Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺	*	*	*	*
YSA22	*	*	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA24	*	*	*	*	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺
YSA25	*	*	*	*	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺
YSA26	*	*	*	*	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Ca ²⁺
YSA27	*	*	*	*	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺
YSA28	*	*	*	*	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺
YSA29	*	*	*	*	*	*	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺
YSA30	*	*	*	*	*	*	HCO₃>SO₄²⁻>Cl⁻	Na⁺+K⁺>Mg²⁺>Ca²⁺
K2	*	*	*	*	*	*	HCO ₃ >Cl ⁻ >SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺
YSA-S	SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	*	*
YSA-A	SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	*	*

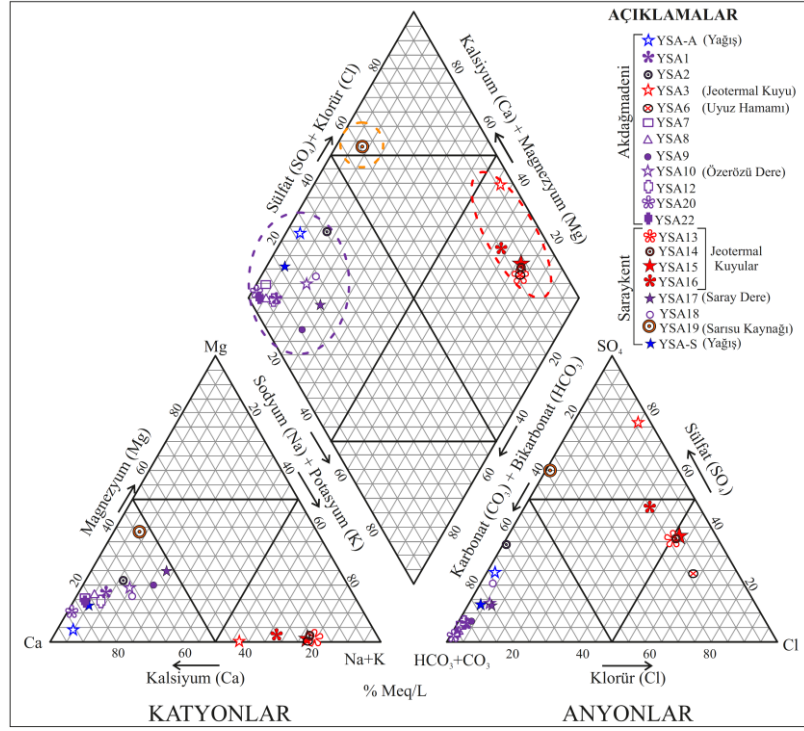
*Dönemsel örnekleme olmadığından belirlenmemiştir.



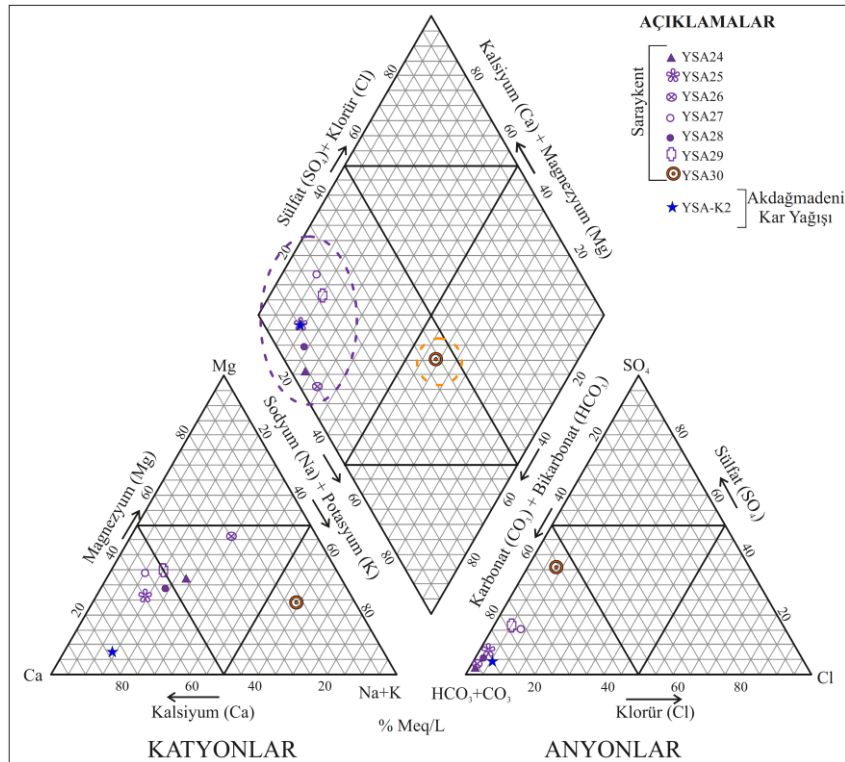
Şekil 5.2. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.



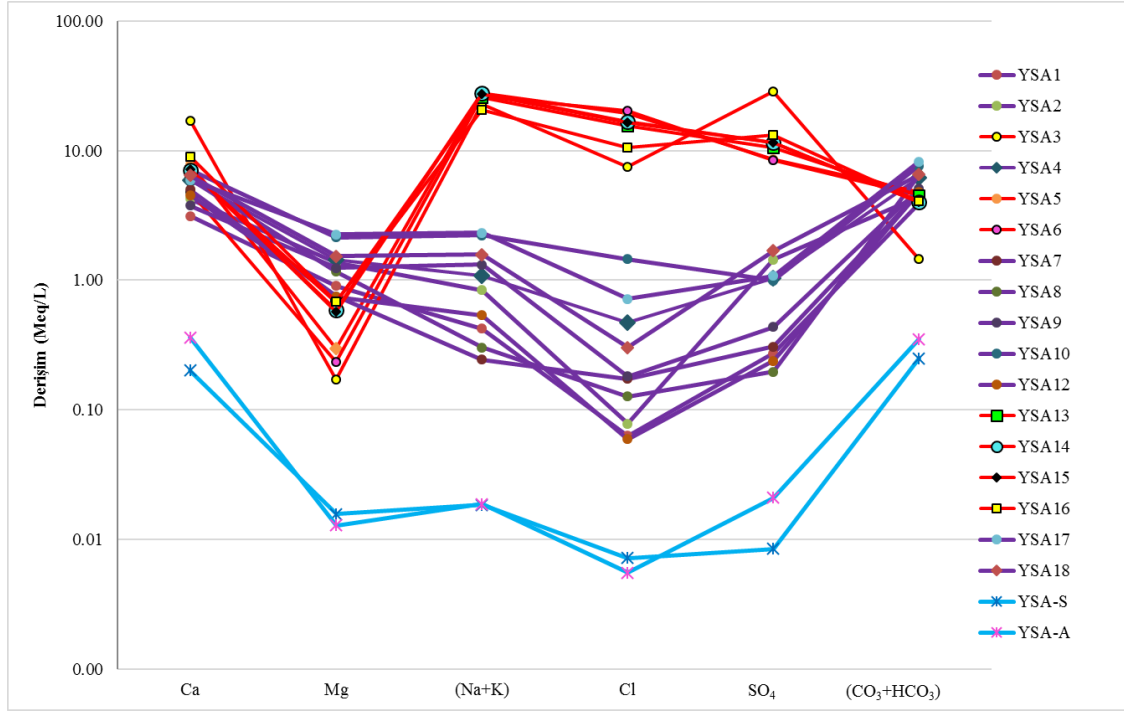
Şekil 5.3. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.



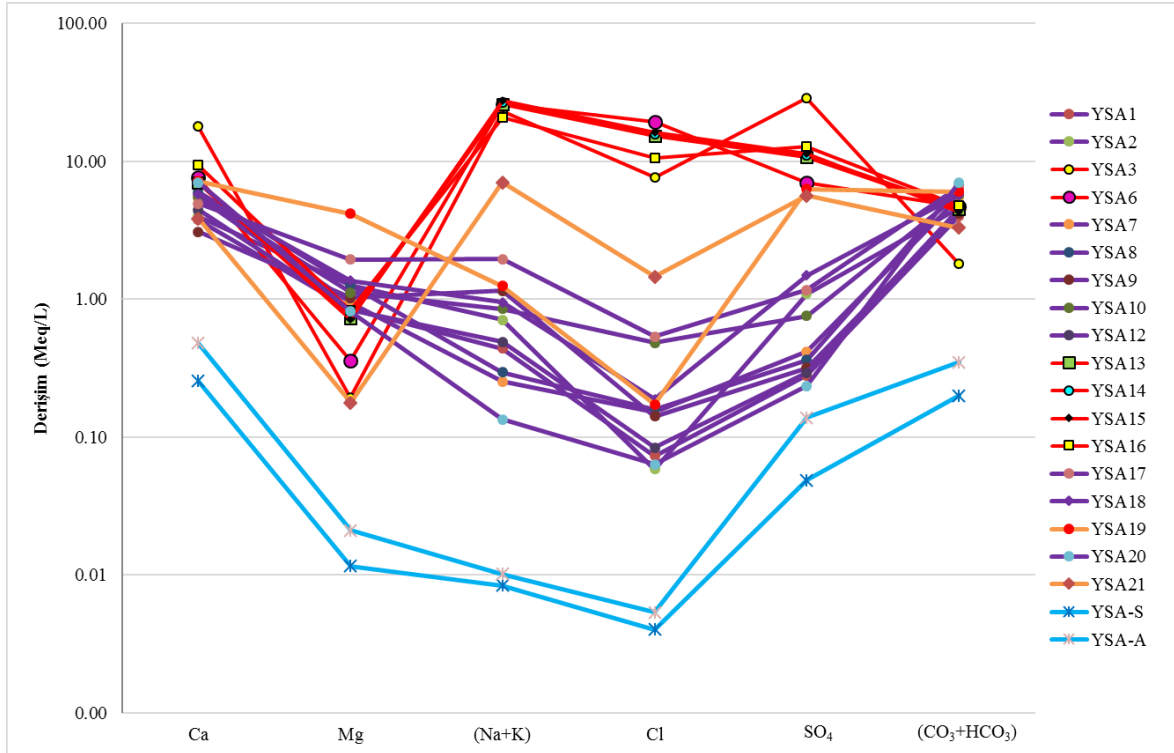
Şekil 5.4. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.



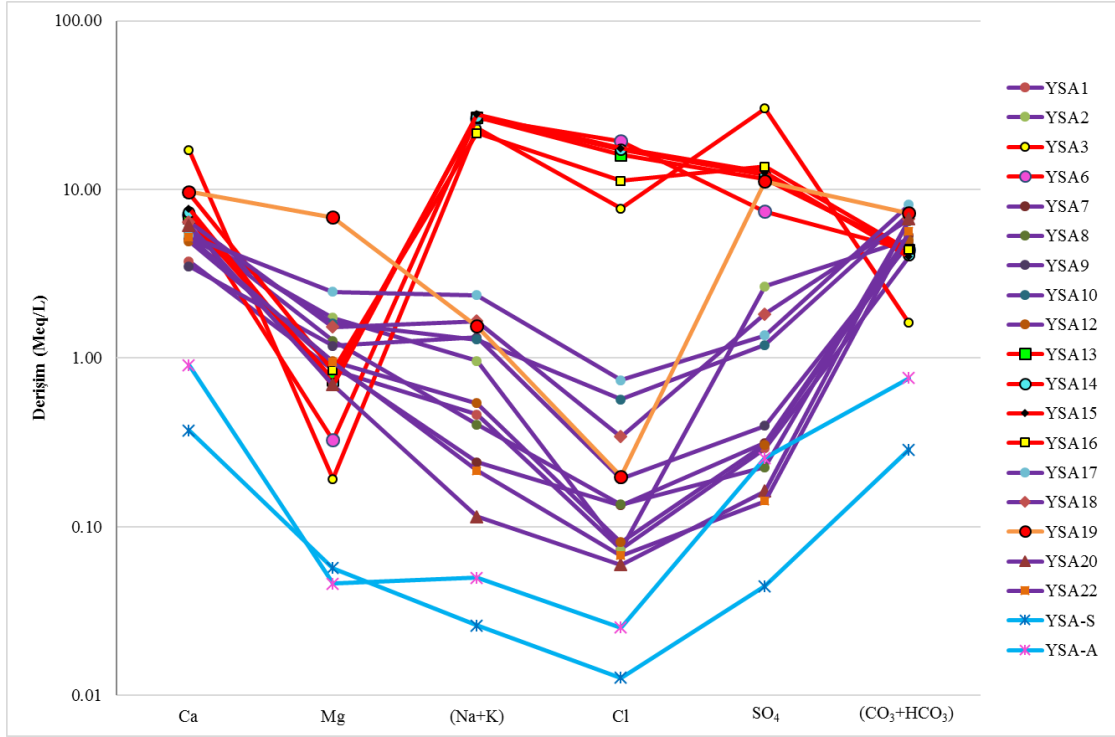
Şekil 5.5. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Piper Diyagramı'nda gösterimi.



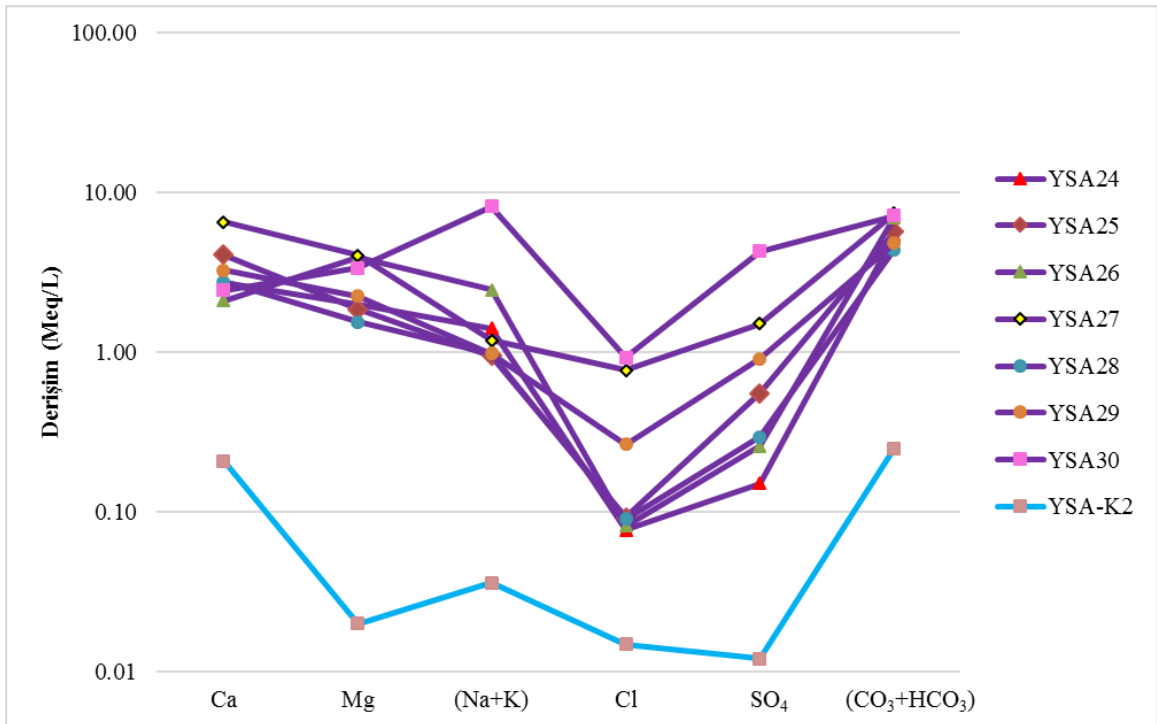
Şekil 5.6. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.



Şekil 5.7. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.



Şekil 5.8. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.

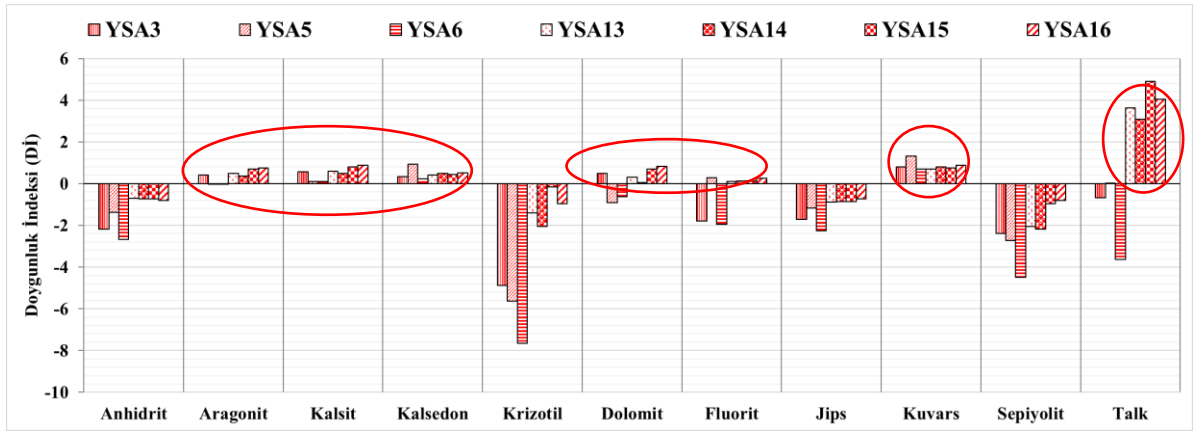


Şekil 5.9. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan su örneklerinin Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.

Schoeller Diyagramı'nda sıcak ve mineralli sularda benzer kimyasal bileşim görüldüğünden dolayı benzer kökenli olup, bu suların kimyasında dönemsel olarak önemli bir değişim görülmemektedir. Bu durum, sıcak ve mineralli suların derin dolaşım olduğu hakkında da bilgi vermektedir. Mineralli su örnekleri (YSA19, YSA21 ve YSA30), sıcak ve mineralli sular ile soğuk sular arasında Schoeller Diyagramı'nda görülmekte olup, karışık kökenlidir.

5.2 Suların Mineral Doygunluk İndeksi ve Jeokimyasal Bulguların Değerlendirilmesi

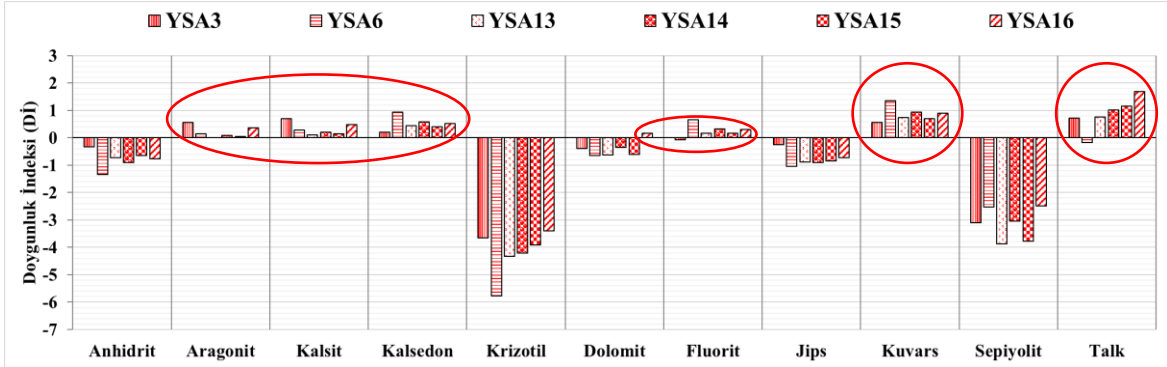
Ortamın özellikleri hakkında bilgi veren sıcak ve mineralli suların belirli minerallere olan doygunluğu PhreeqC Interactive 3.3.7 [26] programı ile hesaplanarak yorumlanmıştır. Yapılan doygunluk hesaplamasıyla oluşturulan doygunluk indeksi diyagramında su örnekleme noktalarında kalsedon ve kuvarsa doygun; kalsit, aragonit, dolomit ve talka çoğu örnekleme noktalarında doygun oldukları belirlenmiştir (Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12). Bu durum, çalışma alanındaki kayaç litolojileri de dikkate alındığında suların dolaşım süreleri boyunca metamorfitleme ait mermerler ve volkanitler ile uzun süre temas etmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, anhidrit ve jips minerallerini ise çözme eğiliminde oldukları belirlenmiştir.



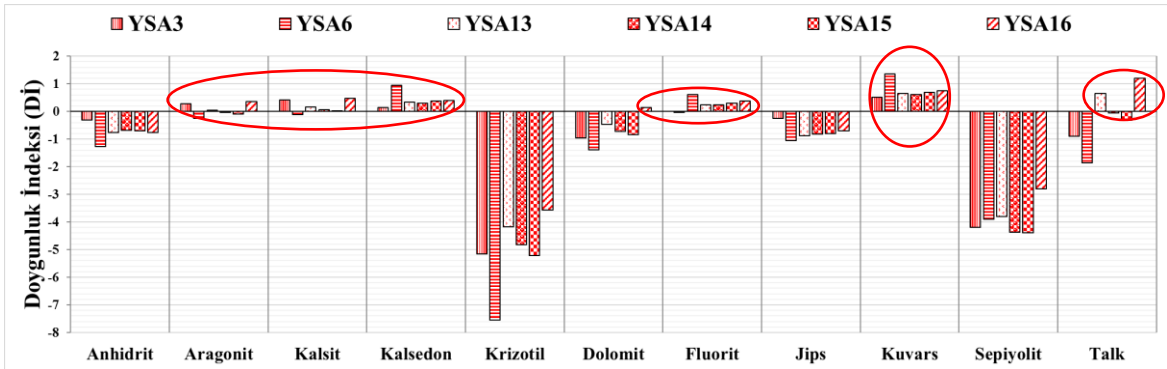
Şekil 5.10. Eylül 2014 döneminde çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi grafiği.

Çalışma alanındaki Saraykent jeotermal kuyularındaki (YSA13, YSA15 ve YSA16) sıcak ve mineralli suların boşalım yaptığı kısımlardan toplanan kabuklaşma örneklerinin minerolojik içeriği için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. YSA13 örnekleme noktasındaki analiz sonuçlarına göre kalsit, kuvars, feldispat, kil (simektit, illit, kaolinit ve klorit) ve mika mineralleri tespit edilmiştir. YSA15 örnekleme noktasında kalsit, kuvars, feldispat ve kil (simektit, illit, kaolinit, klorit) mineralleri tespit edilmiştir. YSA16 örnekleme noktasında başlıca kalsit olmak üzere, çok az miktarda kuvars mineralleri tespit edilmiştir (Ek 6, Ek 7

ve Ek 8). Bu durumda kuyu ağzında daha çok kalsit kabuklaşması mevcut olup kuyu ağzındaki çökeltilerin kuyudan gelen asılı madde ve kayaç kırıntılarının karbonat çimentosu ile tutturulmuş çökeltiler olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.11. Mart 2015 döneminde çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi grafiği.



Şekil 5.12. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi grafiği.

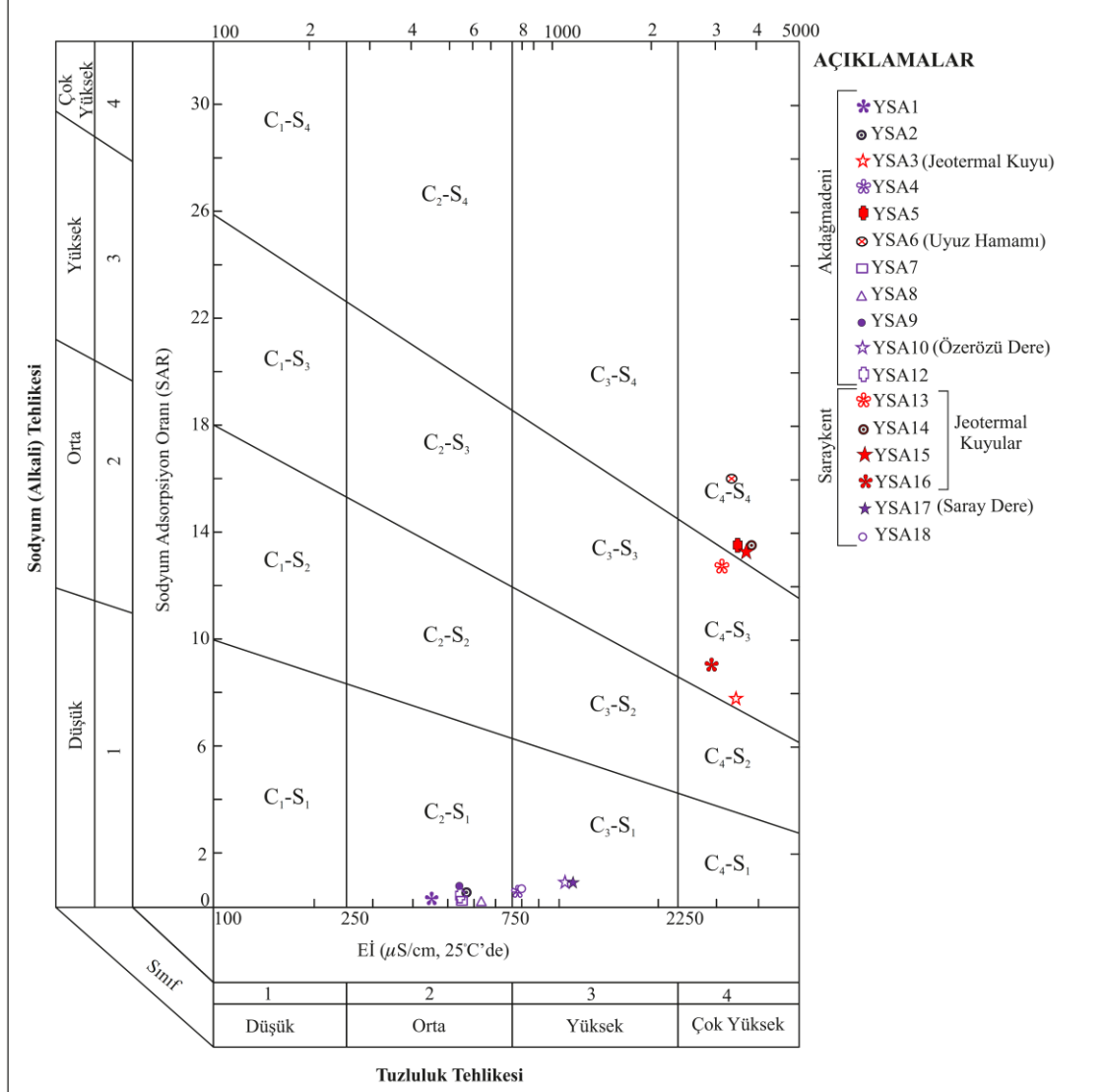
Doygunluk indeksi hesaplamaları ve XRD sonuçlarına göre yüzeye çıkan sıcak ve mineralli suların karbonat (kalsit) ve silis (kuvars) kabuklaşması oluşturduğu belirlenmiştir.

5.3 Sulama Suyu Sınıflandırılması

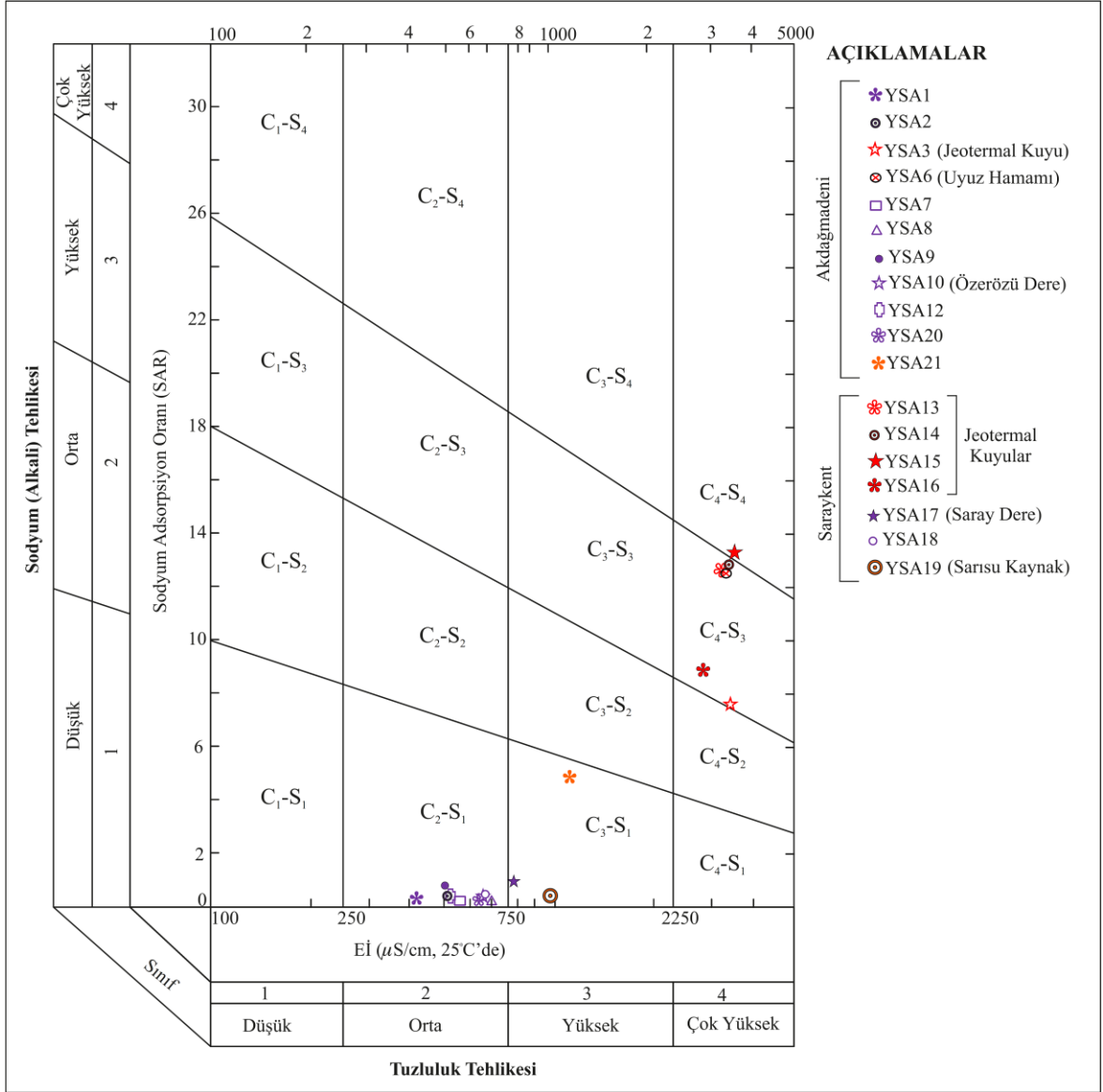
Çalışma alanından toplanan yeraltı ve yüzey suları “ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı” ve “Wilcox Diyagramı” nda sırasıyla Eİ değerine karşılık sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve Na⁺ iyonunun katyonlar içerisindeki % değeri işaretlenerek suların sulama suyu kullanımının uygun olup olmadığı belirlenmiştir.

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı’nda C₁’den C₄’e artış Eİ’deki artışı gösterirken S₁’den S₄’e artış Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) artışını göstermektedir. “ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı” nda dönemsel olarak soğuk suların (dereleler dahil) çoğunlukla C₂-S₁ (orta Eİ, düşük SAR oranlı) ile C₃-S₁ (yüksek Eİ, düşük SAR oranlı), mineralli su

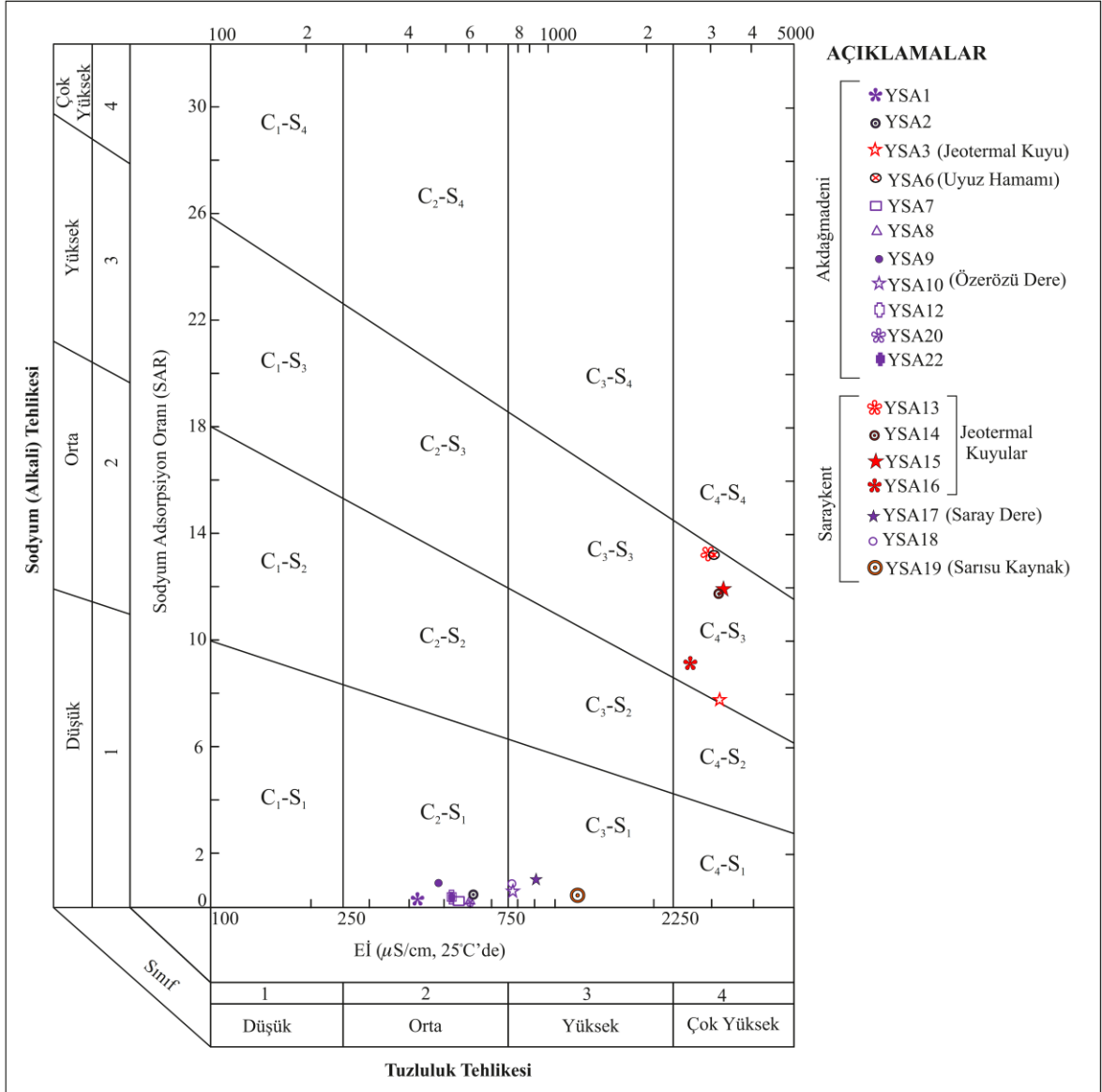
kaynaklarının C₃-S₁ (yüksek Eİ, düşük SAR oranlı), sıcak ve mineralli suların ise C₄-S₃ (çok yüksek Eİ, yüksek SAR oranlı) ve/veya C₄-S₄ (Çok yüksek Eİ, çok yüksek SAR oranlı) olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16).



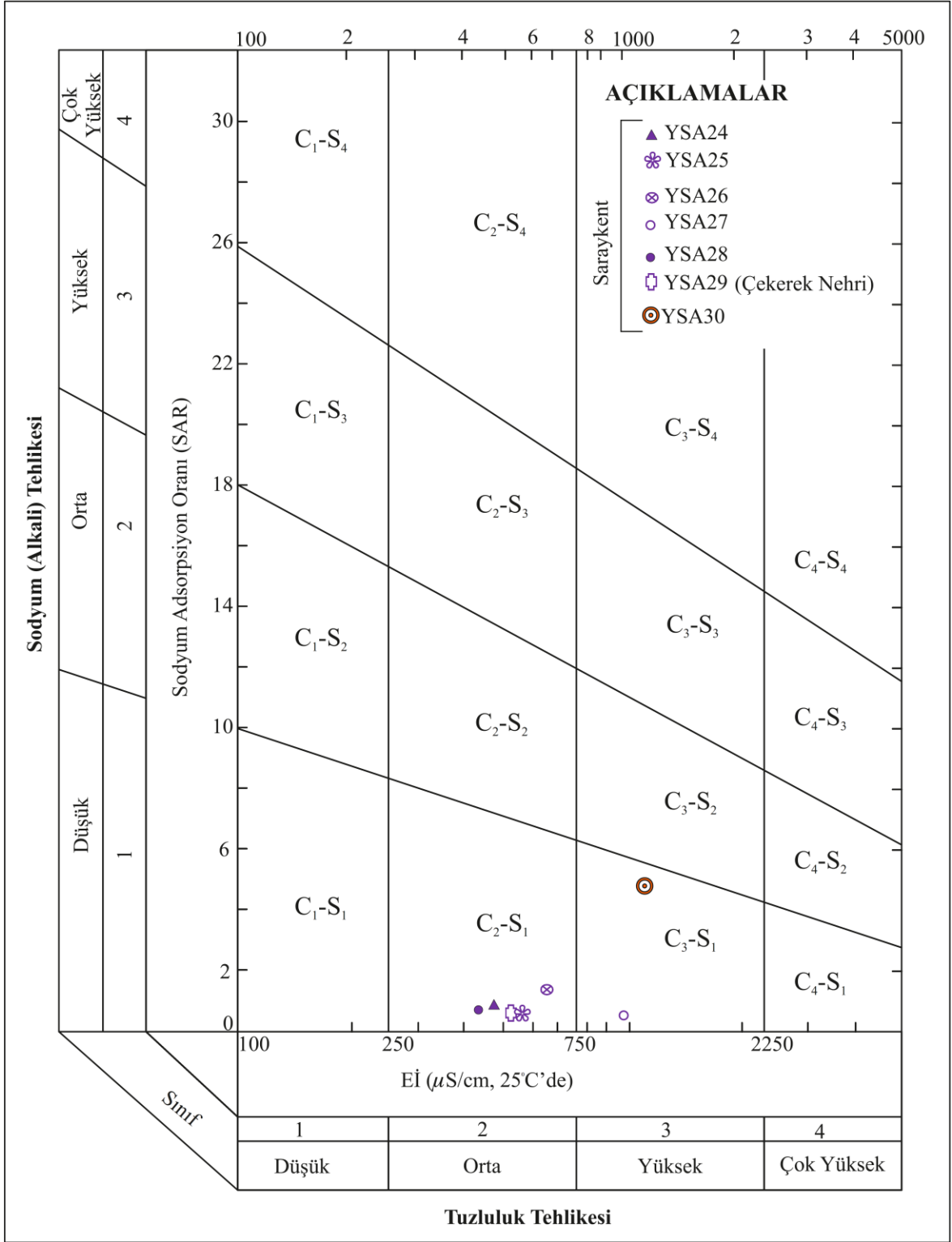
Şekil 5.13. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzeysel su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.



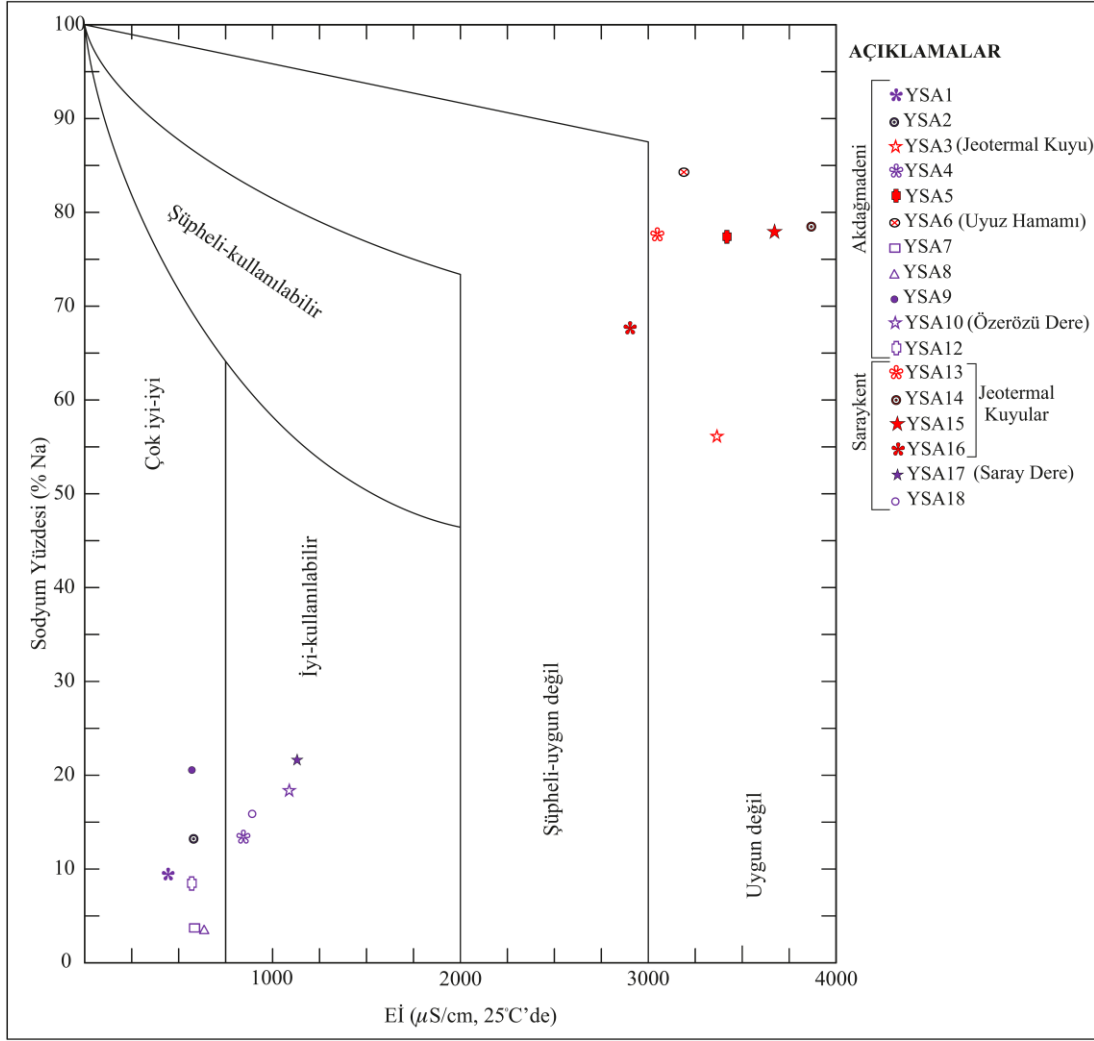
Şekil 5.14. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.



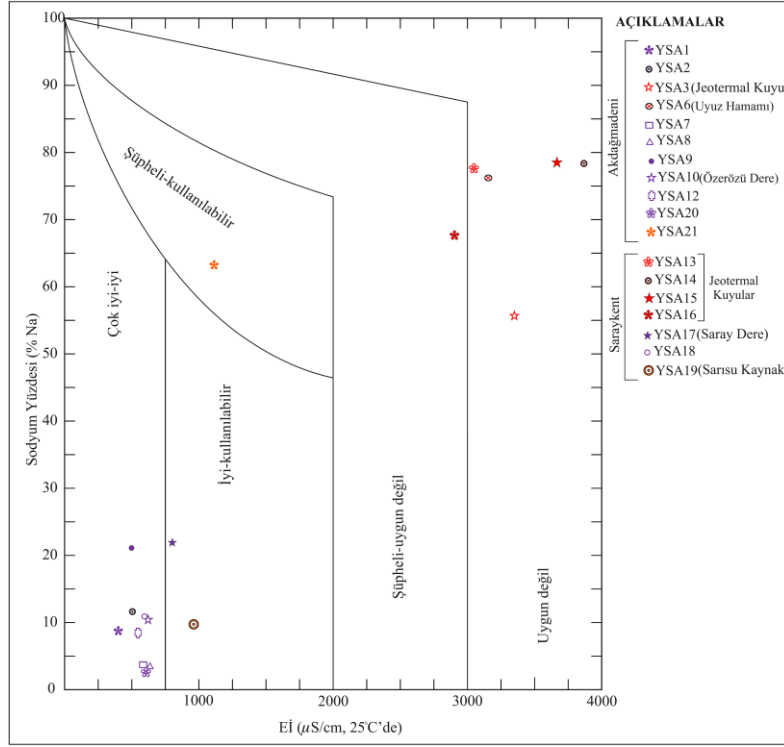
Şekil 5.15. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzeysel su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.



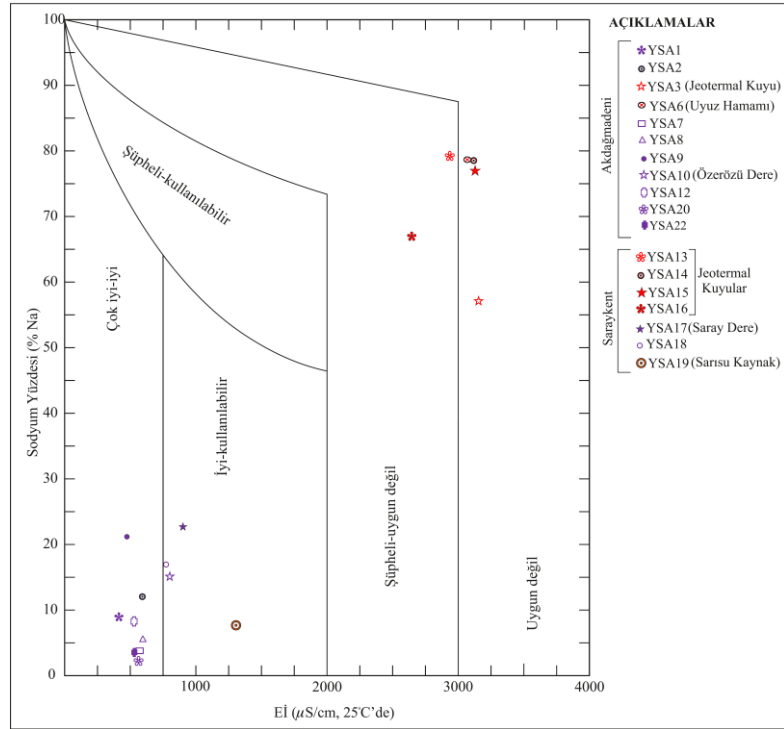
Şekil 5.16. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzeysel su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda gösterimi.



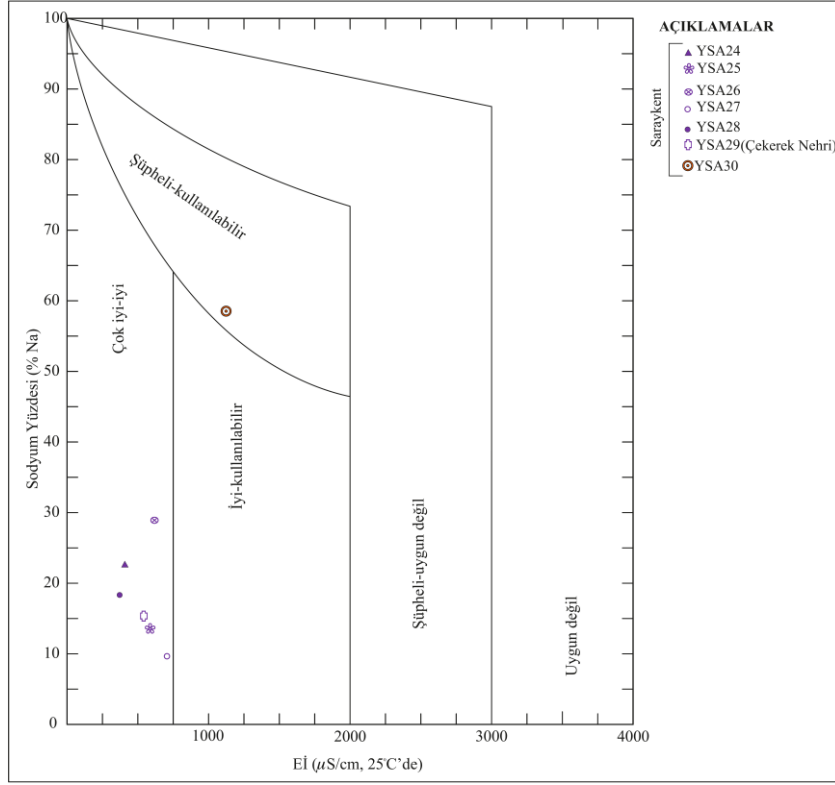
Şekil 5.17. Eylül 2014 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.



Şekil 5.18. Mart 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.



Şekil 5.19. Ağustos 2015 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.



Şekil 5.20. Şubat 2016 döneminde çalışma alanından toplanan yeraltı/yüzey suyu örneklerinin Wilcox Diyagramı'nda gösterimi.

Suların dönemsel analizleri sonucunda oluşturulan Wilcox Diyagramı'na göre soğuk su örnekleri (dereler dahil) çok iyi-iyi (kullanılabilir), sıcak ve mineralli suların şüpheli (uygun değil)-uygun değil, mineralli su örneklerinden YSA19 iyi-kullanılabilir kısmında yer alırken YSA21 ve YSA30 nolu örnekleri şüpheli-kullanılabilir kısımda yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20).

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ve Wilcox Diyagramı'na göre soğuk su örneklerinin sulama için uygun, sıcak ve mineralli su örneklerinin yüksek iyon içeriğine sahip olmasından dolayı sulamaya uygun görülmediği belirlenmiştir.

5.4 Sulardaki Kirlilik Değerlendirmeleri

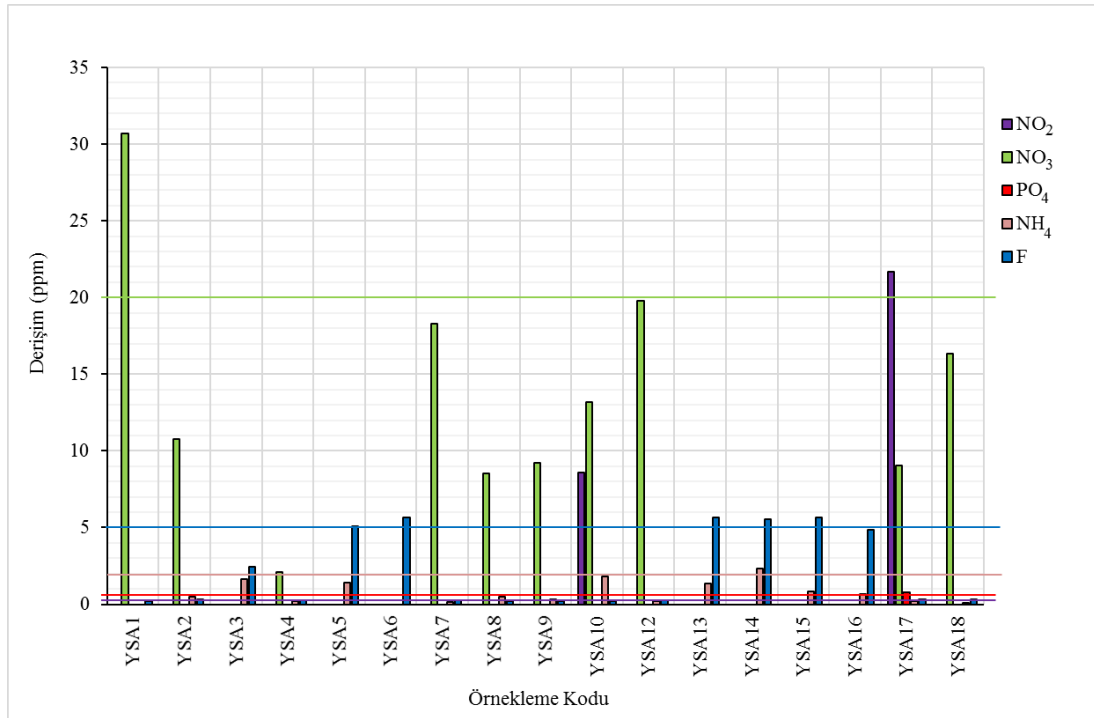
Çalışma alanındaki soğuk su kaynaklarında ve akarsularda (YSA10, YSA17 ve YSA29) kirlilik değerlendirmeleri için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, [27]) ve TS 266 [28] standartları (insani tüketim amaçlı sular) ile değerlendirilmiştir. Jeotermal kaynaklar (YSA3, YSA5, YSA6, YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) ve mineralli sular (YSA19, YSA21 ve YSA30) ise Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (DMSHY, [29])'teki değerler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler için dönemsel hidrojeokimyasal analiz sonuçlarından NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4 ve F^- iyonlarının Ek 2, Ek 3,

Ek 4 ve Ek 5 'ten faydalanılarak dönemsel grafikleri çizilmiş ve yorumlanmıştır (Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24).

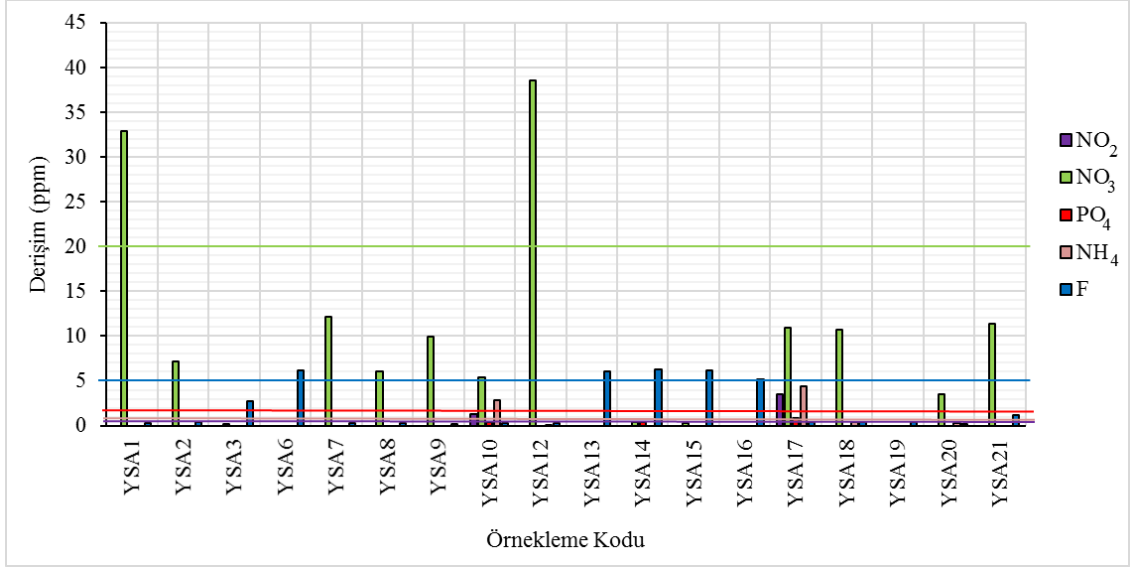
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) su ortamlarının kalite sınıflandırılması bölüm 3, madde 7'ye kıta içi yüzeysel suları kalite parametrelerine göre 4 sınıfa ayırmış olup bu bölümde en üst limite göre “çok kirlenmiş su” tipleri ayırt edilmiştir. Bu yönetmeliğe göre Nitrit azotu (NO_2^- -N) 0.05 mg/L, Nitrat azotu (NO_3^- -N) 20 mg/L, Amonyum azotu (NH_4^+ -N) 2 mg/L, toplam fosfor (PO_4^{3-} -P) 0.65 mg/L, Florür (F^-) 2 mg/L den büyük büyük olanlar suyun “çok kirlenmiş su” sınıfında olduğunu göstermektedir [27].

TS 266 [28] standartına göre NO_2^- 0.5 mg/L, NO_3^- 50 mg/L, F^- 1.5 mg/L, Arsenik (As) 10 $\mu\text{g/L}$, Kurşun (Pb) 10 $\mu\text{g/L}$ den fazla olamaz.

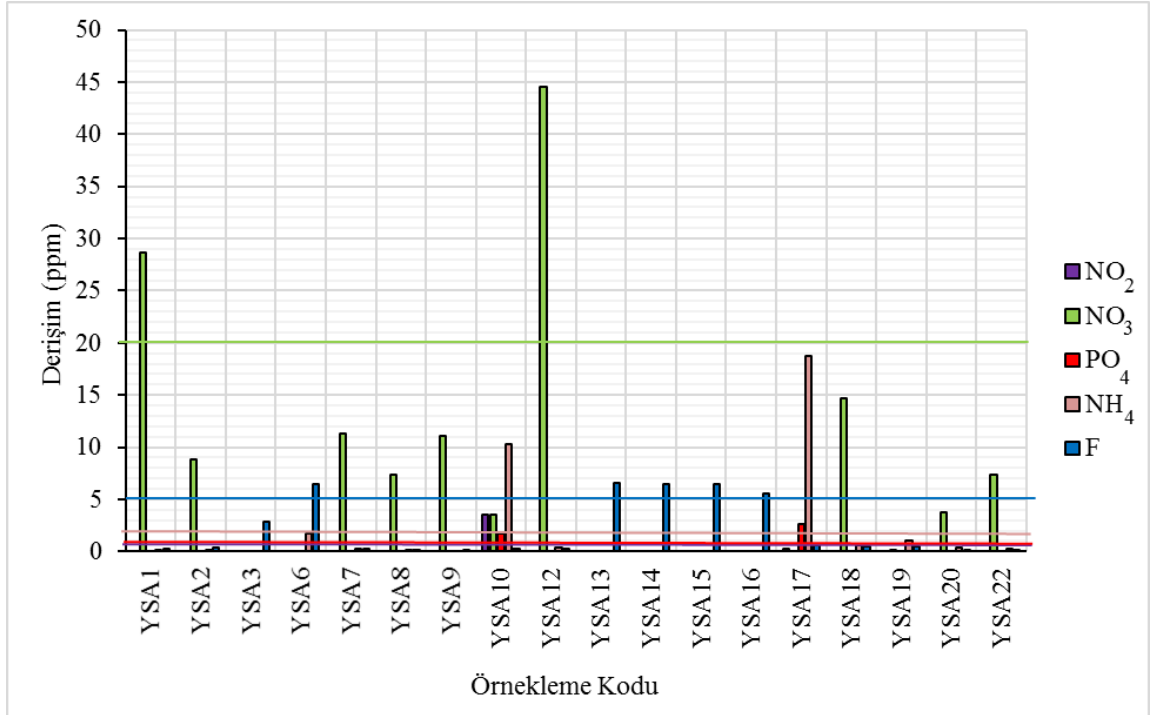
DMSHY [29]'e göre NO_2^- 0.1 mg/L, NO_3^- 50 mg/L, F^- 5 mg/L, Pb 0.01 mg/L ve Alüminyum (Al) 0.2 mg/L maksimum bulunabilecek miktarları göstermektedir.



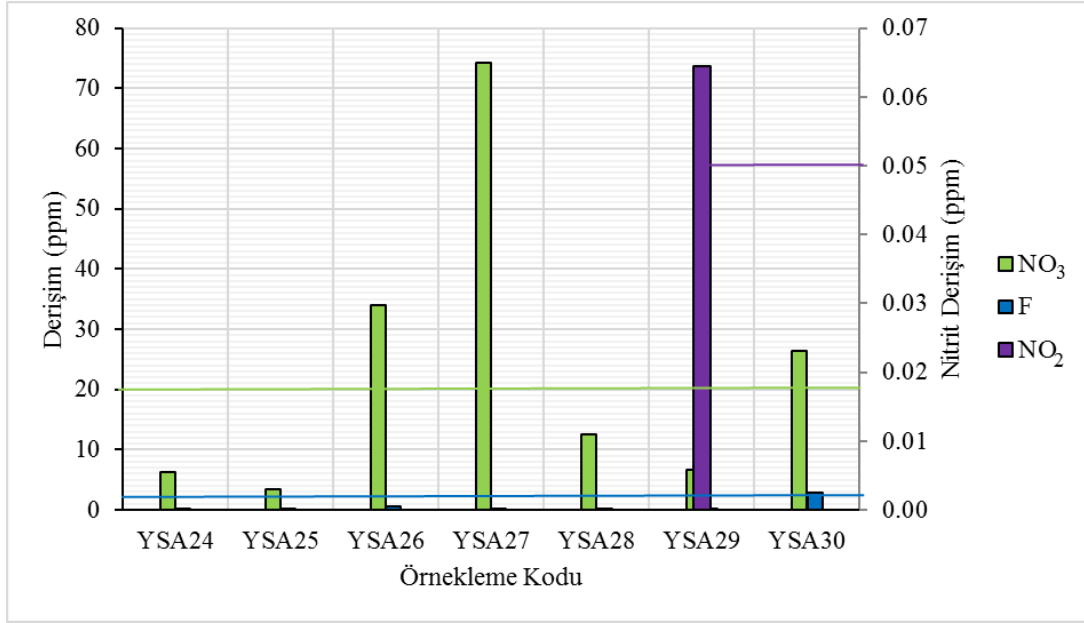
Şekil 5.21. Eylül 2014 dönemine ait kirlilik göstergesi olan iyonların grafiksel gösterimi.



Şekil 5.22. Mart 2015 dönemine ait kirlilik göstergesi olan iyonların grafiksel gösterimi.



Şekil 5.23. Ağustos 2015 dönemine ait kirlilik göstergesi iyonların grafiksel gösterimi.



Şekil 5.24. Şubat 2016 dönemine ait kirlilik göstergesi olan NO₃ iyonunun grafiksel gösterimi.

Nitrit azotu (NO₂⁻-N) Eylül 2014 ve Mart 2015 dönemlerinde YSA10 (Özerözü Dere) ve YSA17 (Saray Dere) örneklerinde, Ağustos 2015 döneminde YSA10 örneği SKKY [27] ve TS 266 [28] standartına göre sınır değerlerini aştığı belirlenmiştir. Şubat 2016 döneminde ise YSA29 akarsu örneği SKKY [27]'ye göre çok kirlenmiş su sınıfındadır. DMSHY [29]'e göre jeotermal kaynaklar (YSA3, YSA5, YSA6, YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) ve mineralli sular (YSA19, YSA21 ve YSA30) sınır limitlerinin altındadır.

Nitrat azotu (NO₃⁻-N), Eylül 2014 döneminde YSA1, Mart 2015 ve Ağustos 2015 dönemlerinde YSA1 ve YSA12, Şubat 2016 döneminde ise YSA27 soğuk su kaynağına ait su örneği SKKY [27]'ye göre çok kirlenmiş su sınıfındadır. YSA27 soğuk su kaynağı TS 266 [28] standartını da aşmaktadır. DMSHY [29]'e göre jeotermal kaynaklar (YSA3, YSA5, YSA6, YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) ve mineralli sular (YSA19, YSA21 ve YSA30) sınır limitlerinin altındadır.

Amonyum azotu (NH₄⁺-N), Mart 2015 ve Ağustos 2015 dönemlerinde YSA10 ve YSA17 akarsu örnekleri SKKY [27]'ye göre çok kirlenmiş su sınıfındadır.

Toplam fosfor (PO₄⁻³-P), Eylül 2014 ve Mart 2015 döneminde YSA17 akarsu örneğinde, Ağustos 2015 döneminde YSA10 ve YSA17 akarsu örnekleri SKKY [27]'ye göre çok kirlenmiş su sınıfındadır.

Florür (F⁻), Şubat 2016 döneminde ise YSA30 soğuk su kaynağı SKKY [27] ve TS 266 [28] standartına göre sınır değerlerini aştığı belirlenmiştir. DMSHY [29]'e göre Eylül 2014 döneminde YSA5, YSA6, YSA13, YSA14 ve YSA15, Mart ve Ağustos 2015 döneminde YSA6, YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16 jeotermal kaynaklar sınır değerini aştıkları belirlenmiştir.

Arsenik (As), Eylül 2014 döneminde YSA10 ve YSA17 akarsu örneklerinde TS 266 [28] standartına göre sınır değerini aştıkları belirlenmiştir.

Kurşun (Pb), Mart 2015 ve Ağustos 2015 dönemlerinde tüm su örneklerinde, Şubat 2016 döneminde ise ofiyolitli bölgede yer alan YSA29 ve YSA30 soğuk su örneklerinde TS 266 [28] standartına göre sınır değerini aştıkları belirlenmiştir. Mart 2015, Ağustos 2015 ve Şubat 2016 dönemlerindeki tüm sıcak ve mineralli suların ve mineralli suların DMSHY [29]'e göre sınır değerini aştıkları belirlenmiştir.

Alüminyum (Al), Mart ve Ağustos 2015 döneminde YSA3, YSA6, YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16 jeotermal kaynaklar DMSHY [29]'e göre sınır değerini aştıkları belirlenmiştir.

SKKY [27]ve TS 266 [28] standartlarına göre azotun çeşitli formları ile fosfor iyonları dönemsel olarak akarsularda çok miktarda bulunmaktadır. Ayrıca YSA1, YSA12 ve YSA27 soğuk su kaynaklarında çok fazla miktarda nitrat bulunmaktadır. Bunun nedeni çalışma alanındaki deterjan atıklarından, alanda hayvancılık-tarım faaliyetleri olduğundan hayvansal gübrelerden, tarım alanlarında kullanılan gübre ve ilaçlamalardan ve/veya kanalizasyon atıklarının sonucunda oluşabileceği düşünülmektedir. Standartları aşan değerler insan sağlığı için önem taşımakta olup bu suların kullanılmasında dikkat edilmelidir.

6 İZOTOP HİDROJEOLOJİSİ

Çalışma alanında jeotermal rezervuardaki suyun kökeninin belirlenmesinin yanı sıra bölgesel yeraltısuyu dolaşım yönlerinin ve rezervuarın beslenme alanı yükseltisinin ortaya çıkarılması amacıyla doğal izleyici olarak çevresel izotoplar kullanılmıştır.

Suyun molekül yapısında bulunan $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve ^3H izotoplarının yanı sıra suda çözünen moleküllerin izotopları da jeotermal sistemin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesinde çok önemli katkıları bulunmaktadır.

Bu bölümde, Saraykent ve Akdağmadeni (Yozgat) jeotermal alanında hidrojeokimyasal çalışmalarla beslenme ve yeraltısuyu dolaşım sistemlerine ilişkin elde edilen verilerin izotoplarla da desteklenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, dönemselsel olarak gerçekleştirilen izotop çalışmaları Çizelge 6.1’de “✓” işareti ile gösterilmiş olup izotop analizi yapılmayan dönemler ise “-” olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Çalışma alanında dönemselsel olarak gerçekleştirilen analizler.

Dönem	Çalışma Alanında Gerçekleştirilen Analizler			
	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve T	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$	Toplam Alfa ve Toplam Beta
Eyl.14	✓	-	-	-
Mar.15	✓	✓	✓	✓
Ağu.15	✓	-	-	-
Şub.16	✓	-	-	-

6.1 Duraylı İzotoplar ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$)

Suyun duraylı izotopları ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$), $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ve $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotopları jeotermal akışkanın kökeninin (meteorik, metamorfik, fosil) belirlenmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, suyun duraylı izotopları ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$) yardımıyla rezervuarın beslenme alanı yükseltisinin belirlenmesinde de faydalanılmıştır.

Rezervuar muhtemel sıcaklığının belirlenmesinde $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve suda çözülmüş sülfatın $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop içeriğine göre jeotermometre hesaplamasında da faydalanılmıştır.

Çalışma alanındaki su örneklerinin dönemselsel $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰) analiz sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin dönemsel $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (V_{SMOW} , ‰) analiz sonuçları.

ALAN	Örnek Kodu	Örnekleme Tarihi	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ (V_{SMOW} , ‰)	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ Standart Sapma (V_{SMOW} , ‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (V_{SMOW} , ‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ Standart Sapma (V_{SMOW} , ‰)	Kot (m)
AKDAĞMADENİ	YSA1	Eyl.14	-72.11	0.71	-11.50	0.12	1273
		Mar.15	-73.65	1.29	-10.66	0.01	
		Ağ.15	-73.82	0.31	-10.41	0.03	
	YSA2	Eyl.14	-74.67	1.19	-11.02	0.12	1151
		Mar.15	-77.42	0.48	-10.12	0.15	
		Ağ.15	-74.77	0.49	-10.17	0.10	
	YSA3	Eyl.14	-90.60	0.89	-11.17	0.09	1080
		Mar.15	-96.88	0.32	-10.59	0.07	
		Ağ.15	-88.03	0.40	-10.40	0.12	
	YSA4	Eyl.14	-74.46	1.57	-10.79	0.03	1056
	YSA5	Eyl.14	-89.81	0.32	-8.90	0.09	1087
	YSA6	Eyl.14	-91.58	1.30	-8.80	0.12	1114
		Mar.15	-92.74	0.63	-8.40	0.27	
		Ağ.15	-90.21	0.90	-8.02	0.10	
	YSA7	Eyl.14	-78.31	0.84	-11.08	0.13	1339
		Mar.15	-76.09	0.91	-10.77	0.09	
		Ağ.15	-73.24	0.84	-10.25	0.15	
	YSA8	Eyl.14	-77.36	0.91	-11.76	0.02	1386
		Mar.15	-74.18	1.04	-11.33	0.13	
		Ağ.15	-75.56	0.07	-10.93	0.12	
	YSA9	Eyl.14	-78.64	0.83	-10.96	0.13	1247
		Mar.15	-72.04	1.08	-10.24	0.10	
Ağ.15		-73.87	0.73	-10.33	0.09		
YSA10	Eyl.14	-76.81	0.98	-11.48	0.09	1180	
	Mar.15	-79.33	0.30	-11.64	0.03		
	Ağ.15	-77.18	0.97	-10.88	0.09		
YSA11	Eyl.14	-88.37	0.98	-13.48	0.15	1261	
YSA12	Eyl.14	-76.09	1.46	-10.74	0.15	1207	
	Mar.15	-74.83	0.51	-10.12	0.16		
	Ağ.15	-72.78	0.41	-9.95	0.06		
YSA20	Mar.15	-80.23	0.90	-11.05	0.08	1423	
	Ağ.15	-78.25	0.56	-11.12	0.08		
YSA21	Mar.15	-74.11	0.93	-8.97	0.03	1287	
YSA22	Ağ.15	-79.01	0.69	-11.35	0.15	1427	

Çizelge 6.2.'nin devamı,

ALAN	Örnek Kodu	Örnekleme Tarihi	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ (VSMOW, ‰)	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ Standart Sapma (VSMOW, ‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (VSMOW, ‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ Standart Sapma (VSMOW, ‰)	Kot (m)
AKDAĞMADENİ	YSA-A	Eyl.14	-53.16	0.12	-8.87	0.00	1325
		Mar.15	-65.65	0.53	-10.39	0.13	
		Mar.15	-70.29	0.46	-10.63	0.06	
	K1	Şub.16	-93.51	0.61	-13.21	0.12	1476
	K2	Şub.16	-107.49	0.65	-15.15	0.09	1547
	K3	Şub.16	-95.86	0.57	-13.63	0.11	1396
	K4	Şub.16	-96.31	0.43	-14.13	0.09	1606
	K5	Şub.16	-94.66	0.53	-13.59	0.09	1693
SARAYKENT	YSA13	Eyl.14	-91.15	0.80	-10.35	0.13	1007
		Mar.15	-92.08	0.74	-9.80	0.16	
		Ağ.15	-87.13	0.46	-9.46	0.06	
	YSA14	Eyl.14	-93.45	0.07	-9.85	0.09	1004
		Mar.15	-92.25	0.22	-9.70	0.10	
		Ağ.15	-89.00	0.40	-9.42	0.13	
	YSA15	Eyl.14	-93.73	0.93	-9.86	0.15	1001
		Mar.15	-85.74	0.41	-9.47	0.13	
		Ağ.15	-89.15	0.38	-9.27	0.04	
	YSA16	Eyl.14	-95.06	0.18	-10.91	0.13	1003
		Mar.15	-87.40	0.53	-10.62	0.18	
		Ağ.15	-92.22	0.84	-10.50	0.21	
	YSA17	Eyl.14	-77.67	1.75	-10.30	0.10	1079
		Mar.15	-74.99	0.48	-10.54	0.07	
		Ağ.15	-70.46	0.52	-9.52	0.09	
	YSA18	Eyl.14	-79.37	0.28	-11.36	0.15	1058
		Mar.15	-78.83	0.49	-11.06	0.05	
		Ağ.15	-75.50	0.72	-10.26	0.07	
	YSA19	Mar.15	-80.57	1.00	-12.13	0.11	1026
		Ağ.15	-70.54	0.58	-8.95	0.15	
YSA24	Şub.16	-72.58	0.80	-10.64	0.17	978	
YSA25	Şub.16	-73.42	0.84	-10.50	0.12	1085	
YSA26	Şub.16	-73.86	0.83	-10.04	0.17	1121	
YSA27	Şub.16	-77.08	0.61	-10.77	0.13	1105	
YSA28	Şub.16	-67.29	0.27	-8.69	0.02	882	
YSA29	Şub.16	-76.94	0.80	-10.80	0.10	860	
YSA30	Şub.16	-68.20	0.60	-8.81	0.07	864	
YSA-S	Eyl.14	-52.18	0.94	-8.71	0.10	1162	
	Eyl.14-Ara.14	-77.90	0.52	-11.10	0.17		
	Mart-Ağ.15	-38.79	0.82	-6.49	0.08		

6.1.1 Sulardaki $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ - $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ İlişkisi ve Ortalama Beslenme Yükseltisi

Yozgat bölgesi için Yerel Meteorik Su Doğrusu, Şimşek [30] tarafından $\delta^2\text{H}=8*\delta^{18}\text{O}+14$ belirlenmiştir. Çalışma alanındaki yağış sularının izotop analizleri ile çalışma alanının Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun (Saraykent-Akdağmadeni LMWL) saptanması, bu çalışmanın kapsamı dışında olmakla beraber dönemsel olarak alınan yağışların (yağmur ve kar) $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ analiz sonuçlarından elde edilen veri serisinden YSA-S Mart-Ağustos 2015 dönemine ait yağış örneği hariç tutularak oluşturulan lineer regresyon analiziyle değerlendirilerek Saraykent-Akdağmadeni Alanı'nın Yerel Meteorik Su Doğrusu (**Saraykent-Akdağmadeni LMWL**) denklemi $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}=8.25*\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}+17.90$ ($R^2=0.99$) eşitliği ile tanımlanmıştır. Mart-Ağustos 2015 dönemine ait YSA-S yağış örneğinde $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerinde zenginleşme görüldüğünden bu dönemsel olarak toplanan yağış örneği şişesinin sürekli açılıp kapatılmasıyla atmosferle temas edip buharlaştığı düşünüldüğünden bu veri regresyon analizinde değerlendirilmemiştir. Bu eşitlik gelecekte, Saraykent ve Akdağmadeni alanında çevresel izotopların kullanıldığı hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalara önemli katkı sağlayacaktır.

Craig [31] tarafından Dünya Meteorik Su Doğrusu denklemi (GMWL, Global Meteoric Water Line) “ $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}=8*\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}+10$ ” olarak belirlenmiştir. Craig [31], bu denklemi oluştururken izotopik ilişkide baskın bir faktör olan kapalı havzalardaki buharlaşan suları göz ardı ederek Dünya Meteorik Su Doğrusunu belirlemiş olup, elde ettiği doğrunun eğimi 8 iken Doğu Afrika bölgesindeki kapalı havza göl ve nehir örneklerinde su doğrusunun eğiminin 5 olduğunu belirtmiştir.

Dünya Meteorik Su Doğrusu, yağış esnasında yeniden buharlaşma, mevsimsel yağışlar gibi yerel iklim özellikleriyle değişen birçok Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun ortalamasından oluşmaktadır [32].

Çalışma alanında elde edilen Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun eğimi ve döteryum fazlasının Dünya Meteorik Su Doğrusundan yüksek değerler almasının nedeni alanın ikliminin soğuk ve kurak olmasından ve yükseltisinin fazla olmasından dolayı olduğu düşünülmekte olup, örnekler arasındaki belirleme katsayısı (R^2) da yüksek olduğundan elde ettiğimiz denklem bu çalışmada, alanın Yerel Meteorik Su Doğrusu denklemi (Saraykent-Akdağmadeni LMWL) olarak benimsenmiş ve kullanılmıştır (Şekil 6.1).

Çalışma alanından toplanan su örneklerinin dönemsel olarak $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ analiz sonuçlarından $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ - $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ilişkisi grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8). Bu grafiklerde, jeotermal kaynaklardaki yüksek sıcaklığa sahip suların kayalarla uzun süreli temasından dolayı $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop bakımından zenginleşerek Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun (LMWL) $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop değerinden sapma (zenginleşme) görülmektedir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal rezervuar sularının $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerinin alandaki diğer su kaynaklarının $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerine benzerlik göstermeleri nedeniyle jeotermal rezervuarın meteorik kökenli yağışlardan beslendiği saptanmıştır.

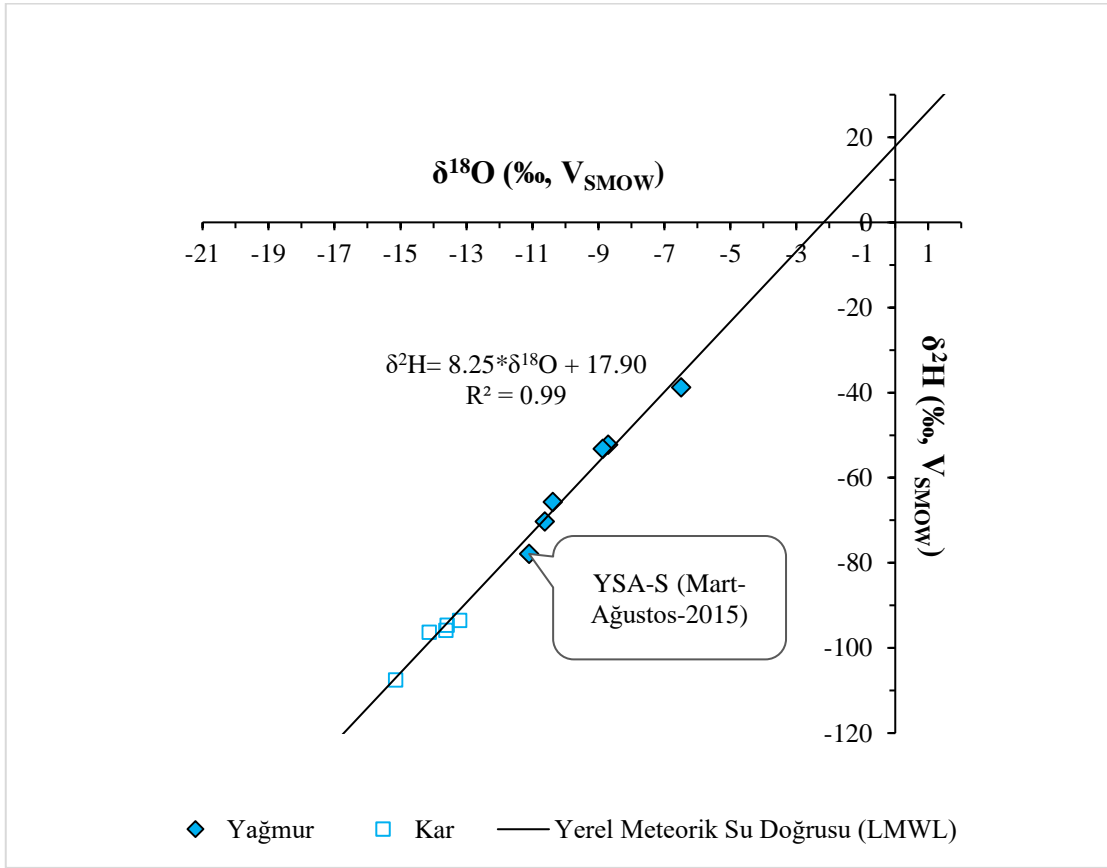
Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar, soğuksu örneklerine göre daha negatif $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop içeriğine sahip olmasından dolayı daha yüksek kotlardan beslendiği ve farklı derinliklerde derin dolaşım olmaları belirlenmiştir. Çalışma alanındaki soğuksu kaynakları jeotermal kaynaklara göre sığ dolaşım göstermektedir. Böylece, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ile $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ duraylı izotoplarıyla sığ ve derin dolaşım sular ayırt edilmiştir.

Rezervuarın beslenme yükseltisi için soğuk su kaynaklarının $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ -yükseklik ilişkisinden faydalanılmıştır. Bu ilişkiyi belirleyebilmek için kot farkı olan sığ dolaşım kaynaklardan toplanan su örneklerinin $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop içerikleri ile yükseklik ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Dönemsel olarak, soğuk su kaynaklarındaki $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ -yükseklik ilişkisine göre belirlenen lineer regresyon denkleminde sıcak ve mineralli suların $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerleri belirlenen denklemde yerine bırakılarak beslenme yükseltisi belirlenmiştir. Sıcak ve mineralli suların kayalarla uzun süreli temasından dolayı Küresel Meteorik Su Doğrusu'nun $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop değerinde sapma (zenginleşme) göstermesinden dolayı $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerine göre de beslenme yükseltisi hesaplamasının yanıltıcı sonuç verebileceğinden tercih edilmemiştir.

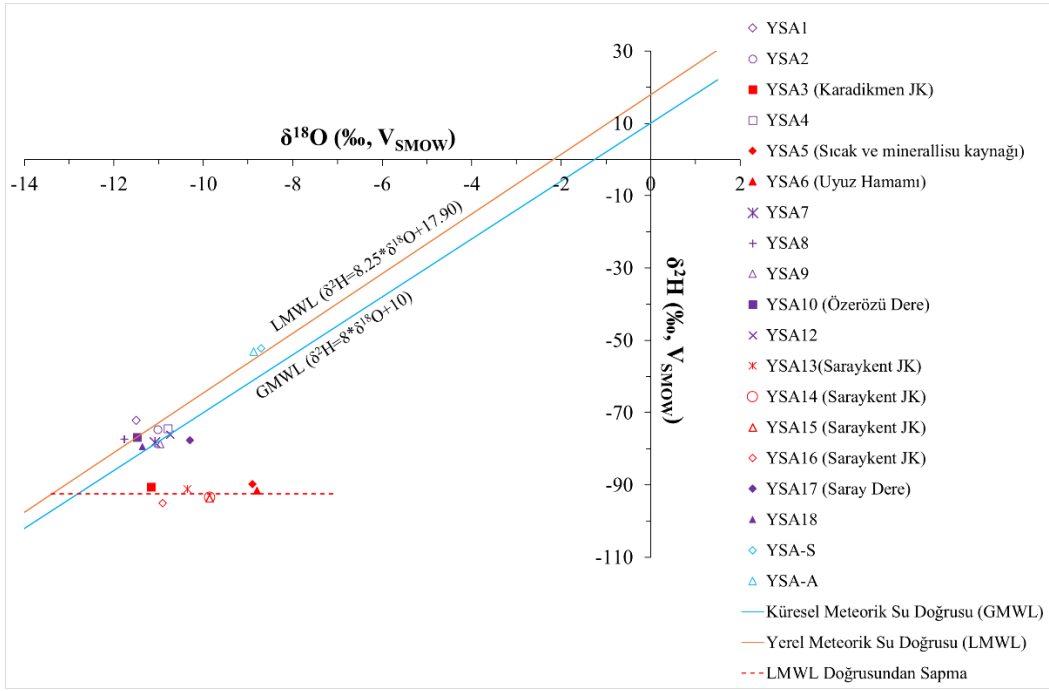
Dönemsel analiz sonuçlarıyla belirlenen olası beslenme yükseltisi karşılaştırılarak değerlendirilmiştir (Çizelge 6.6 ve Şekil 6.9).

Çalışma alanındaki YSA4, YSA21 kodlu su kaynakları mevsimsel kaynaklar olup zaman zaman kurudukları belirlenmiştir. Diğer soğuk su kaynaklarında ise debilerinde artma/azalma gibi mevsimsel değişimler gözlenmiştir.

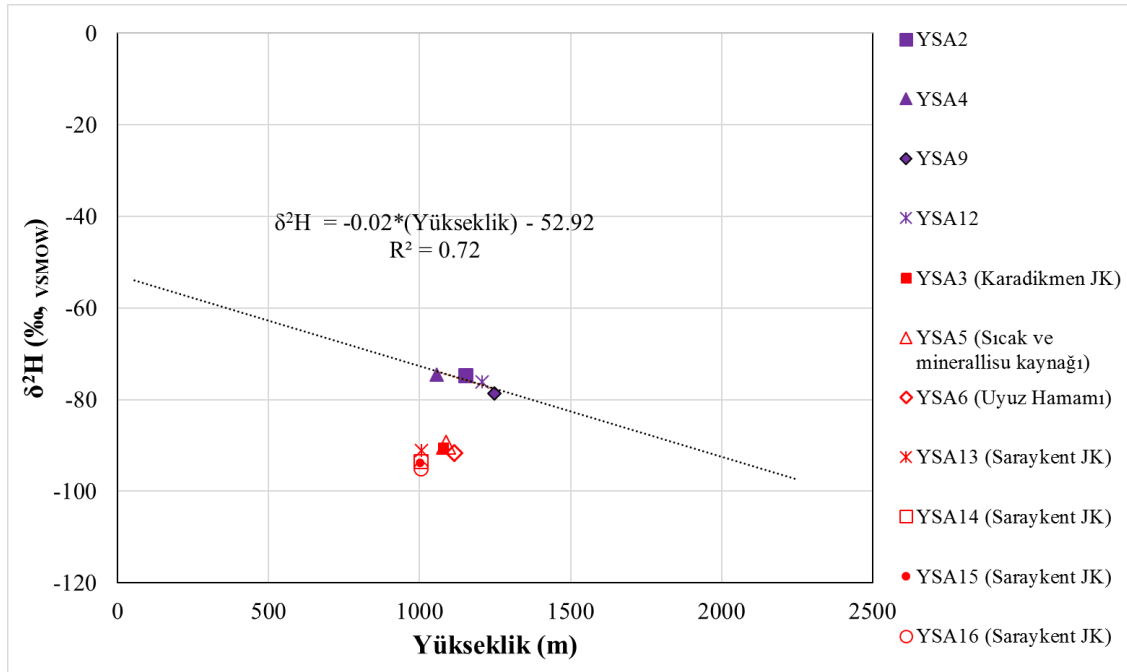
Sıcak ve mineralli suların $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ içeriğine göre hesaplanan muhtemel beslenme yükseltisi ortalama değerlerinin 2σ (standart sapma) değerleri de dikkate alınarak ortalama bulunmuştur. Buna göre çalışma alanındaki ortalama beslenme yükseltisi Saraykent Jeotermal Alanı için 1623-1975 m aralığında değiştiği, Akdağmadeni Jeotermal Alanı için 1768-1905 m aralığında değiştiği hesaplanmıştır (Çizelge 6.3, Çizelge 6.4, Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6). Bu yükselti, Şekil 6.13'deki haritada beyaz renkle gösterilen çalışma alanının güneydoğusundaki Akdağmadeni Horstu'nda yer alan Geyikli Dağı bölümünde olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla beslenmenin bölgede yüksek topoğrafyayı oluşturan güneydeki metamorfitletlerin kırıklı-çatlaklı mermer ve şist birimlerinden olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcak ve mineralli suların örnekleme noktalarındaki renklendirme beslenme kotundaki yükselti değerine göre Şekil 6.7'de yapılmıştır.



Şekil 6.1. Dönemsel olarak çalışma alanından toplanan yağış (yağmur ve kar) örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop değerlerine göre hazırlanan Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun (LMWL) grafiği.



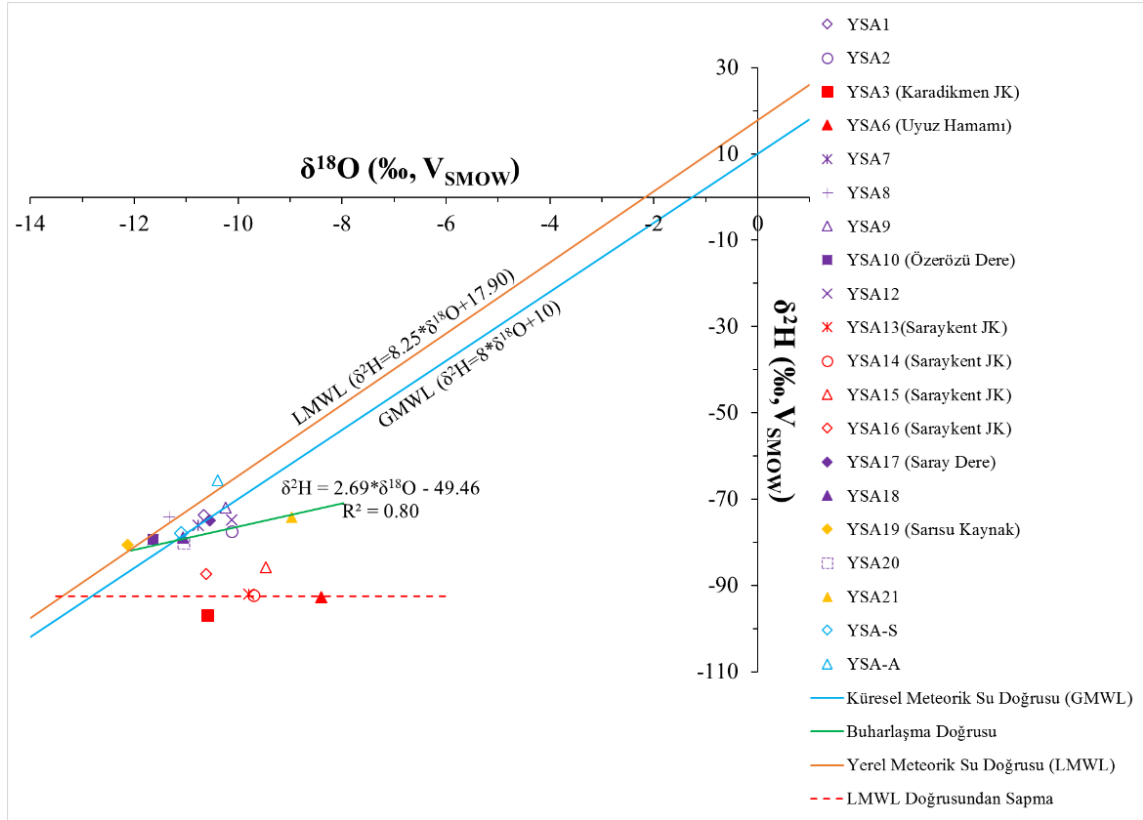
Şekil 6.2. Küresel Meteorik Su Doğrusu-GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Eylül 2014 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.



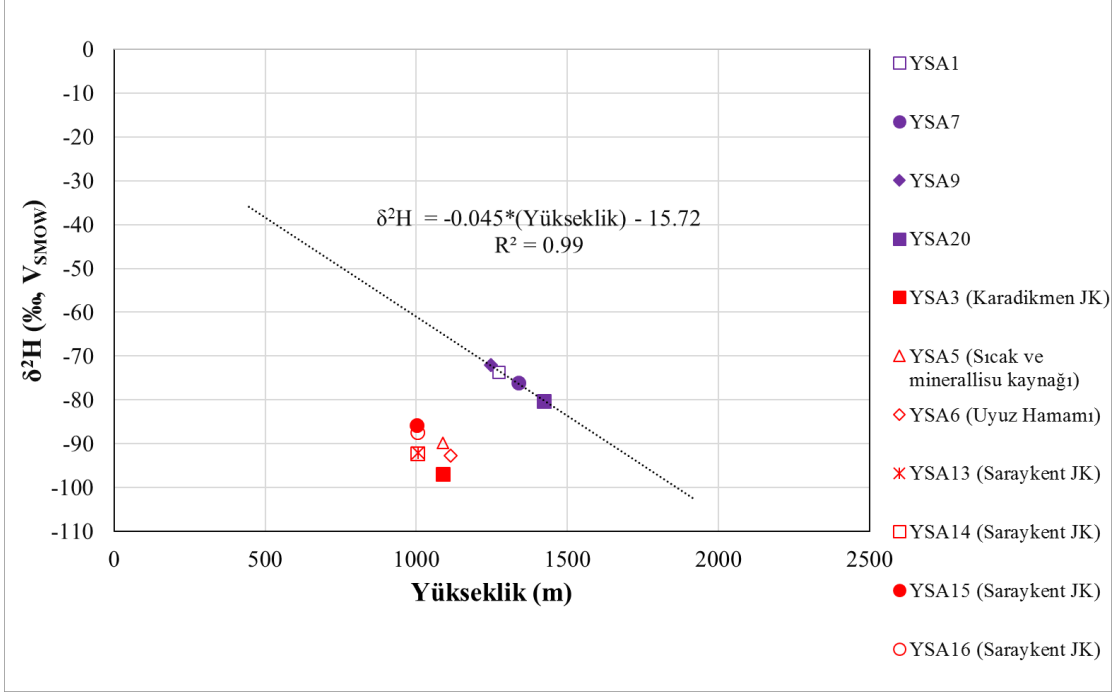
Şekil 6.3. Çalışma alanındaki Eylül 2014 tarihine ait soğuk su kaynaklarına ait su örneklerinin $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}-\text{yükseklik (m)}$ grafiği.

Çizelge 6.3. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin Eylül 2014 tarihindeki $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerlerinden faydalanılarak beslenme yükseltisinin (m) hesaplanması (Yükseklik= $(\delta^2\text{H}+52.92)/-0.02$).

Sıcak ve Mineralli su Örnekleri	Beslenme Yükseltisi (m)
YSA3 (Karadikmen JK)	1884
YSA5 (Kaynak)	1845
YSA6 (Uyuz Hamamı)	1933
YSA13 (Saraykent JK)	1912
YSA14 (Saraykent JK)	2027
YSA15 (Saraykent JK)	2041
YSA16 (Saraykent JK)	2107



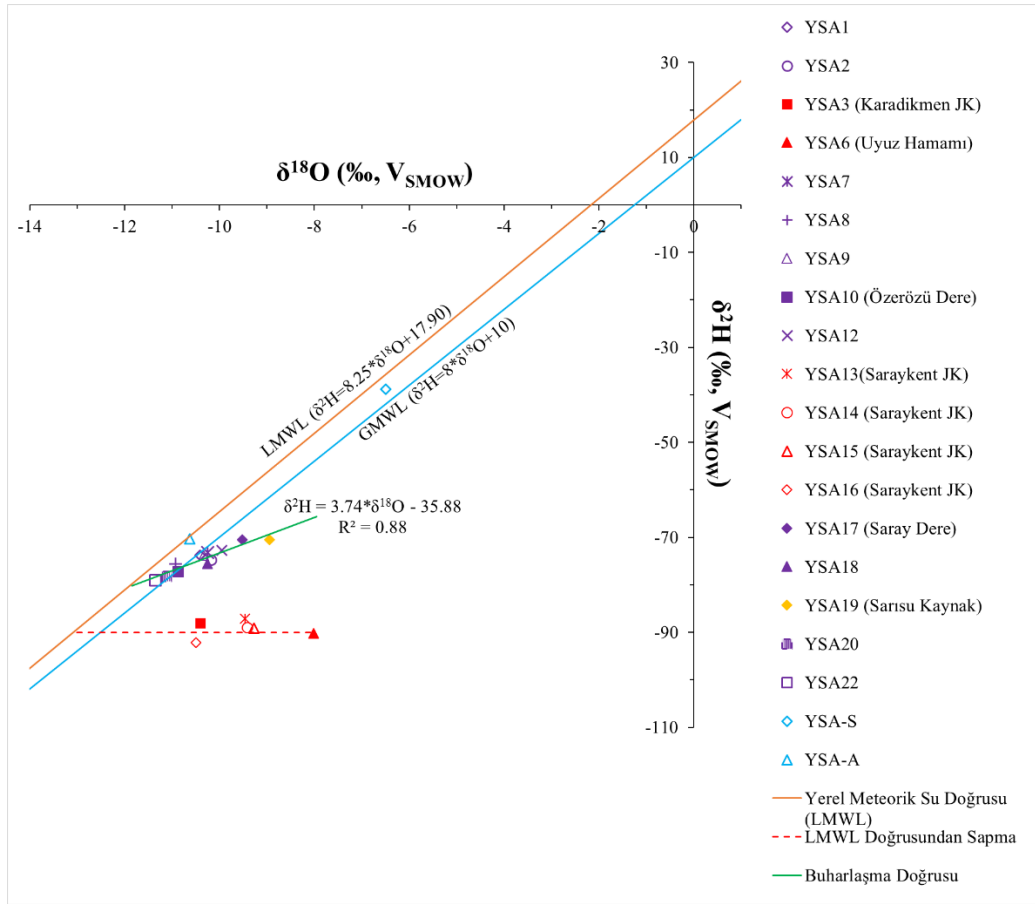
Şekil 6.4. Küresel Meteorik Su Doğrusu-GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Mart 2015 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.



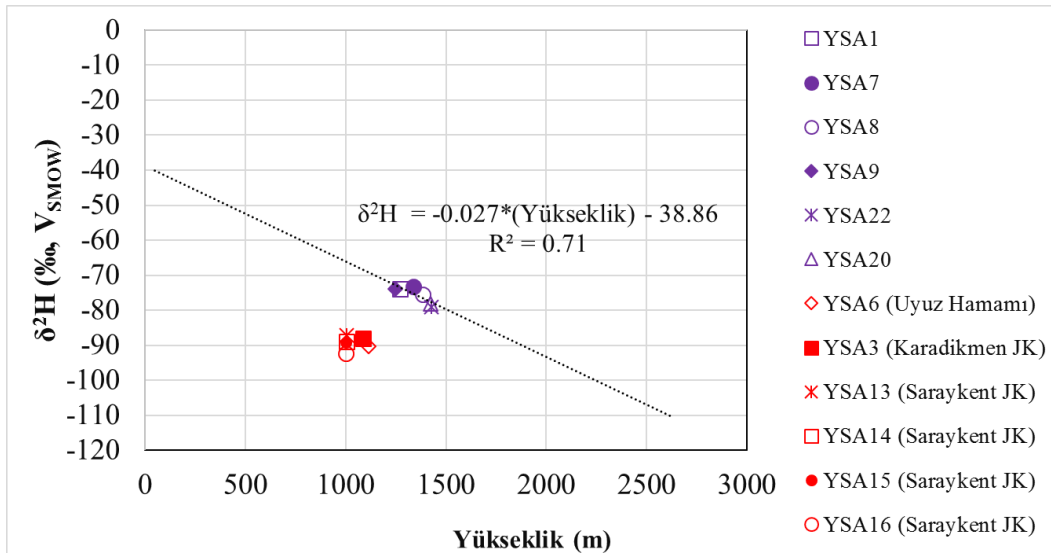
Şekil 6.5. Çalışma alanındaki Mart 2015 tarihine ait soğuk su kaynaklarına ait su örneklerinin $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ -yükseklik (m) grafiğı.

Çizelge 6.4. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin Mart 2015 tarihindeki $\delta^2\text{H}$ değerlerinden faydalanılarak beslenme yükseltisinin (m) hesaplanması
($\text{Yükseklik}=(\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}+15.72)/-0.045$).

Sıcak ve Mineralli su Örnekleri	Beslenme Yükseltisi (m)
YSA3 (Karadikmen JK)	1804
YSA6 (Uyuz Hamamı)	1712
YSA13 (Saraykent JK)	1697
YSA14 (Saraykent JK)	1701
YSA15 (Saraykent JK)	1556
YSA16 (Saraykent JK)	1593



Şekil 6.6. Küresel Meteorik Su Doğrusu-GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Ağustos 2015 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.

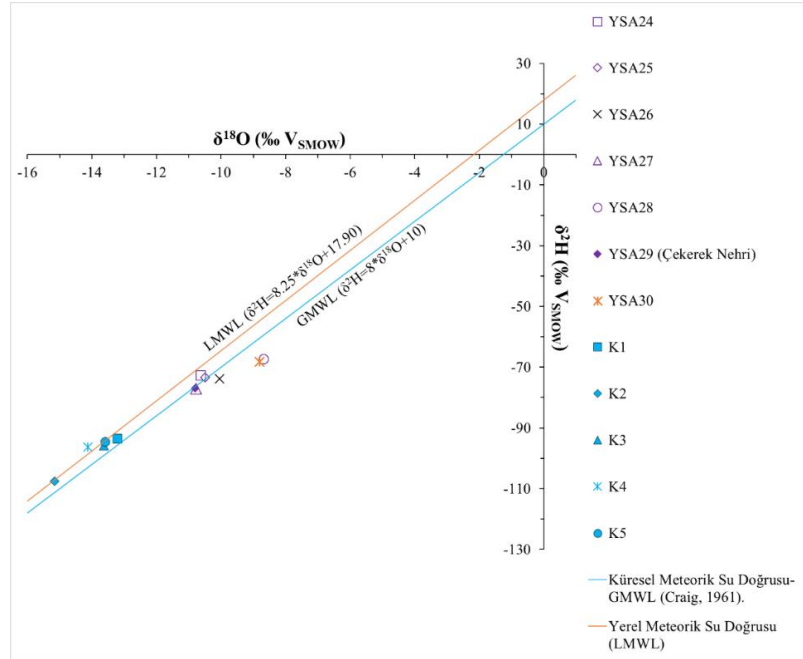


Şekil 6.7. Çalışma alanındaki Ağustos 2015 tarihine ait soğuk su kaynaklarına ait su örneklerinin $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}-\text{yükseklik (m)}$ grafiği.

Çizelge 6.5. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin Ağustos 2015 tarihindeki $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerlerinden faydalanılarak beslenme yükseltisinin (m) hesaplanması (Yükseklik= $(\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}+38.86)/-0.027$).

Sıcak ve Mineralli su Örnekleri	Beslenme Yükseltisi (m)
YSA3 (Karadikmen JK)	1821
YSA6 (Uyuz Hamamı)	1902
YSA13 (Saraykent JK)	1788
YSA14 (Saraykent JK)	1857
YSA15 (Saraykent JK)	1863
YSA16 (Saraykent JK)	1976

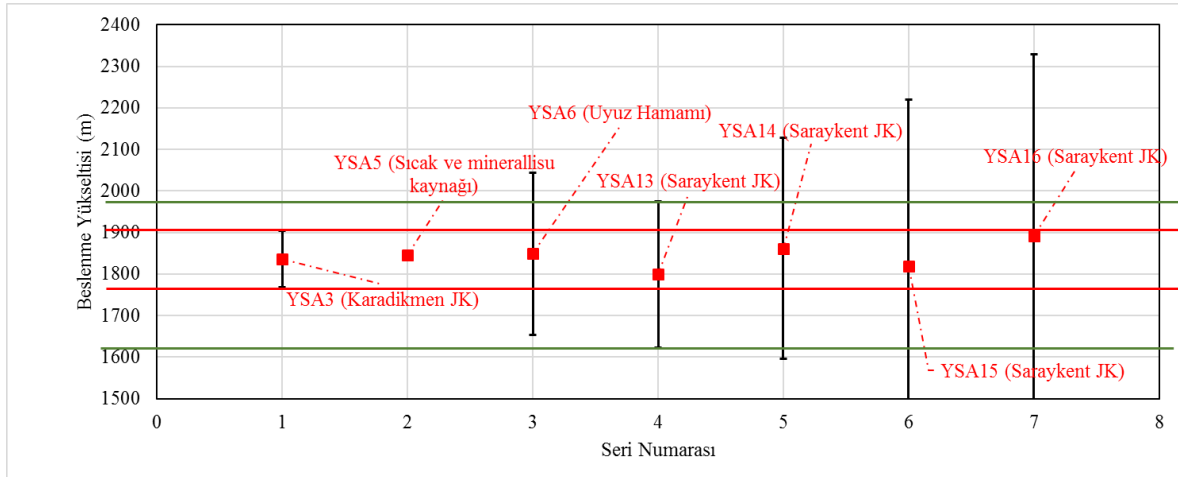
Şekil 6.8'deki grafikte özellikle Üst Kretase yaşlı Ofiyolitik Melanj'daki kaynaklardan alınan YSA28 ve YSA30 (Şubat 2016) örnekler yerel ve küresel meteorik su doğrusundan sapma göstermektedirler. Önceki dönemlerde alınan diğer su örneklerine göre $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerlerinin daha pozitif olduğu görülmektedir. Bu duruma göre çalışma alanının kuzeyinde bindirme ile yer alan Üst Kretase yaşlı Ofiyolitik Melanj bölgesinden jeotermal sulara kayda değer bir beslenmenin olmadığı düşünülmektedir.



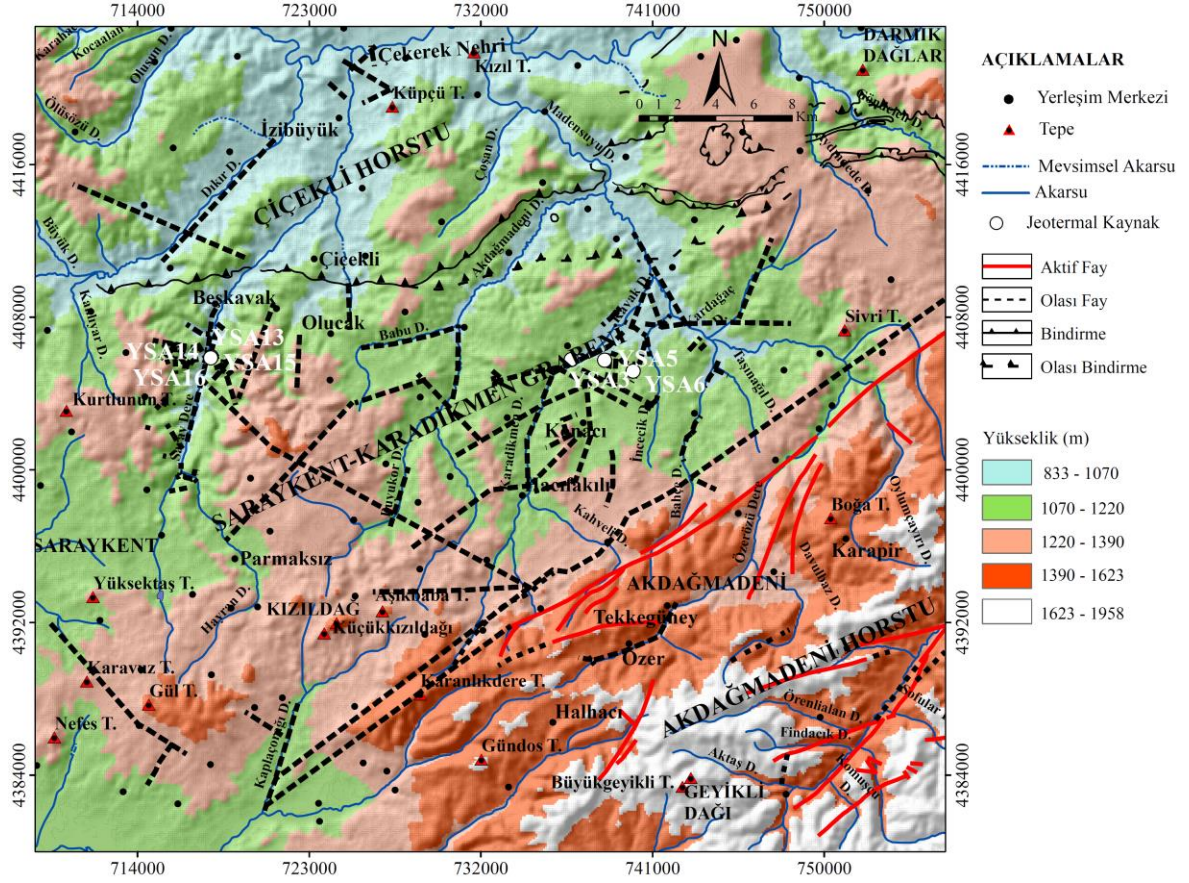
Şekil 6.8. Küresel Meteorik Su Doğrusu, GMWL (Craig [31]) ile Saraykent-Akdağmadeni alanına ait Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL), çalışma alanındaki Şubat 2016 tarihine ait tüm su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ grafiği.

Çizelge 6.6. Çalışma alanındaki sıcak su örneklerinin farklı dönemler için hesaplanan beslenme yükseltisinin (m) karşılaştırılması.

Seri Numarası	Sıcak ve Mineralli su Örnekleri	Beslenme Yükseltisi (m)			Ortalama	2 σ
		Eyl.14	Mar.15	Ağu.15		
1	YSA3 (Karadikmen JK)	1884	1804	1821	1836	69
2	YSA5 (Kaynak)	1845	-	-	1845	0
3	YSA6 (Uyuz Hamamı)	1933	1712	1902	1849	195
4	YSA13 (Saraykent JK)	1912	1697	1788	1799	176
5	YSA14 (Saraykent JK)	2027	1701	1857	1862	266
6	YSA15 (Saraykent JK)	2041	1556	1863	1820	401
7	YSA16 (Saraykent JK)	2107	1593	1976	1892	436



Şekil 6.9. Sıcak ve mineralli suların beslenme yükseltisinin dönemsel olarak ortalamadan sapmasıyla belirlenen grafiği (kırmızı hat Akdağmadeni sıcak ve mineralli suları için, yeşil hat Saraykent sıcak ve mineralli suları için beslenme yükseltisi aralığı belirlenmiştir).



Şekil 6.10. Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların beslenme yükseltisiyle ilişkisinin gösterilmesi.

6.1.2 Sulardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ İzotopu Analizleri

Çalışma alanında, Mart 2015 döneminde su noktalarının bir kısmından çözülmüş inorganik karbondan $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (V_{PDB} , ‰) izotopu analizleri yaptırılmıştır (Çizelge 6.7). Çalışma alanındaki sularda $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (V_{PDB} , ‰) izotopu çalışması bu çalışma alanında ilk defa yapılmış ve değerlendirilmiştir. Yeryüzündeki karbon kaynaklarının $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (V_{PDB} , ‰) aralığının dağılımı şematik olarak Şekil 6.11’de gösterilmiştir.

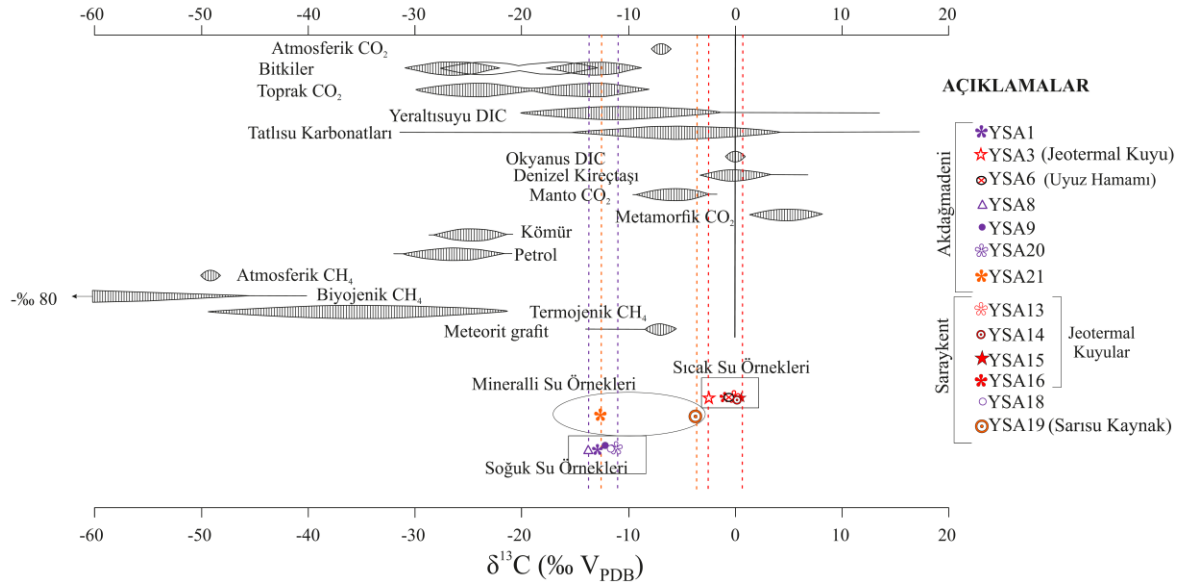
Şekil 6.11’e göre, çalışma alanındaki YSA1, YSA8, YSA9, YSA18, YSA20 ve YSA21 su örneklerinin diğerlerine göre daha negatif $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (‰, V_{PDB}) değerlerine sahip olması, bu kaynaklarda göreceli olarak daha düşük olan $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ değerleri topraktaki CO_2 bileşen oranının artmasının sonucu ve/veya tatlısu karbonatlarından olabileceği görülmektedir. Bu su kaynaklarının üzeri genellikle toprak örtüsü ile kaplı olduğundan topraktaki CO_2 bileşen oranının artmasının sonucu olduğu düşünülmektedir.

YSA3, YSA6, YSA13, YSA14, YSA15, YSA16 ve YSA19 su örneklerinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (‰, V_{PDB}) analiz sonuçları diğer su örneklerine göre daha pozitif değerler almaktadır. Şekil 6.8’e

göre Jeotermal akışkanlardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izotopu değerleri, tatlısu/denizel karbonatların çözünmesinden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Buna göre, alandaki jeotermal kaynakların beslenme yükseltisi kotundaki Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermerlerden ve jeotermal kaynakların yakın çevresinde bulunan Eosen yaşlı kireçtaşlarından karbon katkısının olabileceği anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.7. Mart 2015dönemine ait $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (V_{PDB} , ‰) izotop değerleri.

ALAN	Örnek Kodu	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (V_{PDB} , ‰)	Ortalama $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (V_{PDB} , ‰)
AKDAĞMADENİ	YSA1	-12.77 -12.89	-12.83
	YSA3	-2.28 -2.63	-2.45
	YSA6	-0.65 -0.52	-0.59
	YSA8	-13.64 -13.65	-13.64
	YSA9	-12.24 -12.18	-12.21
	YSA20	-11.49 -11.44	-11.46
	YSA21	-12.74 -12.59	-12.67
SARAYKENTİ	YSA13	-0.04 0.02	-0.01
	YSA14	-0.02 0.11	0.04
	YSA15	0.33 0.24	0.28
	YSA16	-0.85 -0.77	-0.81
	YSA18	-11.52 -11.62	-11.57
	YSA19	-3.34 -3.26	-3.30



Şekil 6.11. Karbon kaynaklarının $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ aralıklarının dağılımı [32] ve Mart 2015 dönemine ait su örneklerinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (‰, VPDB) izotop değerlerinin gösterimi.

6.1.3 Sulardaki $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ İzotop Analizleri

Çalışma alanındaki su örneklerindeki çözülmüş SO_4^{-2} 'e ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ (‰, CDT) ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (‰, V_{SMOW}) izotop analizi sonuçları Çizelge 6.8’de görülmekte olup, bu analizler bu çalışma alanında ilk defa gerçekleştirilmiştir. $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ (‰, CDT) ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (‰, V_{SMOW}) izotop analizleri +/- ‰ 0.5 hata sınırı ile gerçekleştirilmiştir.

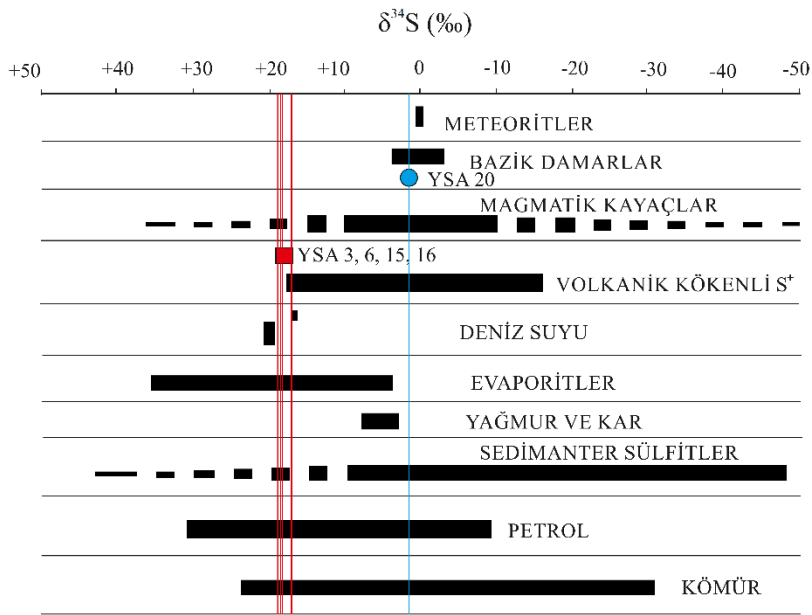
Çizelge 6.8. Mart 2015 dönemi su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop sonuçları.

ALAN	Örnek Kodu	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ (‰, CDT)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (‰, V_{SMOW})
AKDAĞMADENİ	YSA3	18.6	9.1
	YSA6	19.0	1.0
	YSA20	1.6	-1.2
SARAYKENT	YSA15	17.1	-0.7
	YSA16	18.4	3.3

Şekil 6.12’deki grafiğe göre jeotermal suların (YSA3, YSA6, YSA15, YSA16) $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ değerleri değerlendirildiğinde jeotermal sudaki sülfürün kökeni olarak magmatik kayalar, volkanik kökenli sülfürler, evaporitler, sedimanter sülfürler, petrol ve kömür kökenli olabileceğini göstermektedir. Çalışma alanındaki jeolojik birimler göz önüne alındığında bu sıcak suların Eosen sedimanter kayaları içerisindeki kireçtaşlarından veya kömürlerden, Eosen yaşlı volkanitlerden ve Orta-Geç Miyosen yaşlı göl ve akarsu ortamlarında gelişmiş

İç Anadolu Grubu'na ait karasal kırıntılı kayalarındaki evaporitlerden veya kömürlerden olabileceği belirlenmiştir.

Şekil 6.12'deki grafiğe göre YSA20 soğuk su kaynağının $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ değeri değerlendirildiğinde daha çok volkanik-magmatik, sedimanter sülfür, evaporit, petrol ve kömür kökenli olabileceğini göstermektedir. Çalışma alanındaki jeolojik birimler göz önüne alındığında ve YSA20 soğuk su kaynağının çalışma alanındaki metamorfiteyi kesen Kretase yaşlı granitoidler ile Orta-Geç Miyosen yaşlı İç Anadolu Grubu'na ait karasal kırıntılı kayalarındaki evaporitlerden olabileceği belirlenmiştir.

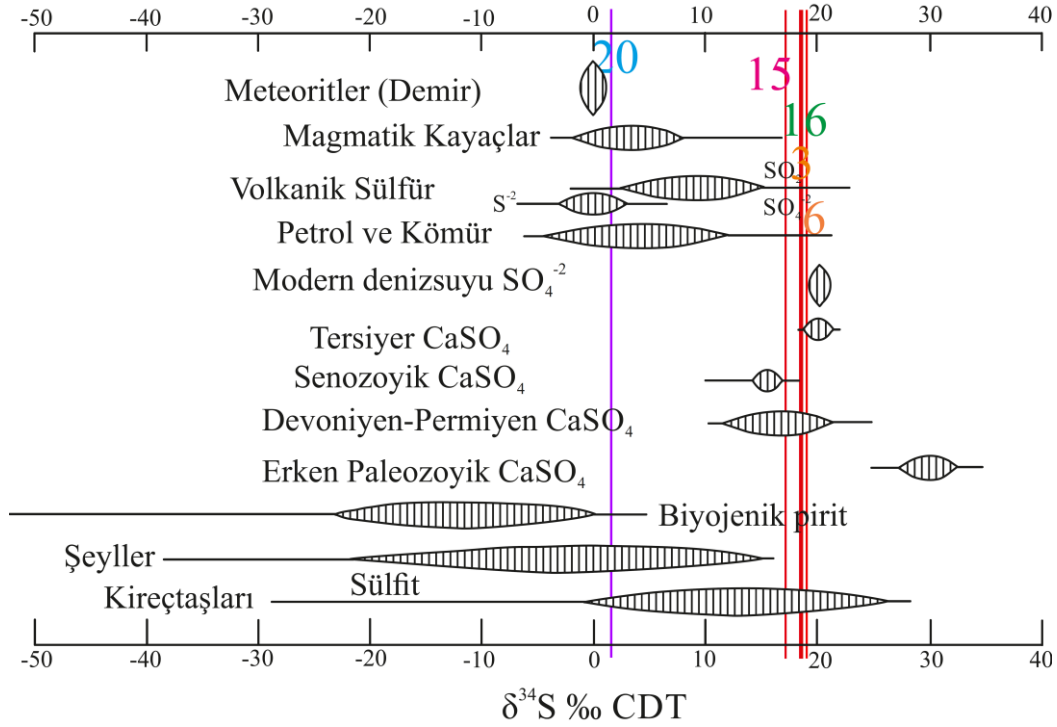


Şekil 6.12. Doğada bulunan farklı sülfür formu kaynaklarının $\delta^{34}\text{S}$ aralıkları [33] ve Mart 2015 tarihindeki su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerlerinin gösterimi.

Şekil 6.13'e göre jeotermal sular (YSA3, YSA6, YSA15 ve YSA16) $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ değerleri ‰, 17-20 aralığında değişmekte olup birçok yaş aralığını grafikte kestiği görülmektedir. Ayrıca, sülfür izotopunun kökensel olarak kireçtaşı, şeyllerden, petrol-kömür ve/veya volkanik sülfürden kaynaklanabileceği bu grafikten anlaşılmaktadır. Bu grafikten elde edilen verilere göre sülfür izotopunun kaynağı alandaki litolojik birimlerle karşılaştırıldığında Eosen yaşlı volkanitlerden, Eosen yaşlı sedimanterlerdeki kömür ve kireçtaşlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Buna göre, **çalışma alanındaki jeotermal akışkanların Eosen yaşlı sedimanter ve volkanitlerle etkileşimde olabileceği belirlenmiştir.**

Şekil 6.13'de YSA20 örneğinin kökeni kireçtaşları, şeyller, magmatik kayalar, volkanik kayalar petrol ve kömür olabileceği görülmektedir. Çalışma alanındaki birimler göz önüne

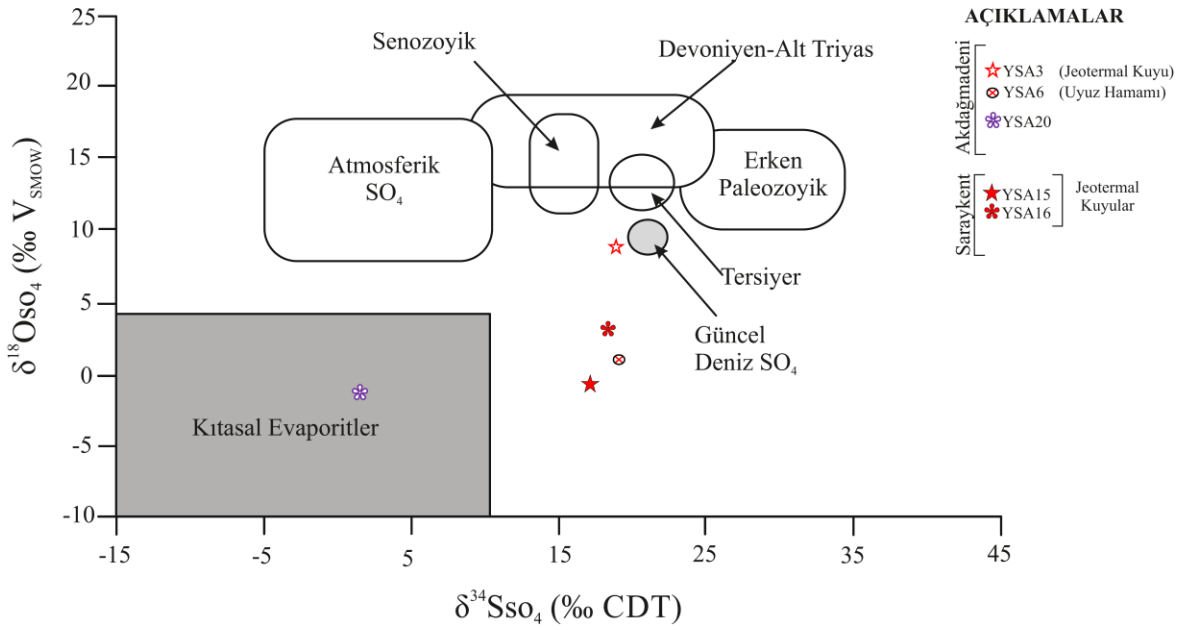
alındığında YSA20 örneği metamorfitle içersisinden çıkan bir su kaynağı olup, bu su kaynağının $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerine göre kökeninin çalışma alanındaki metamorfitle kesen Kretase yaşlı granitoyitlerden olabileceği belirlenmiştir.



Şekil 6.13. Sülfür izotop kaynaklarının $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ aralıkları [32] ve Mart 2015 tarihindeki su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerlerinin grafiği.

Şekil 6.14'e göre sadece YSA20 su örneği kökeninin kıtasal evaporitlerden oluştuğunu grafiğe göre söylemek mümkün iken, sıcak ve mineralli sular (YSA3, YSA6, YSA15 ve YSA16) kıtasal evaporitler ile çalışma alanında yaygın olan Tersiyer (başlıca Eosen, Pliyosen) dönemi arasında kalmasından dolayı $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değeri her iki kaynak grubundan kazanılmış olabileceği söylenebilir. YSA20 su örneği metamorfitle içersisinden çıkmakta olup güneyine yakın civarındaki yükseltilerde bulunan İç Anadolu Grubu çökeltilerindeki evaporitlerden de beslendiği düşünülmektedir.

Şekil 6.12, Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'deki grafikler beraber değerlendirildiğinde jeotermal sulardaki çözülmüş SO_4 'ün $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerine göre kökeninin Eosen volkanitlerindeki volkanik kökenli sülfürden, Eosen yaşlı sedimanterlerdeki kömür ve/veya kireçtaşlarından ve İç Anadolu Grubu'na ait evaporitlerden kaynaklanabileceği anlaşılmaktadır. İç Anadolu Grubu'na ait kayaç litolojileri çalışma alanının güney kısmındaki ortalama beslenme kotuna yakın yükseltilerde görülmektedir.



Şekil 6.14. Sulfür izotop kaynaklarının $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ grafiğinde [32] Mart 2015 tarihindeki su örneklerine ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ izotop değerlerinin gösterimi.

6.2 Sulardaki Tritiyum İzotopu (TU) Analizleri

Tritiyum, 12.32 ± 0.02 yıl yarılanma ömrüne sahip hidrojenin radyoaktif izotopudur [34]. Doğal sulardaki trityum miktarı, trityum birimiyle (TU) ifade edilmektedir. Her 10^{18} hidrojen atomuna (^1H) karşılık gelen bir trityum (^3H) atomu, bir trityum birimini belirtmektedir (30). Çalışma alanından toplanan su örneklerinin trityum değerleri Çizelge 6.9’da görülmektedir. Jeotermal sular (YSA3, YSA5, YSA6, YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) $0 - (0.69 \pm 0.37)$ TU arasında değişmekte olup bu sular 60 yıldan daha yaşlı olan derin dolaşımıdır. Çalışma alanındaki yağış örnekleri $(3.76 \pm 0.28) - (7.83 \pm 0.36)$ TU aralığında değişmekte iken diğer soğuk su örnekleri $(3.55 \pm 0.3) - (8.63 \pm 0.51)$ TU aralığında değişmektedir. Alandaki jeotermal suların haricindeki suların güncel beslenme bileşeninin olduğu anlaşılmaktadır.

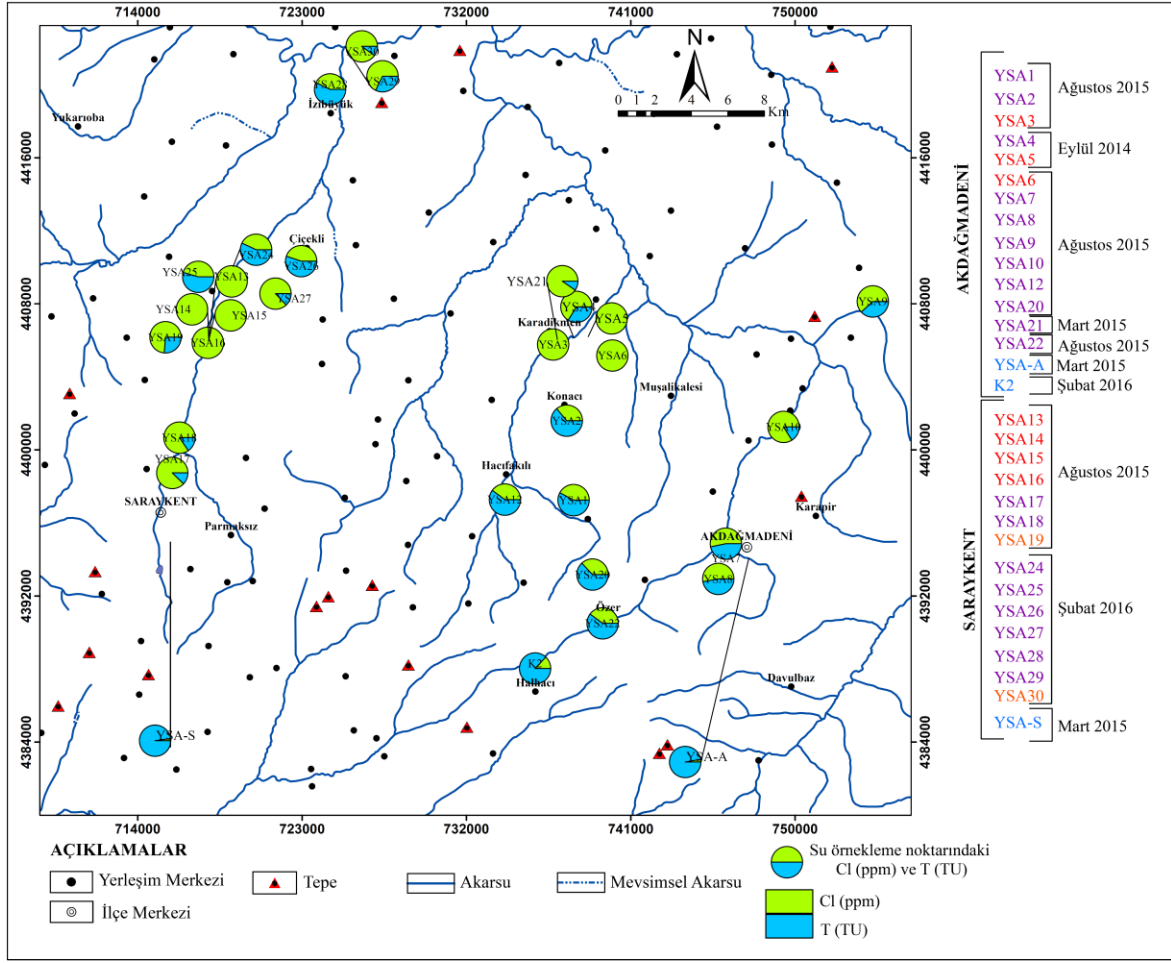
Çalışma alanındaki su örneklerinin dönemsel Cl^- (ppm) ve ^3H (TU) içeriklerinin birbirlerine göre göreceli görünümünün dairesel diyagramda gösterilerek, alansal dağılımı Şekil 6.15’de görülmektedir. Burada güneyden kuzeye doğru (çalışma alanının ortasına kadar) sıcak ve mineralli suların olduğu kısımlara doğru Cl^- (ppm) iyon derişimi artmakta iken ^3H (TU) değerinde azalma görülmektedir. Bu durum beslenmenin güneyden kuzeye doğru olduğu konusunda bilgi vermektedir.

Çizelge 6.9. Çalışma alanındaki su örneklerinin dönemsel trityum analiz sonuçları.

ALAN	Örnek Kodu	Örnekleme Tarihi	Trityum Oranı (TU)	Toplam Analiz Hatası (+/- 1 sigma)
AKDAĞMADENİ	YSA1	Eyl.14	7.57	0.51
		Mar.15	8.38	0.49
		Ağ.15	3.58	0.29
	YSA2	Eyl.14	7.93	0.51
		Mar.15	7.84	0.5
		Ağ.15	4.54	0.31
	YSA3	Eyl.14	0.00	0.38
		Mar.15	0.69	0.37
		Ağ.15	0.00	0.21
	YSA4	Eyl.14	8.44	0.53
	YSA5	Eyl.14	0.04	0.33
	YSA6	Eyl.14	0.28	0.37
		Mar.15	0.00	0.35
		Ağ.15	0.13	0.21
	YSA7	Eyl.14	6.46	0.52
		Mar.15	8.01	0.5
		Ağ.15	4.15	0.29
	YSA8	Eyl.14	7.91	0.53
		Mar.15	8.13	0.5
		Ağ.15	4.27	0.28
	YSA9	Eyl.14	7.35	0.53
		Mar.15	8.63	0.51
		Ağ.15	4.19	0.29
	YSA10	Eyl.14	7.06	0.52
		Mar.15	7.43	0.48
		Ağ.15	3.85	0.28
	YSA12	Eyl.14	6.41	0.51
		Mar.15	7.3	0.52
		Ağ.15	4.32	0.3
	YSA20	Mar.15	6.68	0.51
Ağ.15		3.59	0.28	
YSA21	Mar.15	5.53	0.47	
YSA22	Ağ.15	3.59	0.28	
YSA-A	Mar.15	6.68	0.49	
	Ağ.15	5.81	0.31	
K2	Şub.16	3.76	0.28	

Çizelge 6.9' un devamı

ALAN	Örnek Kodu	Örnekleme Tarihi	Tritiyum Oranı (TU)	Toplam Analiz Hatası (+/- 1 sigma)
SARAYKENT	YSA13	Eyl.14	0.00	0.39
		Mar.15	0.00	0.39
		Ağ.15	0.33	0.21
	YSA14	Eyl.14	0.40	0.41
		Mar.15	0.00	0.37
		Ağ.15	0.24	0.23
	YSA15	Eyl.14	0.00	0.4
		Mar.15	0.00	0.37
		Ağ.15	0.40	0.24
	YSA16	Eyl.14	0.00	0.38
		Mar.15	0.00	0.36
		Ağ.15	0.00	0.21
	YSA17	Eyl.14	6.67	0.49
		Mar.15	7.49	0.51
		Ağ.15	3.64	0.28
	YSA18	Eyl.14	7.16	0.5
		Mar.15	5.62	0.49
		Ağ.15	2.21	0.25
	YSA19	Mar.15	4.75	0.48
		Ağ.15	2.50	0.26
	YSA24	Şub.16	3.62	0.27
	YSA25	Şub.16	3.91	0.29
	YSA26	Şub.16	3.55	0.3
	YSA27	Şub.16	4.07	0.29
	YSA28	Şub.16	4.27	0.29
	YSA29	Şub.16	4.48	0.29
	YSA30	Şub.16	3.63	0.27
	YSA-S	Mar.15	6.00	0.49
		Ağ.15	7.83	0.36



Şekil 6.15. Çalışma alanındaki su örneklerinin Cl (ppm) ve ^3H (TU) içeriklerinin konumsal dağılımı.

6.3 Sularda Toplam Alfa (α) ve Toplam Beta (β) Analizi

Çalışma alanındaki sulardan alınan örneklerde toplam alfa ve toplam beta analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 6.10).

Çizelge 6.8'e göre YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16 Saraykent'teki jeotermal kuyulardan alınan su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta değerlerinin Akdağmadeni'ndeki diğer su örneklerine (YSA3, YSA6 ve YSA21) göre daha yüksek olmasının nedeni Saraykent'teki asidik bileşimli granitik intrüzyon ve riyolitik volkanitlerden dolayı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, Saraykent alanındaki suların toplam alfa (>1.5 Bq/L) ve toplam beta içerikleri (>2 Bq/L) yüksek olup Doğal Mineralli Sular Yönetmeliği'ne [29] göre standart değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.10. Mart 2015 tarihindeki sudaki toplam alfa ve toplam beta analiz sonuçları.

Örnek Kodu	Standart	Numune Alma Tarihi	Sularda Toplam Alfa Bq/L	Belirsizlik (±) Bq/L	Sularda Toplam Beta Bq/L	Belirsizlik (±) Bq/L
YSA3	EPA 900.00	03.03.2015	0.09	0.034	0.46	0.16
YSA6	EPA 900.00	03.03.2015	0.086	0.032	1.1	0.32
YSA13	EPA 900.00	03.03.2015	3.283	0.925	3.65	0.99
YSA14	EPA 900.00	03.03.2015	2.594	0.738	2.87	0.78
YSA15	EPA 900.00	03.03.2015	2.753	0.783	2.91	0.79
YSA16	EPA 900.00	03.03.2015	6.127	1.696	3.62	0.98
YSA21	EPA 900.00	03.03.2015	0.028	0.016	0.03	0.01

7 REZERVUAR MUHTEMEL SICAKLIĞININ BELİRLENMESİ

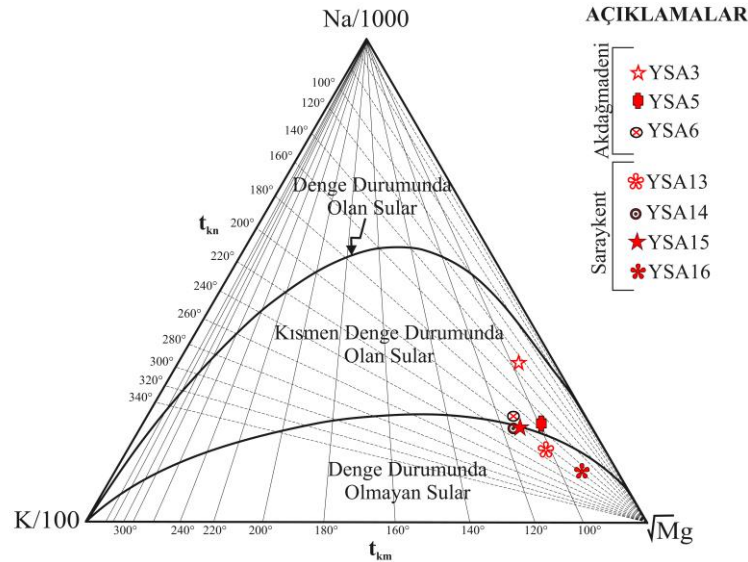
Jeotermal rezervuardaki sıcak su yüzeye çıkarken kayaçlarla temas halinde olduğunda ve/veya soğuk yeraltısuyu ile karışması sonucunda sıcaklığında azalma meydana gelmektedir. Rezervuardaki jeotermal akışkan sıcaklığının tahmin edilebilmesi için jeotermal akışkandan yapılan kimyasal (katyon ve silis jeotermometresi vs.) ve/veya izotop analiz sonuçlarından faydalanılarak jeotermometre hesaplamaları geliştirilmiştir.

Çalışma alanındaki jeotermal suların muhtemel rezervuar sıcaklıkları, bu suların kimyasal ve izotop ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$) analiz sonuçlarından yararlanılarak, katyon, silis ve izotop jeotermometre eşitlikleriyle tahmin edilmeye çalışılmıştır.

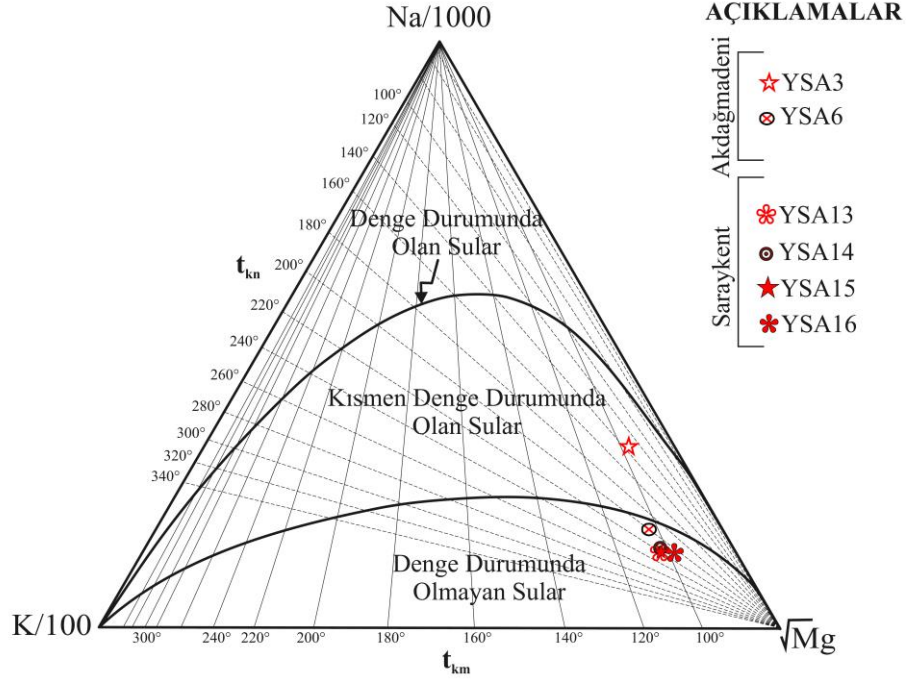
7.1 Katyon Jeotermometreleri

Katyon jeotermometresi ile dönemsel olarak alınan sıcak su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 7.1'deki referanslar kullanılarak Çizelge 7.2'de rezervuarın muhtemel sıcaklıkları hesaplanmıştır.

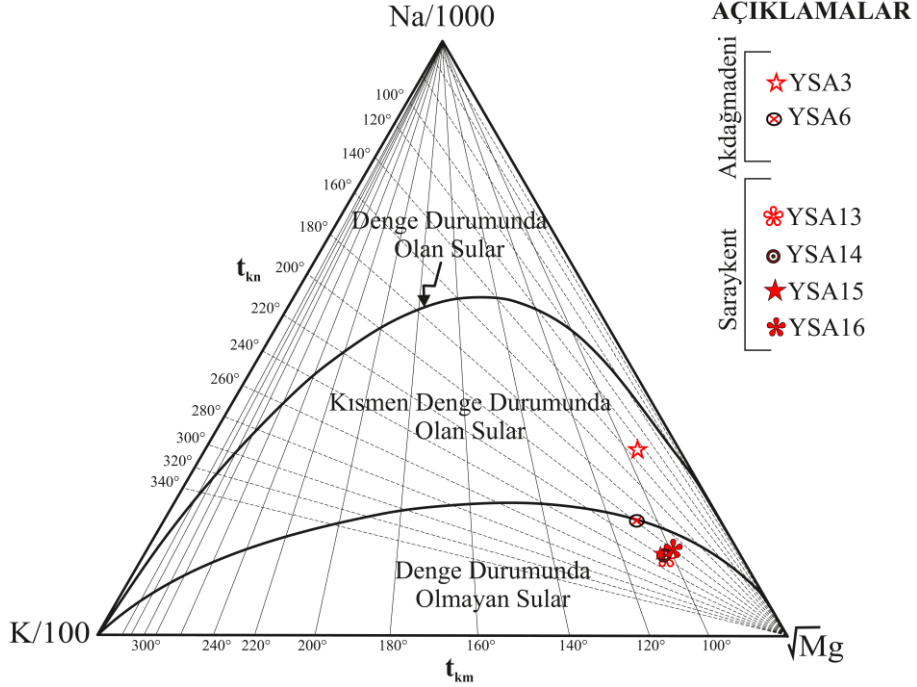
Katyon jeotermometre eşitliği Giggenbach [35] üçgen diyagramında alandan toplanan sıcak ve mineralli suların Na, K ve Mg değerlerine göre olgun olmayan ya da kısmen olgun sular bölgesinde yer almaktadır (Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3). Bu jeotermometrelerle hesaplanan sonuçlar yeterince güvenilir olmayacağı için katyon jeotermometreleriyle hesaplanmış sonuçlara şüphe ile bakılmıştır.



Şekil 7.1. Na/1000-K/100-√Mg üçgen diyagramı (Giggenbach [35]) üzerinde çalışılan alanından toplanan Eylül 2014 tarihine ait su örneklerinin gösterimi.



Şekil 7.2. Na/1000-K/100-√Mg üçgen diyagramı (Giggenbach [35]) üzerinde çalışma alanından toplanan Mart 2015 tarihine ait su örneklerinin gösterimi.



Şekil 7.3. Na/1000-K/100-√Mg üçgen diyagramı (Giggenbach [35]) üzerinde çalışma alanından toplanan Ağustos 2015 tarihine ait su örneklerinin gösterimi.

Çizelge 7.1. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm'dir).

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği (t=°C)	Referans
1	Na – K	$t=(856/(0.857+\log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	[36]
2	Na – K	$t=(833/(0.780+\log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	[37]
3	Na – K	$t=(933/(0.993+\log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	[38]
4	Na – K	$t=(1319/(1.699+\log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	[38]
5	Na – K	$t=(1217/(1.483+\log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	[39]
6	Na – K	$t=(1178/(1.470+\log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	[40]
7	Na – K	$t=(1390/(1.750+\log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	[35]
8	Na - K – Ca*	$t=(1647/(\log(\text{Na}/\text{K})+\beta[\log(\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})+2.06]+2.47)) - 273.15$	[41]

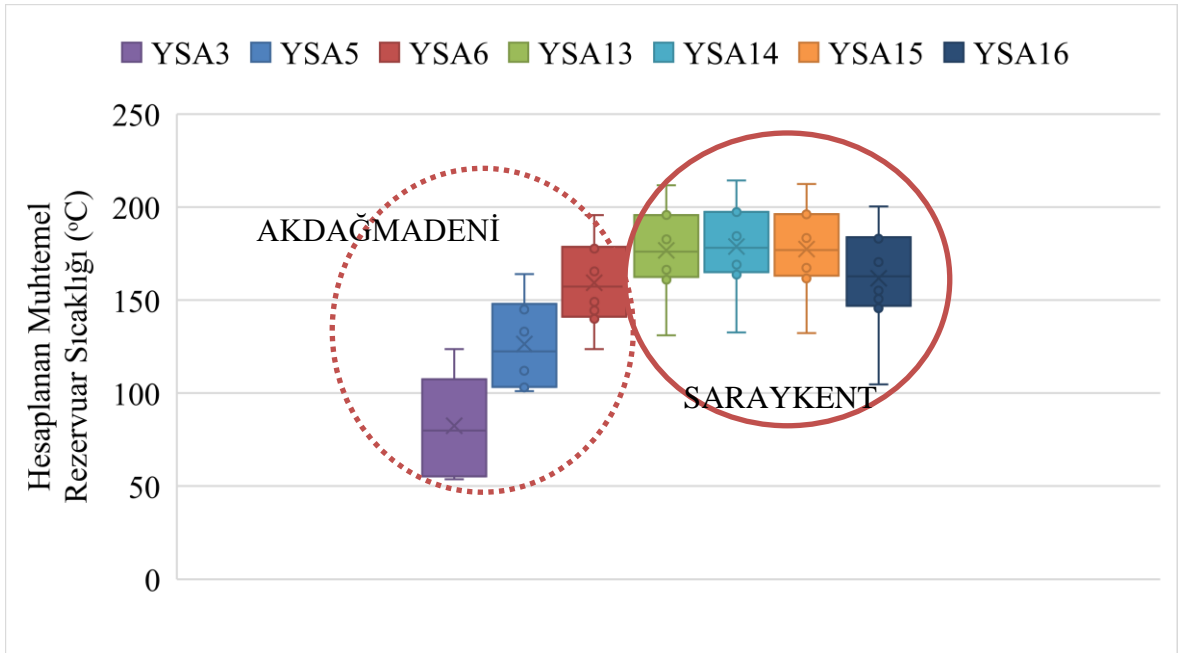
*t>100 °C ise $\beta = 1/3$, t<100 °C ise $\beta = 4/3$, t<100 °C ve $[\log(\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})+2.06] < 0$ ise $\beta = 1/3$

Çizelge 7.2. Katyon jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları (Çizelge 7.1'deki sıralamaya göre hesaplanmıştır).

ALAN	Kod	Açıklama	Dönem	t (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8 ($\beta=4/3$)
AKDAĞMADENİ	YSA3	Jeotermal Kuyu	Eyl.14	47.7	52	53	64	106	100	90	121	52
			Mar.15	47.3	62	63	74	116	110	99	130	57
			Ağu.15	47.5	51	51	63	105	99	89	120	52
		Ortalama				55	56	67	109	103	93	124
	YSA5	Sıcak ve mineralli su kaynağı	Eyl.14	27.3	101	104	112	149	145	133	164	103
	YSA6	Uyuz Hamamı	Eyl.14	33.6	136	140	145	176	174	162	192	130
			Mar.15	26.0	139	143	148	178	177	164	195	117
			Ağu.15	31.7	145	150	154	183	182	170	200	124
		Ortalama				140	144	149	179	178	165	196
	SARAYKENT	YSA13	Jeotermal Kuyu	Eyl.14	73.6	159	164	167	194	194	181	210
Mar.15				71.6	163	168	171	197	197	184	213	131
Ağu.15				67.0	161	167	170	196	196	183	212	133
Ortalama				161	166	169	196	196	183	212	131	
YSA14		Jeotermal Kuyu	Eyl.14	68.0	162	167	170	196	196	183	213	133
			Mar.15	54.9	162	167	170	196	196	183	213	131
			Ağu.15	69.4	167	173	175	200	200	187	217	134
		Ortalama				164	169	172	197	197	184	214
YSA15		Jeotermal Kuyu	Eyl.14	67.6	160	166	169	195	195	182	211	132
			Mar.15	76.2	161	167	170	196	196	183	212	133
			Ağu.15	65.6	164	169	172	198	197	185	214	132
		Ortalama				162	167	170	196	196	183	212
YSA16		Jeotermal Kuyu	Eyl.14	48.2	144	149	154	183	182	169	199	104
			Mar.15	51.3	147	152	156	185	184	171	201	104
			Ağu.15	49.8	146	151	155	184	183	171	201	106
		Ortalama				146	151	155	184	183	170	200

Eylül 2014-Ağustos 2015 tarihleri arasında hesaplanan jeotermometre değerlerinin ortalaması her bir örnekleme noktası için alınmıştır (YSA5 örneklemesinin tek dönem analiz sonuçları olduğundan Eylül 2014 dönemindeki katyon jeotermometre değerleri dikkate alınmıştır). Böylece, elde edilen sonuçlarla örneklerin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 7.4).

Akdağmadeni YSA3 Karadikmen kuyusunda katyon jeotermometreleriyle hesaplanan sıcaklık aralıklarının ortalaması 54-124°C arasında değişirken, YSA5 ile YSA6 sıcak ve mineralli su kaynaklarında bu değer sırasıyla 101-164°C ile 124-196°C aralığında YSA3 jeotermal kuyusuna göre daha yüksek sıcaklık değeri aralığı elde edilmiştir. Saraykent jeotermal kuyularındaki (YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) hesaplamalarda ise 170-180°C aralığında kesiştikleri belirlenmiştir.



Şekil 7.4. Çalışma alanındaki su örneklerinin katyon jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları aralığı.

7.2 Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin suyun sıcaklığına bağlı olarak çözünürlüğüne dayalı geliştirilen jeotermometre hesaplamalarıdır. Su içerisinde farklı silis formlarının (kuvars, kalsedon, amorf silis gibi) çözünürlüğü birbirinden farklı olduğundan farklı jeotermometre hesaplama yöntemleri oluşturulmuştur (Çizelge 7.3 ve Çizelge 7.4). Silis jeotermometre hesaplamalarının her biri farklı sıcaklık aralıklarında uygundur. Daha yüksek sıcaklıklarda rezervuar kayaktan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi

gözlenmektedir. Sıcaklığı 180°C'den az olan jeotermal sistemlerde ise kuvarstan çok kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle sıcaklığı 180°C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180°C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir [42].

Silis jeotermometresi ile dönemsel olarak alınan sıcak su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 7.3'deki referanslar kullanılarak Çizelge 7.4'de rezervuarın muhtemel sıcaklıkları hesaplanmıştır. Rezervuar muhtemel sıcaklığının 180°C'den daha az hesaplandığı için kuvars jeotermometreleri yerine kalsedon jeotermometreleriyle hesaplanan sıcaklıklar tercih edilmiştir.

Eylül 2014-Ağustos 2015 tarihleri arasında hesaplanan silis-kalsedon jeotermometre değerlerinin ortalaması her bir örnekleme noktası için alınmıştır (YSA5 örneklemesinin tek dönem analiz sonuçları olduğundan Eylül 2014 dönemindeki silis-kalsedon jeotermometre değerleri dikkate alınmıştır). Böylece, elde edilen sonuçlarla örneklerin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 7.5).

Çizelge 7.3. Silis jeotermometreleri için sıcaklık eşitlikleri (S= SiO₂, ppm)

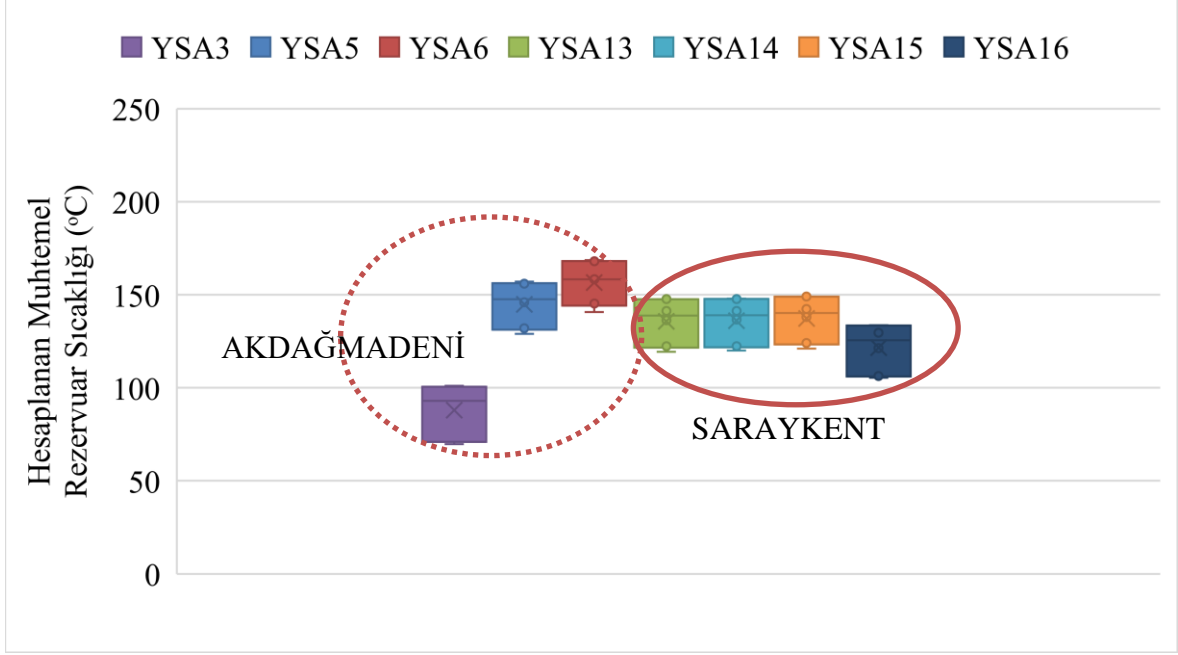
No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği (t=°C)	Referans
1	Kuvars	$t = -42.198 + (0.28831 * S) - 3.6686 * 10^{-4} * S^2 + 3.1665 * 10^{-7} * S^3 + 77.034 * \log S$	[43]
2	Kuvars (buhar kaybı yok)	$t = (1309 / (5.19 - \log S)) - 273.15$	[44]
3	Kuvars (100°C'de Maksimum buhar kaybı)	$t = (1522 / (5.75 - \log S)) - 273.15$	[44]
4	Kuvars	$t = -55.3 + 0.36559 * S - 5.3954 * 10^{-4} * S^2 + 5.5132 * 10^{-7} * S^3 + 74.36 * \log S$	[42]
5	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t = (1032 / (4.69 - \log S)) - 273.15$	[44]
6	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t = (1112 / (4.91 - \log S)) - 273.15$	[45]

Rezervuar muhtemel sıcaklığı 5 ve 6 no'lu kalsedon jeotermometreleriyle Saraykent Jeotermal Alanı için 94-132°C, Akdağmadeni Jeotermal Alanı için 62-150°C olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.4. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarında dönemsel analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan silis jeotermometre hesaplaması (Çizelge 7.3'deki sıralamaya göre hesaplanmıştır).

ALAN	Kod	Açıklama	Dönem	t (°C)	1	2	3	4	5	6
AKDAĞMADENİ	YSA3	Jeotermal Kuyu	Eyl.14	47.7	108	108	108	94	78	79
			Mar.15	47.3	100	99	100	85	69	71
			Ağu.15	47.5	93	93	95	79	62	64
		Ortalama				100	100	101	86	70
	YSA5	Sıcak ve minerallisu kaynağı	Eyl.14	27.3	157	156	149	146	132	129
	YSA6	Uyuz Hamamı	Eyl.14	33.6	172	171	161	162	149	144
			Mar.15	26	161	161	152	150	137	133
			Ağu.15	31.7	173	172	162	163	150	145
		Ortalama				169	168	158	158	145
	SARAYKENT	YSA13	Jeotermal Kuyu	Eyl.14	73.6	153	153	146	142	128
Mar.15				71.6	154	154	147	144	130	126
Ağu.15				67	136	136	131	123	109	107
Ortalama				148	148	141	136	122	119	
YSA14		Jeotermal Kuyu	Eyl.14	68	157	157	149	146	132	129
			Mar.15	54.9	154	153	146	143	129	126
			Ağu.15	69.4	133	133	129	121	106	105
		Ortalama				148	148	141	137	122
YSA15		Jeotermal Kuyu	Eyl.14	67.6	152	152	145	141	127	124
			Mar.15	76.2	156	156	148	146	132	128
			Ağu.15	65.6	139	139	134	127	113	111
		Ortalama				149	149	142	138	124
YSA16		Jeotermal Kuyu	Eyl.14	48.2	136	136	132	124	109	108
			Mar.15	51.3	143	142	137	131	116	114
			Ağu.15	49.8	122	122	120	109	94	94
		Ortalama				134	133	130	121	106

Daha önceki çalışmalarda Uyuz Hamamı için kalsedon jeotermometresi ile 105-107 °C aralığında hesaplandığı belirtilmiştir [10]. Bu çalışmada ise Uyuz Hamamı (YSA6) kalsedon jeotermometresi ile ortalama 141-145 °C aralığında hesaplanmıştır.



Şekil 7.5. Çalışma alanındaki su örneklerinin silis ve kalsedon jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları aralığı.

7.3 İzotop Jeotermometresi

Sülfat su sistemi için deneysel olarak su örneklerindeki çözülmüş SO_4^{2-} 'e ait $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (‰, V_{SMOW}) izotop fraksiyon faktörleri eşitlik 1 ve 2'de gösterilmiştir ([46], [47]). Bu çözülmüş sülfat ve su arasında denge Lloyd [46] fraksiyasyon faktörü;

$$1000 \ln \alpha_{\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}} = 3.251 \cdot (10^6/t^2) - 5.6 \quad [1]$$

Mizutani ve Rafter [47] fraksiyon faktörü;

$$1000 \ln \alpha_{\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}} = 2.88 \cdot (10^6/t^2) - 4.1 \quad [2]$$

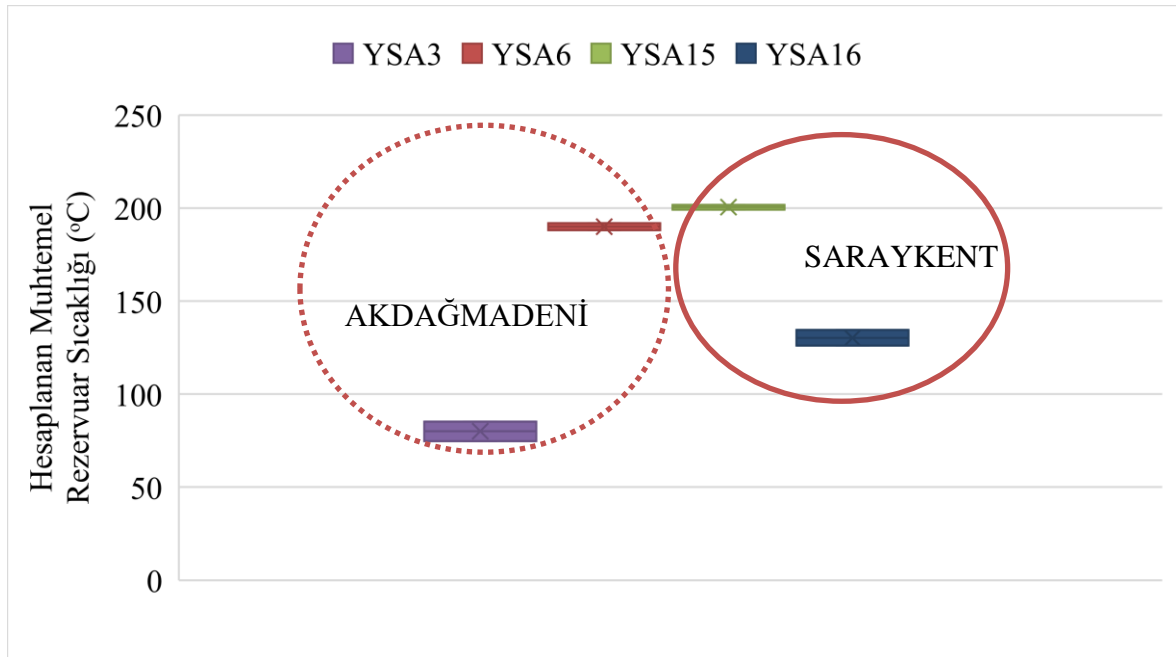
Burada t, kelvin birimindedir.

$\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ jeotermometresinin sonucu olarak çalışma alanındaki sıcak suların rezervuar muhtemel sıcaklığı (°C) Çizelge 7.5'de görülmektedir.

Mart 2015 tarihinde analizi gerçekleştirilen örnekleme noktalarında hesaplanan izotop jeotermometre ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4^{2-}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$) değerlerinin değişim aralıklarının karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 7.6).

Çizelge 7.5. Mart 2015 tarihindeki analiz sonuçlarına göre SO₄-H₂O jeotermometresi ile çalışma alanındaki sıcak suların rezervuar muhtemel sıcaklığının (°C) hesaplanması.

ALAN	Kod	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4^{-2}}$	[46]	[47]
AKDAĞMADENİ	YSA3	-10.59	9.1	85.28	74.67
	YSA6	-8.40	1.0	191.85	188.13
SARAYKENT	YSA15	-9.47	-0.7	201.75	199.08
	YSA16	-10.62	3.3	134.42	126.06



Şekil 7.6. Çalışma alanındaki su örneklerinin izotop jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları aralığı.

İzotop jeotermometresinde ise rezervuar muhtemel sıcaklığı Saraykent Alanı'nda yaklaşık 126-201°C arasında değişirken, Akdağmadeni Alanı'nda 74-191°C arasında olduğu hesaplanmıştır. İzotop jeotermometresi, kalsedon jeotermometresine göre daha yüksek sıcaklıklar türetmiş olup $\delta^{18}\text{O}$ izotopunun da Saraykent-Akdağmadeni Yerel Meteorik Su Doğrusu'ndan pozitif yönde sapma yapmasından dolayı yüksek sıcaklık gerekmekte olup izotop jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklık değerleri rezervuar muhtemel sıcaklığı olarak tercih edilebilir.

Burçak vd. [8], Saraykent (Karamağara) kaplıcasını içine alan alanda kayaçların alterasyon koşullarının belirlenmesi amacıyla alterasyon numunesi olarak XRD analizlerini yaptırmışlardır. Bu analiz sonucunda hidrotermal mineral topluluğu olarak opal, simektit,

kaolinit ve illit olduğunu belirlemişlerdir. Bu mineral topluluğuna göre dasit ve piroklastiklerde gelişen yüzey alterasyonunu oluşturan akışkanların pH koşullarının zayıf asit-nötral karakterli olduğunu ve alterasyona neden olan akışkanların yaklaşık 100°C sıcaklıkta olduğunu belirtmişlerdir.

Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanları için hesaplanan jeotermometrelerin farklı örnekleme noktalarında farklı değerler elde edilmesi sıcak ve mineralli suların farklı derinliklerden geldiği hakkında bilgi vermektedir.

Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanları için hesaplanan jeotermometrelerden farklı örnekleme noktalarında değişik aralıklarda değerler elde edilmesi ve Giggenbach diyagramında olgun olmayan bölüme düşmesi nedeniyle, sıcak ve mineralli suların farklı derinliklerden gelebileceği veya yeryüzüne yükselirken sığ seviyelerde yeraltısuyu ile karışıma uğrayabileceği olasılığını göstermektedir. Bu olasılıklar göz önüne alındığında rezervuar muhtemel sıcaklığı için, silis ve izotop jeotermometreleriyle hesaplanan ortalama değerlerin; Saraykent Jeotermal Alanı'nda 130 °C civarında, Akdağmadeni Jeotermal Alanı'nda 120 °C civarında olmasının kabul edilebilir bir beklenti olacağı sonucuna varılmıştır.

8 KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL

Jeotermal sistemler jeolojik, hidrojeolojik ve tektonik özelliklere bağlı olarak gelişmektedir. Bu sistemi oluşturan unsurlar; gözenekliliği ve geçirimsliliği olan rezervuar kayaçlar, jeotermal rezervuardaki sular genellikle meteorik kökenli olmaları nedeniyle, bu rezervuarın beslenmesini sağlayacak beslenme alanları, jeotermal akışkanın yüzeye çıkmasına olanak sağlayan yapısal süreksizlikler ya da damar kayaçlar, ısı kaynağı, jeotermal akışkan ısısının korunmasını sağlayan geçirimsliliği düşük olan örtü kayaçlardır.

Kavramsal hidrotermal modeldeki rezervuar ve örtü kayaç birimleri, literatürdeki jeolojik çalışmalarla beraber alanda açılmış sondaj kuyu logları yardımıyla belirlenmiştir. Alandaki jeotermal rezervuarı besleyen baskın yeraltısuyu dolaşımı için hidrojeokimyasal ve izotopik çalışmalar sonucundaki bulgulardan yararlanılmıştır. Bu bilgiler yardımıyla çalışma alanındaki kavramsal hidrotermal model ortaya çıkarılmıştır (Şekil 8.1 ve Şekil 8.2).

8.1 Rezervuar ve Örtü Kayaçlar

Çalışma alanındaki sondaj kuyu loglarının varlığıyla rezervuar ve örtü kayaçlar tanımlanmaya çalışılmıştır. Saraykent ve Akdağmadeni çalışma alanındaki jeotermal sondaj kuyu loglarında YSA16 kuyusu dışında kuyuların derinlikleri Eosen volkanitleri içerisinde olup temel kayaya girmedikleri sondaj kuyu loglarından belirlenmiştir. Sadece Saraykent alanındaki YSA16 jeotermal sondaj kuyusu temel kayaya ulaşmıştır. Saraykent çalışma alanındaki tektonik unsurların denetiminde olan ikincil gözenekliliğe ve geçirimsliliğe sahip volkanitlerin (riyolit, dasit) ve metamorfitlelerin (mermer) jeotermal rezervuar kayacı oluşturduğu belirlenmiştir. Akdağmadeni çalışma alanındaki tektonik unsurların denetiminde olan ikincil gözenekliliğe ve geçirimsliliğe sahip volkanitlerin (bazalt, andezit) jeotermal rezervuar kayacı oluşturduğu belirlenmiştir. Karbon-13 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) izotop analiz sonuçlarına göre sıcak ve mineralli suların alandaki beslenme yükseltisi kotundaki Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı mermerlerden ve sıcak ve mineralli suların yakın çevresinde bulunan Eosen yaşlı kireçtaşlarından karbon katkısının olabileceği belirlenmiştir.

Çalışma alanında rezervuar kayaçlar genellikle süreksizlik (kırık ve fay) zonlarında gelişen volkanitler (riyolit, bazalt, andezit) ve metamorfitlelerde (özellikle mermer) hidrojeolojik olarak rezervuar özelliği göstermektedirler. Saraykent ve Akdağmadeni alanlarındaki örtü kayaçları Eosen yaşlı sedimanterler içindeki kil, marn, tuf birimleri ile metamorfitlelerdeki şistler oluşturmaktadır.

8.2 Beslenme Alanı

Çalışma alanının güney kısmındaki Geyikli Dağı civarındaki yükseltilerden potansiyel beslenmenin olduğu sıcak ve mineralli suların $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ içeriğine göre $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ -yükseklik ilişkisiyle hesaplanan muhtemel beslenme yükseltisinin Sıcak ve mineralli suların $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ içeriğine göre hesaplanan muhtemel beslenme yükseltisi ortalama bulunarak Saraykent Jeotermal Alanı için 1623-1975 m aralığında değiştiği, Akdağmadeni Jeotermal Alanı için 1768-1905 m aralığında değiştiği hesaplanmıştır. Beslenme yükseltisi güneydeki metamorfitleerin kırıklı-çatlaklı mermer birimlerinin olduğu kısımlardan daha yoğun beslenmenin olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanındaki soğuk sular genellikle $\text{Ca}^{+2}\text{-HCO}_3^{-}$ 'li sığ dolaşımli sular oldukları, Akdağmadeni alanındaki YSA3 Karadikmen jeotermal kuyusu ile Saraykent alanındaki YSA16 jeotermal kuyusu $\text{Na}^{+}\text{+K}^{+}\text{-(SO}_4^{-2}\text{+Cl}^{-})$ 'lü sular, diğer jeotermal kaynaklar $\text{Na}^{+}\text{+K}^{+}\text{-(Cl}^{-}\text{+SO}_4^{-2})$ 'li derin dolaşımli oldukları belirlenmiştir. Ayrıca $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ duraylı izotop diyagramları yardımıyla da soğuk su kaynakları sığ ve jeotermal su kaynakları derin dolaşımli sular olarak ayırt edilmiştir.

8.3 Isı Kaynağı

Jeotermal sistemlerdeki ısı kaynağını birçok etken oluşturmaktadır. Bunlar, soğumasını tamamlayamamış magmatik sokulum, volkanizma, tektonik etkinliğe bağlı olarak kabuk incilmesi, ekzotermik kimyasal tepkimeler veya radyoaktif bozunmaya bağlı açığa çıkan ısı olarak değişmektedir.

Saraykent Jeotermal Alanı'ndaki YSA16 (SKT-1) kuyusu statik sıcaklık verilerine göre üretim borusu altında 2 farklı gradyan belirlenmiş olup 1. gradyan 100 m de 3.67 °C iken 2. gradyan 100 m de 6.15 °C olarak belirlenmiştir [11].

Saraykent ve Akdağmadeni çalışma alanındaki jeotermal sistemin ısı kaynakları; jeotermal gradyan, magmatik sokulum, Pliyosen volkanizması, kimyasal ve radyoaktif tepkimelerin beraber olduğu düşünülmektedir. Jeotermal gradyan çalışma alanında magmatik sokulumun olduğu kısımlarda ve Saraykent-Karadikmen Grabeni'nde çevresindeki horst alanına oranla daha yüksektir. Ayrıca, Saraykent çalışma alanında asidik magmatik etkinlik Akdağmadeni alanına göre daha fazla olup Mart-2015'te gerçekleştirilen sularda toplam alfa ve toplam beta analizlerinden daha yüksek değerler elde edilmiştir. Tüm bu etkenler, sıcak ve mineralli suların bulunduğu alandaki jeotermal gradyanın ortalama gradyandan ($\sim 1^\circ\text{C}/30\text{ m}$) daha yüksek olmasına yol açmaktadır.

Türkiye Curie Isısı derinliği haritasında bazı bölgelerde 29 km civarında iken Saraykent-Akdağmadeni'ni de içine alan bölgede Curie Isısı derinliğinin sığlaştığı ve 13 km'ye düştüğü belirlenmiştir [48].

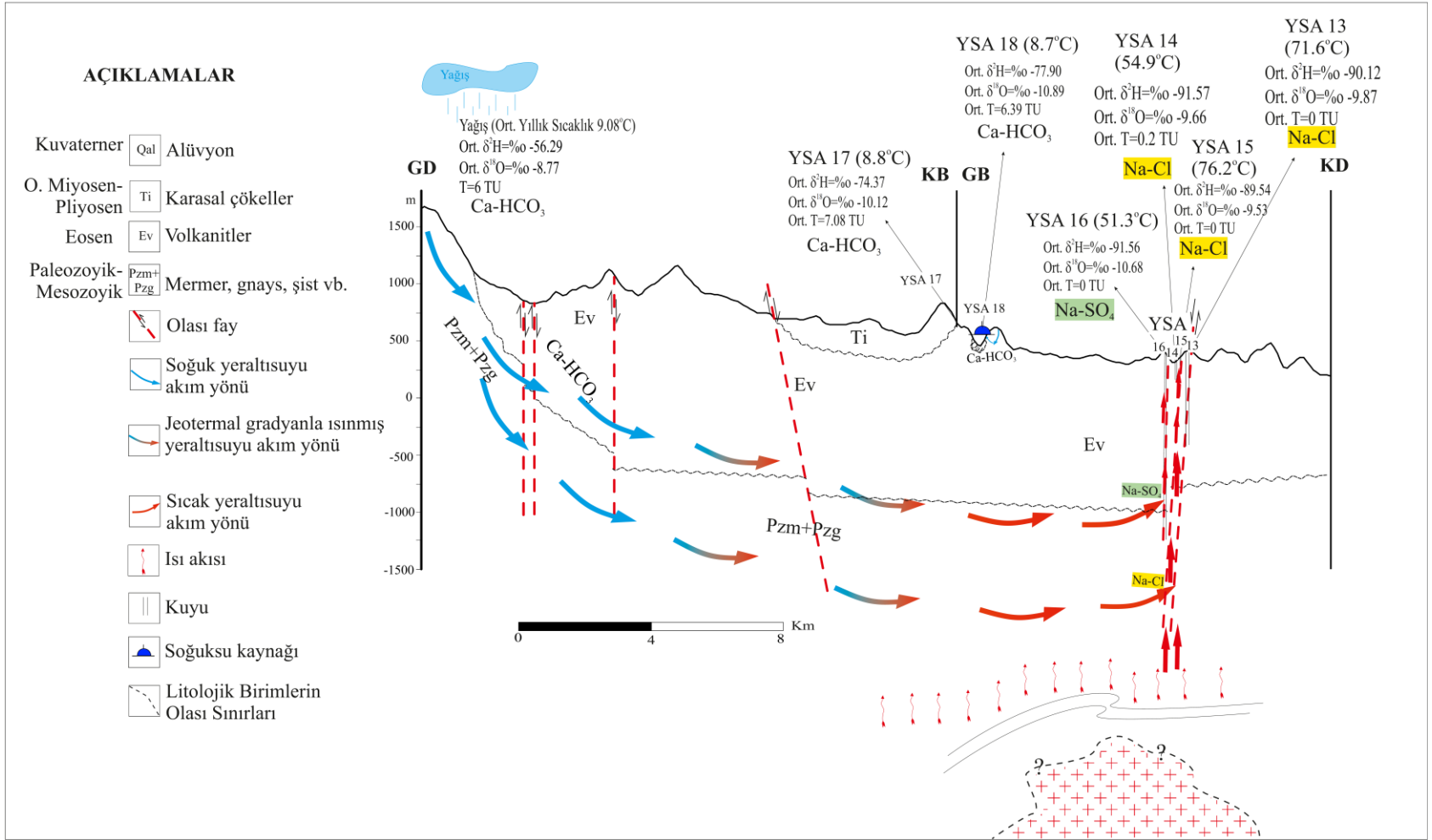
Sonuç olarak, her iki alan için oluşturulan kavramsal hidrotermal modele göre; çalışma alanının güney kısmındaki Akdağmadeni Horst'u bölgesindeki yükseltelerin kırık-çatlak zonlarından yeraltına süzülen meteorik sular (düşük mineralli ve HCO₃'lü) özellikle fay hatları boyunca derinlere ulaşmakta, burada ısı kazanmakta yine fay hatları boyunca yüzeye hareket ederken kırıklı-çatlaklı zonlarda depolanmakta, Saraykent ve Akdağmadeni (Karadikmen) sıcak ve mineralli sularının (kuyu/kaynak) olduğu kesimlerdeki kırık hatları boyunca yüzeye sıcak ve mineralli su kaynakları şeklinde klorürce ve sülfatça zenginleşerek ulaşmaktadır.

Rezervuar muhtemel sıcaklığı için, silis ve izotop jeotermometreleriyle hesaplanan ortalama değerlerin; Saraykent Jeotermal Alanı'nda 130 °C civarında, Akdağmadeni Jeotermal Alanı'nda 120 °C civarında olmasının kabul edilebilir bir beklenti olacağı sonucuna varılmıştır.

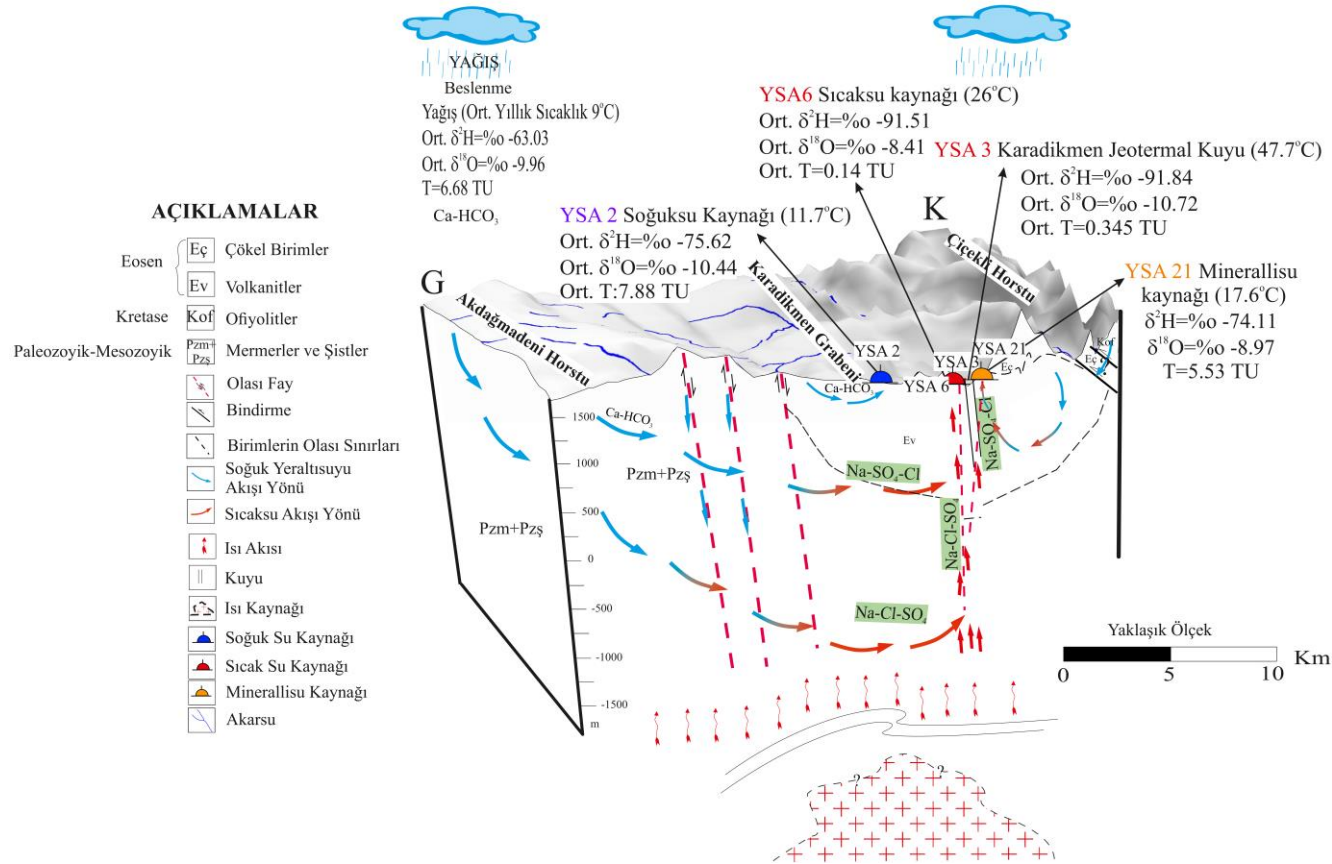
Çalışma alanında derin yapıların ve magmatik yaklaşımların belirlenebilmesi her iki alanı içine alan ve yüzeyde kaynak görülmeyen yerlerin de jeotermal olanaklar açısından araştırılması için Saraykent-Akdağmadeni Jeotermal Alanları ve çevresinin jeofizik yöntemle (Manyeto-Tellürik) incelenmesi alanın potansiyelini arttırmak için uygun olacaktır.

Çizelge 8.1. Çalışma alanının kavramsal hidrotermal modelinin çizelgesi (YSA5 sıcaklık ve izotop değerleri Eylül 2014 iken, diğer su örneklerinin değerleri Eylül 2014-Mart 2015 tarihlerine ait ortalama olarak verilmiştir).

Alan	Açıklama	Derinlik (m)	t (°C)	Q (L/s)	Örtü Birimler	Rezervuar Birimler	Hidrojeokimyasal Fasiyes	İzotop İçerikleri		Muhtemel Rezervuar Sıcaklığı (°C)
								$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	
AKDAĞMADENİ	Karadikmen JK (YSA3)	486 ^[7]	47.7	100 ^[7]	Eosen yaşlı killi seviyeler ve volkanitler (tüflü birimler)	Kırıklı-çatlaklı-faylı bazalt/andezit	(Na ⁺ +K ⁺)-SO ₄ ⁻² -Cl ⁻	-91.84	-10.72	120
	Sıcak ve Mineralli su Kaynağı (YSA5)	Yüzeysel Akış	27.3	Sızıntı	Eosen yaşlı killi seviyeler ve volkanitler (tüflü birimler)	Kırıklı-çatlaklı-faylı bazalt/andezit	(Na ⁺ +K ⁺)-Cl ⁻ -SO ₄ ⁻²	-89.81	-8.90	
	Uyuz Hamamı (YSA6)	Yüzeysel Akış	33.6	0.05 (sızıntı)	Eosen yaşlı killi seviyeler ve volkanitler (tüflü birimler)	Kırıklı-çatlaklı-faylı bazalt/andezit	(Na ⁺ +K ⁺)-Cl ⁻ -SO ₄ ⁻²	-91.51	-8.41	
SARAYKENT	Jeotermal Kuyu (YSA13)	300 ^[12]	73.6	41 ^[12]	Riyolit tüfleri	Kırıklı çatlaklı, faylı, riyolit, riyodasit	(Na ⁺ +K ⁺)-Cl ⁻ -SO ₄ ⁻²	-90.12	-9.87	130
	Jeotermal Kuyu (YSA14)	30 ^[6]	68.0	15 ^[6]	Riyolit tüfleri	Kırıklı çatlaklı riyolit (altere olmuş)	(Na ⁺ +K ⁺)-Cl ⁻ -SO ₄ ⁻²	-91.57	-9.66	
	Jeotermal Kuyu (YSA15)	66 ^[6]	67.6	10 ^[6]	Riyolit tüfleri	Kırıklı çatlaklı, faylı, riyolit	(Na ⁺ +K ⁺)-Cl ⁻ -SO ₄ ⁻²	-89.54	-9.53	
	Jeotermal Kuyu (YSA16)	650 ^[11]	48.2	0.50 (artezyen) ^[11]	Riyolit tüfleri	Mermer ara katkılı şist	(Na ⁺ +K ⁺)-SO ₄ ⁻² -Cl ⁻	-91.56	-10.68	



Şekil 8.1. Saraykent Jeotermal Alanı'nın şematik kavramsal hidrotermal-hidrojeokimyasal modeli (B-B'- B'' kesiti).



Şekil 8.2. 1-4 noktalarını birleştiren kısımda yer alan Akdağmadeni-Karadikmen bölgesinin şematik kavramsal hidrotermal-hidrojeokimyasal modelini gösteren enine kesit.

9 SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması için belirlenen Saraykent ve Akdağmadeni (Yozgat) dolayındaki jeokimyasal ve izotopik incelemelerle kavramsal hidrotermal modelin oluşturulmasına yönelik gerçekleştirilen büro, arazi ve laboratuvar çalışmalarının değerlendirilmesi yapılarak elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Çalışma alanında güneyden kuzeye Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı kabul edilen gnays, şist, mermer vb. metamorfitlelerden oluşan Kırşehir Masifi yer yer Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Orta Anadolu Granitoyitleri tarafından kesilmektedir. Kırşehir Masifi metamorfitleleri üzerine açısız uyumsuzlukla Eosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimler ile Orta-Geç Miyosen yaşlı göl ve akarsu ortamlarında gelişmiş İç Anadolu Grubu'na ait karasal kırıntılı kayalar gelmektedir. Alanın kuzeyinde İzmir-Ankara-Erzincan Zonu'na ait kaya birimleri Eosen yaşlı kaya birimleri üzerine tektonik olarak itilmişlerdir. Pliyosen yaşlı bazalt ve Kuvaterner alüvyonlar alanda en genç birimleri oluşturmaktadır. Çalışma alanında KD-GB doğrultulu fay sistemleri ile yaklaşık D-B doğrultulu fay/kırık sistemleri mevcut olup jeotermal kaynaklar bu hatlar üzerinde gelişmiştir.

Çalışma alanının batısında Saraykent Jeotermal Alanı ile doğusunda Akdağmadeni Jeotermal Alanı yer almaktadır. Saraykent sıcak ve mineralli sularının dönemsel akışkan sıcaklıkları 48.2-76.2°C arasında, Akdağmadeni sıcak ve mineralli sularının dönemsel akışkan sıcaklıkları 26.0-47.7°C arasında değişmektedir. Çalışma alanında Saraykent'te YSA13, YSA14, YSA15, YSA16 jeotermal kuyuları ve Akdağmadeni'nde YSA3 jeotermal kuyusu olmak üzere toplam 5 jeotermal kuyu bulunmaktadır.

Çalışma alanında jeotermal kaynaklardan toplanan su örneklerinin sıcaklıklarında dönemsel olarak çok az değişimler gözlemlenmiştir. Buna karşın soğuksu kaynaklarında ise mevsimsel değişimler belirgin olarak gözlenmiştir.

Çalışma alanındaki soğuk sular genellikle $Ca^{+2}-HCO_3^{-}$ 'li sığ dolaşım sular oldukları belirlenmiştir. Akdağmadeni alanındaki YSA3 Karadikmen jeotermal kuyusu ile Saraykent alanındaki YSA16 jeotermal kuyu suları $(Na^{+}+K^{+})-SO_4^{-2}-Cl^{-}$ 'lü, alandaki diğer sıcak ve mineralli suların $(Na^{+}+K^{+})-Cl^{-}+SO_4^{-2}$ 'li derin dolaşım sular oldukları belirlenmiştir. Sıcak suların kimyasal analizlerindeki majör iyonlarında dönemsel olarak önemli bir değişim görülmemekte olup derin dolaşım ve güncel yağışlardan etkilenmediği belirlenmiştir.

Doygunluk hesaplamasıyla oluşturulan doygunluk indeksi diyagramında su örnekleme noktalarında kalsedon ve kuvarsa doygun oldukları, çoğu örnekleme noktalarında ise kalsit,

aragonit, dolomit ve talk mineraline doygun oldukları belirlenmiştir. Çalışma alanındaki Saraykent jeotermal kuyularındaki (YSA13, YSA15 ve YSA16) sıcak ve mineralli suların boşalım yaptığı kısımlardan toplanan kabuklaşma örneklerinin minerolojik içeriği için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Doygunluk indeksi hesaplamaları ve XRD sonuçlarına göre yüzeye çıkan sıcak ve mineralli suların karbonat (kalsit) ve silis (kuvars) kabuklaşması oluşturduğu belirlenmiştir.

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ve Wilcox Diyagramı'na göre soğuk su örneklerinin sulama için uygun, sıcak ve mineralli su örneklerinin yüksek iyon içeriğine sahip olmasından dolayı sulamaya uygun görülmediği belirlenmiştir.

Azotun çeşitli formları ile fosfor iyonları dönemsel olarak akarsularda standartlara göre çok miktarda bulunmaktadır. Ayrıca, YSA1, YSA12 ve YSA27 soğuk su kaynaklarında çok fazla miktarda nitrat bulunmaktadır. Standartları aşan değerler insan sağlığı için önem taşımakta olup bu suların kullanılmasında dikkat edilmelidir.

Dönemsel olarak alınan yağış sularının $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ analiz sonuçlarından elde edilen veri serisiyle oluşturulan lineer regresyon analiziyle değerlendirilerek Saraykent-Akdağmadeni Alanı'nın Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun (Saraykent-Akdağmadeni LMWL) denklemi $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}=8.25*\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}+17.90$ ($R^2=0.99$) eşitliği ile tanımlanmıştır.

Jeotermal kaynaklardaki yüksek sıcaklığa sahip suların kayaçlarla uzun süreli temasından dolayı $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotopu bakımından zenginleşerek Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun (LMWL) $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop değerinden sapma (zenginleşme) oluşturdukları görülmektedir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal rezervuar sularının $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerinin alandaki diğer su kaynaklarının $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerine benzerlik göstermeleri nedeniyle alandaki jeotermal rezervuarın meteorik kökenli yağışlardan beslendiği saptanmıştır.

Üst Kretase yaşlı Ofiyolitik Melanj'daki kaynaklardan alınan YSA28 ve YSA30 (Şubat 2016) su örnekleri önceki dönemlerde alınan diğer su örneklerine göre $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ değerlerinin göreceli olarak daha pozitif olduğundan, bindirme ile yer alan Üst Kretase yaşlı Ofiyolitik Melanjın bulunduğu bölgeden jeotermal sulara kayda değer bir beslenmenin olmadığı düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar, soğuksu örneklerine göre daha negatif $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ve $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ izotop içeriğine sahip olmasından dolayı daha yüksek kotlardan beslendiği ve farklı derinliklerde derin dolaşımly oldukları soğuk kaynak sularının ise sıcak ve mineralli sulara

göre sığ dolaşımli oldukları belirlenmiştir. Böylece, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ile $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ duraylı izotoplarıyla sığ ve derin dolaşımli sular ayırt edilmiştir.

Sıcak ve mineralli suların $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ içeriğine göre hesaplanan muhtemel beslenme yükseltisi ortalama bulunarak Saraykent Jeotermal Alanı için 1623-1975 m aralığında değiştiği, Akdağmadeni Jeotermal Alanı için 1768-1905 m aralığında değiştiği hesaplanmıştır. Bu yükseltilerin, çalışma alanının güneydoğusundaki Akdağmadeni Horstu'nda yer alan Geyikli Dağı bölümünde olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, beslenmenin bölgede yüksek topoğrafyayı oluşturan güneydeki metamorfitleerin kırıklı-çatlaklı mermer ve şist birimlerinden olduğu sonucuna varılmıştır.

Jeotermal akışkanlardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izotopu değerleri, tatlısu/denizel karbonatların çözünmesinden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Buna göre, alandaki jeotermal kaynakların beslenme yükseltisi kotundaki Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı mermerlerden ve jeotermal kaynakların yakın çevresinde bulunan Eosen yaşlı kireçtaşlarından karbon katkısının olabileceği anlaşılmaktadır.

Jeotermal sulardaki çözünmüş SO_4 'ün $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop değerine göre kökeninin Eosen volkanitlerindeki volkanik kökenli sülfürden, Eosen yaşlı sedimanterlerdeki kömür ve/veya kireçtaşlarından ve İç Anadolu Grubu'na ait evaporitlerden kaynaklanabileceği anlaşılmaktadır. Buna göre, çalışma alanındaki jeotermal akışkanların Eosen yaşlı sedimanter ve volkanitlerle etkileşimde olabileceği belirlenmiştir.

Tritiyum izotopu analiz sonuçlarına göre; Jeotermal sular (YSA3, YSA5, YSA6, YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16) 0-(0.69±0.37) TU arasında değişmekte olup bu sular 60 yıldan daha yaşlı derin dolaşımli'dir. Çalışma alanındaki yağış örnekleri (3.76±0.28) – (7.83±0.36) TU aralığında değişmekte iken diğer su örnekleri (3.55±0.3)–(8.63±0.51) TU aralığında değişmektedir. Alandaki jeotermal suların haricindeki suların güncel beslenme bileşiminin olduğunu göstermektedir.

Toplam alfa (α) ve toplam beta (β) analizi sonuçlarına göre; YSA13, YSA14, YSA15 ve YSA16 Saraykent'teki jeotermal kuyulardan alınan su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta değerlerinin Akdağmadeni'ndeki diğer su örneklerine (YSA3, YSA6 ve YSA21) göre daha yüksek olmasının nedeninin Saraykent'teki asidik bileşimli granitik intrüzyon ve riyolitik volkanitlerden dolayı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, Saraykent alanındaki suların toplam alfa ve toplam beta içerikleri yüksek olup bazı standart limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Saraykent ve Akdağmadeni Jeotermal Alanları için hesaplanan jeotermometrelerden farklı örnekleme noktalarında değişik aralıklarda değerler elde edilmesi ve Giggenbach diyagramında olgun olmayan bölüme düşmesi nedeniyle, sıcak ve mineralli suların farklı derinliklerden gelebileceği veya yeryüzüne yükselirken sığ seviyelerde yeraltısuyu ile karışıma uğrayabileceği olasılığını göstermektedir. Bu olasılıklar göz önüne alındığında rezervuar muhtemel sıcaklığı için, silis ve izotop jeotermometreleriyle hesaplanan ortalama değerlerin; Saraykent Jeotermal Alanı'nda 130 °C civarında, Akdağmadeni Jeotermal Alanı'nda 120 °C civarında olmasının kabul edilebilir bir beklenti olacağı sonucuna varılmıştır.

Çalışma alanında rezervuar kayaçlar genellikle kırık ve fay zonlarında gelişen volkanitler (riyolit, bazalt, andezit) ve metamorfitlelerde (mermer) hidrojeolojik olarak rezervuar özelliği göstermektedirler. Saraykent ve Akdağmadeni alanlarındaki örtü kayaçları Eosen yaşlı sedimanterler içindeki kil, marn, tuf birimleri ile metamorfitlelerdeki şistler oluşturmaktadır.

Saraykent ve Akdağmadeni çalışma alanındaki jeotermal sistemin ısı kaynakları; jeotermal gradyan, magmatik sokulum, Pliyosen volkanizması, kimyasal ve radyoaktif tepkimelerin beraber olduğu düşünülmektedir. Jeotermal gradyan, çalışma alanında magmatik sokulumun olduğu kısımlarda ve Saraykent-Karadikmen Grabeni'nin çevresindeki horst alanına oranla daha yüksektir. Öte yandan, Saraykent-Akdağmadeni'ni de içine alan bölgede Curie Isısı derinliğinin sığlaştığı ve 13 km ye düştüğü belirlenmiştir. Tüm bu etkenler, sıcak ve mineralli suların bulunduğu alandaki ısı akısının ortalama jeotermal gradyandan daha yüksek olmasına yol açtığı anlaşılmaktadır.

Saraykent ile Akdağmadeni Jeotermal Alanları için oluşturulan kavramsal hidrotermal modele göre; çalışma alanının güney kısmındaki Akdağmadeni Horst'u bölgesindeki yükseltilerin kırık-çatlak zonlarından yeraltına süzülen meteorik sular (düşük mineralli ve HCO₃'lü) özellikle fay hatları boyunca derinlere ulaşmakta, burada ısı kazanmakta, fay hatları boyunca yüzeye hareket ederken kırıklı-çatlaklı zonlarda depolanmakta, Saraykent ve Akdağmadeni (Karadikmen) sıcak ve mineralli sularının (kuyu/kaynak) olduğu kesimlerdeki kırık hatları boyunca yüzeye sıcak ve mineralli su kaynakları şeklinde klorürce ve sülfatça zenginleşerek ulaşmaktadır.

Akdağmadeni Jeotermal Alanı'ndaki suların sıcaklıklarının düşük olmasından, suların mineralli olmasından ve radyoaktif özelliklerinin de standart limit değerlerini aşmamasından dolayı balneolojik amaçlı kullanılması uygun görülmektedir. Saraykent Jeotermal

Alanı'ndaki bazı kuyulardan elde edilen akışkanların sıcaklıkları 70 °C'nin üzerinde olduğundan alanın geliştirilmesi halinde bölgede konut ve sera ısıtmacılığında da yararlanılabilir.

Soğuk su kaynaklarında kirliliğe neden olan etmenler detaylı olarak incelenmeli, sıcak ve mineralli suların beslenme alanları içerisinde ve çevresinde koruma alanları tespit edilmelidir.

Çalışma alanında derin yapıların ve magmatik yaklaşımların belirlenebilmesi her iki alanı içine alan ve yüzeyde kaynak görülmeyen yerlerin de jeotermal olanaklar açısından araştırılması için Saraykent-Akdağmadeni Jeotermal Alanları ve çevresinin jeofizik yöntemle (Manyeto-Tellürik) incelenmesi alanın potansiyelini arttırmak için uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

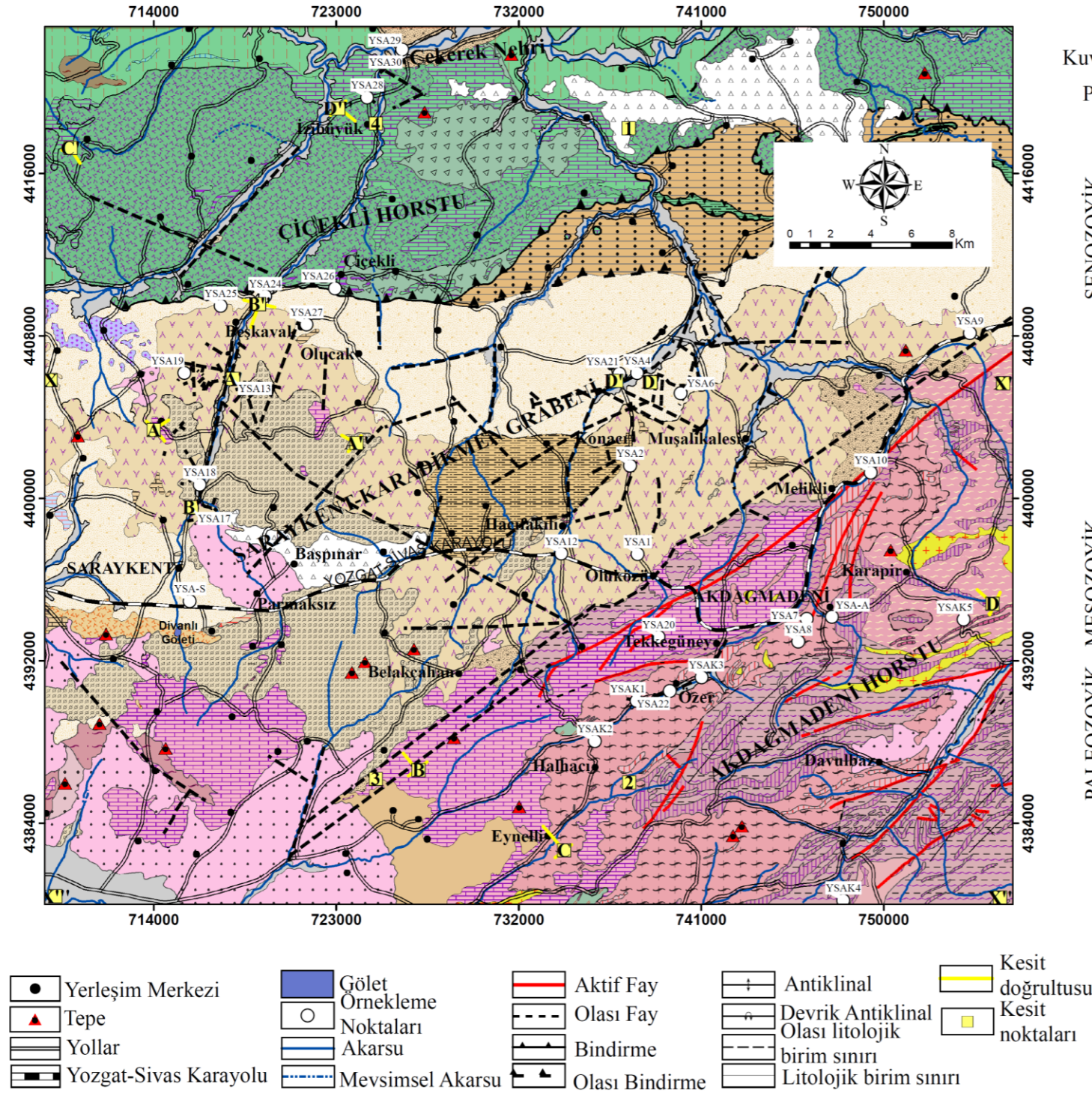
- [1] Ateş, Ş., Bulut Üstün, A., Özata, A., Kılıçdağı, R., Utar, A., Tuvar, O., Nazik, L., Osmançelebioğlu, R., Akduman, L. ve Karakaya Gülmez, F., *Yozgat İli ve Kentsel Alanların (İl-İlçe Merkezleri) Yerbilim Verileri*, MTA Rap. No. 10995, Ankara, **2007**.
- [2] Ketin, İ., Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu masifinin tektonik durumu, *Türkiye Jeoloji Kurumu (TJK) Bülteni*, 6/1,1-40, 1955.
- [3] Büyükönal, G., *Yozgat ve Yakın Çevresi Mağmasal Kayaçlarının Petrografisi ve Petrokimyası*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Mineroloji Kürsüsü, Ankara, **1977**.
- [4] Dökmeci, İ., *Akdağmadeni yöresinin jeolojisi*, MTA Rap. No. 6953, Ankara, **1980**.
- [5] Sağiroğlu, A., Akdağmadeni (Yozgat) cevherleşmelerinde görülen değişik skarn oluşuklarının özellikleri ve irdelenmesi, *Türkiye Jeoloji Kurumu (TJK) Bülteni*, 27/1, 69-80s, **1984**.
- [6] Yurdagül, M., *Yozgat Akdağ Madeni Saraykent (Karamağara) Roma Hamamına Ait Hidrojeolojik Rapor*, DSİ, **1986**.
- [7] Çağlayan, A., *Yozgat-Akdağmadeni-Karadikmen Jeotermal Enerji Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu*, Proje No: 2010-33.13.05.2, MTA, Ankara, **2010**.
- [8] Burçak, M., Üçer, A., Arslan, G., Arslan, S., Yurtseven, D., Yıldırım, N., Dağistan, H., Karzaoğlu, H. ve Yücel, B., *Yozgat-Saraykent (Karamağara) alanı jeotermal (jeoloji-jeofizik) etüt raporu*, MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 10886, Ankara, **2005**.
- [9] Şimşek, Ş., Kaya, T., Bakır, N., Tokgöz, Ö. T., Şimşek, Z. N., Gülgör, A., Karakuş, H., Koç, K., Türker, Ö., Yılmaz, E., Öncel, E., Muslu, F., Topuz, B., *Yozgat Saraykent Yakın Çevresinin Jeotermal Potansiyelinin Araştırılması Projesi Raporu*, Saraykent Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, **2006a**.
- [10] Şimşek, Ş., Kaya, T., Bakır, N., Çevikayak, A. E., Ö. T., Şimşek, Z. N., Gülgör, A., Karakuş, H., Koç, K., Türker, Ö., Yılmaz, E., Öncel, E., Muslu, F., Topuz, B., *Yozgat Akdağmadeni Yakın Çevresinin Jeotermal Potansiyelinin Araştırılması Projesi Raporu*, Akdağmadeni Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, **2006b**.
- [11] Şimşek, Ş., Şimşek, Z. N., Koç, K., Yılmaz, E., *Saraykent SKT-1 Kuyusunda Yapılan Jeolojik-Hidrojeolojik ve Sondaj Çalışmalarına İlişkin Danışmanlık Raporu*, Saraykent Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, **2009a**.
- [12] Şimşek, Ş., Şimşek, Z. N., Koç, K., Yılmaz, E., *Saraykent SKT-2 Kuyusunda Yapılan Jeolojik-Hidrojeolojik ve Sondaj Test Çalışmalarına İlişkin Danışmanlık Raporu*, Saraykent Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, **2009b**.
- [13] Akçay, A. E., Dönmez, M., Kara, H., Yergök, A. F. ve Esentürk, K., *1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları*, No. 81, Yozgat-İ34 Paftası, MTA yayını. Ankara, **2008**.

- [14] Dalkılıç, H., Dönmez, M. ve Akçay, A. E., *1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları*, No. 82, Yozgat-İ35 Paftası, MTA yayını. Ankara, **2008**.
- [15] Karaca, S. ve Karlı, R., *Karadikmen (Akdağmadeni-Yozgat) Civarı Jeotermal Etüt (Jeoloji-Jeofizik) Raporu*, MTA, Ankara, **2012**.
- [16] Seymen, İ., *Kaman dolayında Kırşehir Masifinin jeolojisi*, Doç. Tezi, İTÜ Maden Fak., Ankara, **1982**.
- [17] Göncüoğlu, M.C., Niğde Masifinde viridin-gnaysın kökeni, *Türkiye Jeoloji Kurumu (TJK) Bülteni*, 24/1, 45-50, **1981**.
- [18] Seymen, İ., Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifinin stratigrafisi ve metamorfizması, *Türkiye Jeoloji Kurumu (TJK) Bülteni*, 24/2, 7-14, **1981a**.
- [19] Dönmez, M., Bilgin, Z. R., Akçay, A. E., Kara, H., Yergök, A.F. ve Esentürk, K., *1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi*, No. 46, Kırşehir-İ31 Paftası, MTA yayını. Ankara, **2005**.
- [20] Seymen, İ., Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifinin metamorfizması, *Türkiye Jeoloji Kurumu (TJK) 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı "İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu"*, 12-15, Ankara, **1981b**.
- [21] Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., *Kuzey Anadolu Fayı-Kırşehir Masifi arasının temel jeolojisi*, MTA Rap. no. 6722, **1980**.
- [22] Tiryaki, C. ve Ekici, T., Çarpışma Sonrası Kalk-Alkalin Yozgat Volkaniklerinin Petrolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu (TJK) Bülteni*, 55/1, 19-41, Ankara, **2012**.
- [23] Dem-Su, T.C. *Yozgat İli, Saraykent Kaymakamlığı, Köylere Hizmet Götürme Birliği SKT-2 Termal Sondaj Üretim Kuyusu Raporu*, **2009**.
- [24] APHA, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 17th edition, American Public Health Association, Washington D.C., 1268 p., **1989**.
- [25] Selected Powder Diffraction Data for Minerals Joint Committee of Powder Diffraction Standards, 1601 Park Lane, Swarthmore. Pennsylvania, USA, **1974**.
- [26] Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., Description of input and examples for PHREEQC version 3-A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, **2013**.
- [27] SKKY, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık 2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi Gazete, **2004**.
- [28] TS 266, Türk Standardı, Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, ICS 13.060.20, **2005**.
- [29] DMSHY, Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik, 25657 nolu resmi gazete, 46 madde, yayım tarihi 1.12.2004, **2004**.
- [30] Şimşek, Ş., Isotope and Geochemical Techniques Applied to Geothermal Investigations, Internal Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-788. **1993**.
- [31] Craig, H., Isotopic variations in meteoric waters, *Science*, 133, 1702-1703, **1961**.
- [32] Clark, I. D., and Fritz, P., *Environmental isotopes in hydrogeology*, New York: Lewis. **1997**.

- [33] Thode, H. G., Sulphur Isotopes in nature and the Environment: An Overview. In: H.R. Krouse and V.A. Grinenko (Editors), *Stable Isotopes: Natural and Anthropogenic Sulphur in the Environment*, *Scope*, 43, 1-26. **1991**.
- [34] Lucas, L. L. and Unterweger, M. P., Comprehensive Review and Critical Evaluation of the Half-Life of Tritium, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 105 (4), **2000**.
- [35] Giggenbach, W. F., Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, pp. 2749-2765. **1988**.
- [36] Truesdell, A. H., Summary of section III geochemical techniques in exploration. Proc. of Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, 1975, San Francisco, U.S. Gov. Print. Office, pp. 53-79, **1976**.
- [37] Tonani, F., Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp.*, Strasbourg, pp. 428-443, **1980**.
- [38] Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, pp. 567-577, **1983**.
- [39] Fournier, R.O., A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Resources Council Transactions*, 3, pp. 221-224. **1979**.
- [40] Nieva, D. and Nieva, R., Development in geothermal energy in Mexico, part 12- A cationic composition geothermometer for prospecting of geothermal resources. Heat recovery systems and CHP. 7, pp. 243-258, **1987**.
- [41] Fournier, R.O. and Truesdell, A.H., An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, pp. 1255-1275, **1973**.
- [42] D'Amore F. and Arnórsson, S., Geothermometry. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use, In: Arnórsson, S. (ed.), *International Atomic Energy Agency*, Vienna, pp.152-199. **2000**.
- [43] Fournier, R. O. and Potter, R.W. II, A revised and expanded silica (quartz) geothermometer, *Geothermal Research Council Bulletin*, 11, pp. 3-9. **1982**.
- [44] Fournier, R. O., Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*. 5, pp. 41-50. **1977**.
- [45] Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson and H., The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, pp. 567-577. **1983**.
- [46] Lloyd, R. M., Oxygen isotope behavior in the sulfate-water system, *Journal of Geophysical Research* 73 [18], pp. 6099–6110, **1968**.
- [47] Mizutani, Y. and Rafter, T. A., Oxygen isotopic composition of sulfates- Part 3. Oxygen isotopic fractionation in the bisulfate ion-water system. *NewZeal. J. Sci.* 12, pp. 54–59. **1969**.
- [48] Karat, H. İ. ve Aydın, İ., *Türkiye Curie Isısı Derinlik Haritası Raporu*, MTA Rapor No: 10638, **2004**.

EKLER

EK 1. Çalışma Alanının Jeolojik Haritası ([13], [14]'den düzenlenerek alınmıştır).



AÇIKLAMALAR

Litoloji

Kuvaterner	Qal	Alüvyon	
Pliyosen	Tpls	Bazalt	
	Ti	İç Anadolu Grubu: Orta Miyosen-Pliyosen karasal çökelleri	
SENOZOYİK	EÖSEN	Teb	Karasal çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı vb.
		Tebo	Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası vb.
		Teboa	Bazalt, bazaltik andezit ve piroklastik kayalar
		Tebod	Andezit, dasit, riyoilit, tuf
		Tebbdö	Kumtaşı, çamurtaşı, çakıltası
		Tebok	Kireçtaşı
		Teboko	Çakıltası, kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı
		Tep	Aglomera, tuf, bazalt, andezit
		Teç	Çakıltası, kumtaşı, kiltası, kireçtaşı vb.
		Teça	Kireçtaşı
Tmük	Gölsel Kireçtaşı		
PALEOZOYİK - MESOZOYİK	ÜST KRETASE	JK Ka	Artova Ofiyolitli Karışığı: Serpantinit, harzburjit, dunit, gabro, diyabaz, radyolarit, çört, kireçtaşı vb.
		Kkö	Riyolitik, riyo dasitik lav, tuf vb.
		Kög	Orta Anadolu Granotoyitleri: Granit, granodiyorit, diyorit, monzonit
		Kgg	Granotoyitik dayklar: Aplit, pegmatitik ve siyenitik dayklar
		Kdag	Aglomera Üyesi: Aglomera, tuf, volkanik elemanlı kumtaşı
		Kdb	Pelajik kireçtaşı, tuf, aglomera vb.
		Kdr	Radyolarit, çamurtaşı, mikritik kireçtaşı vb.
		Kds	Andezit, bazalt vb.
		Kg	Gabro blokları
		Kçö	Pelajik kireçtaşı, ofiyolit malzemeli kumtaşı
		Ksb	Serpantinit blokları
		Pzb	Mermer, kalkşist, yersel kuvarsit
		Pzg	Amfibolit, mermer, gnays, amfibol şist vb. bazik ve ultrabazik bloklar
		Pzk	Kuvarsit, mermer
		Pzka	Biyotitli-granatlı gnays, amfibolşist, mermer, muskovit şist vb.
Pzkam	Mermer, kalkşist		
Pzkas	Biyotitli gnays, mermer, amfibol şist vb.		
Pzö	Amfibolit, mermer, gnays, amfibolşist vb., bazik ve ultrabazik bloklar		
Pzöb	Gnays, amfibolşist (bazik, ultrabazik bloklu)		
Pzöm	Mermer		

Ek 2. Çalışma Alanından Eylül 2014'teki (1. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)								İyon denge hatası (%)	
							Ca	Mg	Na	K	(HCO ₃ +CO ₃)	SO ₄	Cl	F		Br
AKDAĞMADENİ	YSA1	Çeşme	09.09.2014	14.0	7.6	446	62.79	10.97	9.55	0.22	238.05	13.03	2.24	0.21	0.00	3.25
	YSA2	Çeşme	09.09.2014	20.8	7.7	575	85.21	16.67	18.59	1.10	267.80	69.19	2.76	0.31	0.00	3.49
	YSA3	Kuyu (Karadikmen)	09.09.2014	47.7	7.7	3357	342.60	2.08	518.31	8.69	89.27	1370.25	267.36	2.43	0.00	3.71
	YSA4	Kaynak	09.09.2014	11.8	7.6	767	117.57	17.45	24.13	1.57	374.93	49.56	16.57	0.27	0.00	-3.55
	YSA5	Kaynak	09.09.2014	27.3	7.3	3442	155.92	3.60	625.65	23.33	291.61	409.42	691.41	5.10	0.00	4.52
	YSA6	Uyuz Hamamı	09.09.2014	33.6	7.3	3241	95.46	2.83	579.73	33.55	273.76	407.80	717.74	5.66	0.79	3.99
	YSA7	Çeşme	09.09.2014	14.0	7.3	562	100.21	9.11	5.38	0.40	291.61	14.70	6.15	0.24	0.00	4.39
	YSA8	Çeşme	09.09.2014	13.3	7.3	638	120.72	14.10	6.48	0.77	398.73	9.43	4.48	0.20	0.00	3.08
	YSA9	Çeşme	10.09.2014	17.2	7.4	540	75.51	15.16	29.96	0.44	309.46	20.84	6.39	0.18	0.00	-3.12
	YSA10	Özerözü Dere	10.09.2014	15.3	7.7	1038	141.44	25.91	45.56	8.98	464.20	47.64	51.64	0.22	0.00	4.42
	YSA12	Çeşme	10.09.2014	23.5	7.9	550	91.00	9.01	12.06	0.40	291.61	11.45	2.11	0.27	0.00	3.77
	YSA-A	Yağmur	16-29.09.2014	16.0	7.5	23	7.24	0.16	0.19	0.14	21.35	1.00	0.20	0.01	0.00	3.08
SARAYKENT	YSA13	Kuyu	10.09.2014	73.6	7.2	3020	139.31	8.15	569.91	42.79	273.76	508.44	550.90	5.67	0.00	-0.60
	YSA14	Kuyu	10.09.2014	68.0	7.2	3870	142.19	7.15	607.56	47.01	244.00	555.22	590.77	5.57	0.00	4.51
	YSA15	Kuyu	10.09.2014	67.6	7.5	3690	143.11	6.90	600.57	45.73	244.00	551.90	580.55	5.65	0.00	4.13
	YSA16	Kuyu	10.09.2014	48.2	7.7	2950	179.32	8.25	458.82	29.44	249.95	631.35	374.63	4.85	0.00	4.35
	YSA17	Saray Dere	10.09.2014	19.5	7.9	1071	118.95	27.39	43.92	16.08	499.90	51.96	25.43	0.33	0.00	4.12
	YSA18	Çeşme	10.09.2014	22.1	7.4	800	128.84	18.54	33.97	4.05	398.73	81.23	10.71	0.34	0.00	4.69
	YSA-S	Yağmur	16-29.09.2014	16.0	7.8	15	4.03	0.19	0.22	0.29	15.25	0.41	0.25	0.00	0.00	-2.65

(a)

EK 2 devamı,

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme Tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)						
							Li	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₂	B
AKDAĞMADENİ	YSA1	Çeşme	09.09.2014	14.0	7.6	446	0	0	0	30.72	0	25.3	<1.0
	YSA2	Çeşme	09.09.2014	20.8	7.7	575	0	0.48	0	10.77	0	31.49	<1.0
	YSA3	Kuyu (Karadikmen)	09.09.2014	47.7	7.7	3357	0.39	1.65	0	0	0	56.51	2.73
	YSA4	Kaynak	09.09.2014	11.8	7.6	767	0	0.22	0	2.09	0	25.55	<1.0
	YSA5	Kaynak	09.09.2014	27.3	7.3	3442	0.97	1.41	0	0	0	139.07	3.05
	YSA6	Uyuz Hamamı	09.09.2014	33.6	7.3	3241	1.07	0	0	0	0	175.56	2.97
	YSA7	Çeşme	09.09.2014	14.0	7.3	562	0	0.16	0	18.28	0	21.22	<1.0
	YSA8	Çeşme	09.09.2014	13.3	7.3	638	0	0.5	0	8.51	0	28.12	<1.0
	YSA9	Çeşme	10.09.2014	17.2	7.4	540	0	0.32	0	9.21	0	33.5	<1.0
	YSA10	Özerözü Dere	10.09.2014	15.3	7.7	1038	0	1.79	8.58	13.19	0	24.09	<1.0
	YSA12	Çeşme	10.09.2014	23.5	7.9	550	0	0.21	0	19.76	0	23.99	<1.0
	YSA-A	Yağmur	16-29.09.2014	16.0	7.5	23	0	0.51	0.04	0.7	0	*	*
SARAYKENT	YSA13	Kuyu	10.09.2014	73.6	7.2	3020	0.92	1.37	0	0	0	131.52	2.37
	YSA14	Kuyu	10.09.2014	68.0	7.2	3870	0.98	2.32	0	0	0	139.32	2.74
	YSA15	Kuyu	10.09.2014	67.6	7.5	3690	0.98	0.86	0	0	0	129	3.38
	YSA16	Kuyu	10.09.2014	48.2	7.7	2950	0.72	0.64	0	0	0	98.04	1.86
	YSA17	Saray Dere	10.09.2014	19.5	7.9	1071	0.01	0.22	21.67	9.02	0.75	26.81	<1.0
	YSA18	Çeşme	10.09.2014	22.1	7.4	800	0.02	0.1	0	16.36	0	55.61	<1.0
	YSA-S	Yağmur	16-29.09.2014	16.0	7.8	15	0	0.5	0.02	0.61	0	*	*

*Analizi yapılmamıştır.

(b)

EK 2 devamı,

Alan	Örnek Kodu	Derişim (ppb)																	
		²⁷ Al	⁴⁷ Ti	⁵¹ V	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁵⁶ Fe	⁶⁵ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	⁸⁸ Sr	¹⁰⁷ Ag	¹¹¹ Cd	¹³⁷ Ba	¹⁸² W	¹⁹⁷ Au	²⁰⁸ Pb	²³² Th	²³⁸ U
AKDAĞMADENİ	YSA1	*	*	18.470	0.302	*	*	*	*	1.535	425.000	*	0.002	57.180	*	0.021	3.663	*	1.421
	YSA2	*	0.374	23.530	0.347	*	*	*	0.169	3.549	629.600	*	*	6.696	*	0.028	3.688	*	4.112
	YSA3	87.100	0.804	59.470	1.469	28.40	109.800	*	1.404	42.250	807.500	*	0.016	109.700	27.860	0.007	7.117	0.008	*
	YSA4	*	0.168	18.040	0.455	*	*	*	*	3.414	615.700	*	*	45.600	0.090	0.056	2.392	*	3.834
	YSA5	83.160	1.516	80.540	1.705	0.428	5.933	*	2.014	27.640	380.900	0.029	0.021	108.500	173.500	0.063	7.670	0.013	*
	YSA6	83.940	1.977	84.430	2.134	29.260	*	*	2.977	35.540	279.200	0.016	0.012	113.200	198.500	0.042	9.018	0.012	*
	YSA7	*	0.149	11.980	1.161	*	*	*	1.074	2.922	429.200	*	*	80.640	0.205	0.021	2.454	*	2.398
	YSA8	*	*	7.122	0.185	*	*	*	*	0.907	360.000	*	*	24.830	0.112	0.028	2.603	*	3.773
	YSA9	*	0.422	15.540	0.176	*	*	*	*	0.748	427.000	*	*	3.274	*	0.014	2.577	*	1.247
	YSA10	85.760	0.952	79.930	1.829	1.989	*	*	3.593	20.650	125.600	0.002	0.022	145.000	*	0.062	7.499	0.013	1.072
	YSA12	*	*	18.170	0.272	*	*	*	*	3.885	433.400	*	0.003	55.710	*	0.007	2.663	*	2.175
	SARAYKENT	YSA13	84.250	1.395	90.790	1.865	109.600	70.900	*	1.438	29.270	533.000	0.006	0.016	114.500	194.300	0.021	8.193	0.013
YSA14		86.310	1.512	89.280	1.988	85.250	*	39.850	109.800	28.970	526.900	0.021	1.178	116.000	209.100	0.050	9.348	0.014	*
YSA15		84.930	1.277	85.090	1.751	79.880	*	21.710	78.030	29.640	521.500	0.011	0.378	114.600	208.500	0.042	8.078	0.012	*
YSA16		84.150	1.093	78.180	1.733	16.450	*	*	1.735	23.630	1215.000	0.009	0.027	113.500	145.800	0.064	6.584	0.010	*
YSA17		85.230	0.769	80.640	1.815	0.939	*	*	2.040	25.100	252.400	0.031	0.013	126.000	0.765	0.036	7.026	0.010	1.465
YSA18		*	1.051	19.760	0.149	*	*	*	5.316	5.800	1689.000	*	0.029	25.620	0.350	0.066	1.983	*	69.310

*Belirlenme limitlerinin altındadır.

(c)

EK 3. Çalışma Alanından Mart 2015'teki (2. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme Tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)									İyon denge hatası (%)
							Ca	Mg	Na	K	(HCO ₃ +CO ₃)	SO ₄	Cl	F	Br	
AKDAĞMADENİ	YSA1	Çeşme	04.03.2015	11.1	7.8	406	75.04	10.29	9.89	0.35	244.00	13.50	2.59	0.25	0.00	1.33
	YSA2	Çeşme	04.03.2015	11.7	7.9	501	79.90	15.25	15.88	0.71	280.60	52.37	2.07	0.36	0.00	0.56
	YSA3	Kuyu (Karadikmen)	04.03.2015	47.7	7.7	3335	359.14	2.35	523.79	10.59	109.80	1382.52	269.91	2.69	0.60	3.63
	YSA6	Uyuz Hamamı	04.03.2015	26.0	7.3	3177	153.24	4.38	572.59	34.34	286.70	334.08	684.74	6.15	0.87	4.06
	YSA7	Çeşme	04.03.2015	9.2	7.5	581	109.88	11.48	5.56	0.44	335.50	20.08	5.37	0.26	0.00	3.09
	YSA8	Çeşme	04.03.2015	9.6	7.6	700	120.08	15.26	6.36	0.69	396.50	17.46	5.63	0.24	0.00	2.78
	YSA9	Çeşme	04.03.2015	8.2	8.1	500	61.65	12.45	26.15	0.32	256.20	15.23	5.00	0.20	0.02	4.14
	YSA10	Özerözü Dere	04.03.2015	6.2	7.9	661	110.00	13.62	17.15	4.10	347.70	36.24	17.13	0.25	0.00	3.68
	YSA12	Çeşme	03.03.2015	7.8	7.1	509	89.39	10.09	11.14	0.16	274.50	14.07	2.97	0.25	0.02	2.42
	YSA20	Çeşme	04.03.2015	8.2	7.7	649	140.21	9.91	2.56	0.89	427.00	11.31	2.26	0.16	0.05	3.90
	YSA21	Çeşme	04.03.2015	17.6	7.9	1100	76.76	2.17	160.45	2.08	201.30	269.49	51.75	1.20	0.13	2.02
YSA-A	Yağmur	11.10.2014-19.10.2014	10.0	7.1	42	9.59	0.26	0.15	0.13	21.35	6.66	0.19	0.08	0.00	1.36	
SARAYKENT	YSA13	Kuyu	03.03.2015	71.6	6.7	3117	139.78	8.88	570.05	44.47	274.50	512.48	538.68	6.01	0.74	4.80
	YSA14	Kuyu	03.03.2015	54.9	7.0	3185	143.03	9.03	588.66	45.58	280.60	530.65	558.59	6.27	0.81	4.56
	YSA15	Kuyu	03.03.2015	76.2	6.7	3208	141.89	8.74	605.63	46.62	262.30	544.83	575.16	6.16	0.96	4.84
	YSA16	Kuyu	03.03.2015	51.3	7.2	2892	188.62	10.15	461.34	30.48	292.80	612.41	375.67	5.17	0.65	4.66
	YSA17	Saray Dere	03.03.2015	8.8	8.0	793	99.02	23.60	39.30	9.25	396.50	55.91	18.99	0.42	0.05	3.25
	YSA18	Çeşme	03.03.2015	8.7	7.6	682	115.01	16.61	19.57	3.81	347.70	71.37	6.69	0.44	0.09	3.22
	YSA19	Kaynak (Sarısü)	03.03.2015	9.8	7.5	995	143.85	50.46	27.74	1.40	366.00	301.71	6.12	0.45	0.05	0.37
	YSA-S	Yağmur	17.10.2014-20.11.2014	8.0	7.8	22	5.10	0.14	0.13	0.10	12.20	2.34	0.14	0.06	0.00	-1.62

(a)

EK 3 devamı,

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme Tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)						
							Li	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₂	B
AKDAĞMADENİ	YSA1	Çeşme	04.03.2015	11.1	7.8	406	0.00	0.00	0.00	32.93	0.00	22.43	<1
	YSA2	Çeşme	04.03.2015	11.7	7.9	501	0.00	0.00	0.00	7.18	0.00	20.97	<1
	YSA3	Kuyu (Karadikmen)	04.03.2015	47.7	7.7	3335	0.40	0.00	0.00	0.14	0.00	47.37	1.47
	YSA6	Uyuz Hamamı	04.03.2015	26.0	7.3	3177	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	148.62	2.19
	YSA7	Çeşme	04.03.2015	9.2	7.5	581	0.00	0.00	0.00	12.20	0.00	17.84	<1
	YSA8	Çeşme	04.03.2015	9.6	7.6	700	0.00	0.00	0.00	6.11	0.00	22.00	<1
	YSA9	Çeşme	04.03.2015	8.2	8.1	500	0.00	0.00	0.00	9.96	0.00	26.49	<1
	YSA10	Özerözü Dere	04.03.2015	6.2	7.9	661	0.00	2.88	1.34	5.33	0.40	16.21	<1
	YSA12	Çeşme	03.03.2015	7.8	7.1	509	0.00	0.08	0.00	38.53	0.00	18.68	<1
	YSA20	Çeşme	04.03.2015	8.2	7.7	649	0.00	0.30	0.00	3.52	0.00	12.01	<1
	YSA21	Çeşme	04.03.2015	17.6	7.9	1100	0.09	0.00	0.00	11.39	0.00	30.00	<1
YSA-A	Yağmur	11.10.2014-19.10.2014	10.0	7.1	42	0.00	0.25	0.00	0.70	0.00	**	**	
SARAYKENT	YSA13	Kuyu	03.03.2015	71.6	6.7	3117	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	134.06	1.16
	YSA14	Kuyu	03.03.2015	54.9	7.0	3185	0.98	0.00	0.00	0.40	0.44	132.02	1.88
	YSA15	Kuyu	03.03.2015	76.2	6.7	3208	0.98	0.00	0.00	0.25	0.00	138.14	2.38
	YSA16	Kuyu	03.03.2015	51.3	7.2	2892	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	109.54	<1
	YSA17	Saray Dere	03.03.2015	8.8	8.0	793	0.00	4.37	3.47	10.90	0.85	25.75	<1
	YSA18	Çeşme	03.03.2015	8.7	7.6	682	0.00	0.38	0.00	10.69	0.00	22.94	<1
	YSA19	Kaynak (Sarısu)	03.03.2015	9.8	7.5	995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.45	<1
	YSA-S	Yağmur	17.10.2014-20.11.2014	8.0	7.8	22	0.00	0.24	0.00	2.56	0.00	**	**

(b)

EK 3 devamı,

ALAN	Örnek Kodu	Derişim (ppb)														
		²⁷ Al	⁵¹ V	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁵⁴ Fe	⁶⁵ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	⁸⁸ Sr	¹¹¹ Cd	¹³⁷ Ba	¹⁸² W	¹⁹⁷ Au	²⁰⁸ Pb	²³⁸ U
AKDAĞMADENİ	YSA1	80.220	12.020	0.324	*	*	*	*	*	546.700	0.059	86.760	*	*	16.760	0.953
	YSA2	51.860	19.780	0.661	*	*	*	*	2.536	701.700	*	8.921	*	*	17.620	2.428
	YSA3	614.800	17.250	6.932	139.300	329.500	*	*	142.100	4834.000	0.421	569.700	137.300	*	116.200	*
	YSA6	591.200	20.910	8.405	142.900	*	*	*	82.110	1683.000	0.416	608.200	1031.000	*	119.800	*
	YSA7	42.210	4.877	1.856	*	*	*	*	*	550.200	*	109.100	*	*	16.530	1.845
	YSA8	39.450	3.500	1.009	*	*	*	*	*	449.500	*	38.160	*	0.117	16.190	2.963
	YSA9	42.070	12.480	*	*	*	*	*	*	411.300	*	15.970	*	0.131	11.410	1.135
	YSA10	57.870	2.419	0.366	20.190	*	*	4.295	2.394	441.300	0.081	124.400	*	*	21.560	3.533
	YSA12	40.320	8.655	0.746	*	*	*	*	1.071	574.500	*	81.070	*	*	14.230	1.629
	YSA20	38.550	0.303	0.688	*	*	*	*	*	490.300	*	69.160	*	*	15.070	1.296
	YSA21	47.720	12.650	0.992	*	*	*	*	104.200	1131.000	*	10.900	70.420	*	18.100	0.217
SARAYKENT	YSA13	605.500	21.950	5.731	557.400	827.000	*	*	54.730	3306.000	*	631.600	992.400	1.017	109.100	*
	YSA14	616.700	23.370	10.260	486.800	125.600	129.300	476.600	37.640	3277.000	2.820	645.700	1084.000	*	165.200	*
	YSA15	597.300	22.960	7.960	473.700	607.100	*	*	67.420	3316.000	*	662.800	1123.000	*	111.500	*
	YSA16	610.500	20.290	14.940	238.100	783.500	*	*	18.800	7508.000	*	637.300	760.200	*	158.600	*
	YSA17	40.720	11.020	1.730	1.537	*	*	*	2.327	1445.000	*	166.600	*	*	21.880	5.430
	YSA18	37.280	2.479	0.963	9.964	*	*	90.680	3.596	1220.000	0.188	58.010	*	0.365	17.840	43.450
	YSA19	75.320	0.385	1.316	99.890	252.700	*	*	*	1699.000	0.064	40.980	*	*	19.750	4.345

*Belirlenme limitlerinin altındadır.

(c)

EK 4. Çalışma Alanında Ağustos 2015'teki (3. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme Tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)									İyon denge hatası
							Ca	Mg	Na	K	(HCO ₃ +CO ₃)	SO ₄	Cl	F	Br	
AKDAĞMADENİ	YSA1	Çeşme	24.08.2015	14.1	7.4	415	75.18	10.33	10.44	0.30	244.00	13.97	2.61	0.27	0.01	2.35
	YSA2	Çeşme	24.08.2015	17.2	7.4	618	104.51	21.03	21.65	0.79	307.90	128.05	2.57	0.36	0.02	-0.22
	YSA3	Kuyu (Karadikmen)	24.08.2015	47.5	7.5	3160	343.63	2.33	525.03	8.59	98.76	1448.91	272.93	2.87	0.34	1.02
	YSA6	Uyuz Hamamı	24.08.2015	31.7	6.9	3035	142.84	3.98	585.90	37.88	267.24	355.71	687.29	6.52	0.77	4.03
	YSA7	Çeşme	24.08.2015	13.4	7.2	570	102.14	11.06	5.40	0.26	325.33	15.07	4.74	0.21	0.00	2.36
	YSA8	Çeşme	24.08.2015	11.6	7.2	600	117.58	15.37	8.85	0.70	395.05	10.81	4.80	0.19	0.00	3.99
	YSA9	Çeşme	24.08.2015	15.9	7.5	490	70.24	14.38	30.32	0.13	290.48	19.05	6.79	0.20	0.01	4.07
	YSA10	Özerözü Dere	24.08.2015	17.1	7.6	780	113.51	19.60	25.34	7.28	435.71	57.34	20.16	0.27	0.00	0.16
	YSA12	Çeşme	25.08.2015	17.2	7.1	525	98.89	11.60	12.30	0.20	302.09	14.70	2.87	0.27	0.01	3.01
	YSA20	Çeşme	24.08.2015	15.6	7.0	600	123.16	8.45	2.29	0.59	406.67	7.83	2.11	0.07	0.00	0.16
	YSA22	Çeşme	24.08.2015	14.4	7.2	525	104.48	11.50	4.45	0.85	342.76	6.82	2.39	0.20	0.00	3.48
YSA-A	Yağmur	04.03.2015-23.08.2015	13.5	7.9	96	18.18	0.56	0.85	0.50	46.48	12.25	0.90	0.21	0.00	-2.72	
SARAYKENT	YSA13	Kuyu	25.08.2015	67	6.8	2976	135.19	9.08	588.45	45.42	267.24	556.10	567.78	6.53	0.71	3.10
	YSA14	Kuyu	25.08.2015	69.4	6.7	3132	146.32	8.58	593.32	48.49	249.81	589.41	611.07	6.46	0.80	1.82
	YSA15	Kuyu	25.08.2015	65.6	6.7	3145	154.54	8.36	613.12	48.35	244.00	603.55	621.74	6.48	0.88	2.83
	YSA16	Kuyu	25.08.2015	49.8	7.2	2697	190.82	10.26	477.90	31.31	267.24	654.20	398.70	5.61	0.44	4.08
	YSA17	Saray Dere	25.08.2015	18.1	7.4	910	106.57	30.11	46.55	13.33	493.81	65.39	26.18	0.56	0.04	4.15
	YSA18	Çeşme	25.08.2015	21.8	6.9	755	128.60	18.54	35.41	4.32	406.67	87.71	12.10	0.45	0.09	2.87
	YSA19	Kaynak (Sarısü)	23.08.2015	27.6	7.3	1275	194.13	83.06	33.58	3.22	441.52	535.62	7.02	0.50	0.06	-1.35
	YSA-S	Yağmur	11.03.2015-03.05.2015	8.0	8.2	45	7.46	0.69	0.43	0.28	17.43	2.13	0.45	0.01	0.00	5.64

(a)

EK 4 devamı,

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme Tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)						
							Li	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₂	B
AKDAĞMADENİ	YSA1	Çeşme	24.08.2015	14.1	7.4	415	0.00	0.19	0.00	28.64	0.00	24.92	≤1
	YSA2	Çeşme	24.08.2015	17.2	7.4	618	0.00	0.09	0.00	8.84	0.00	30.61	≤1
	YSA3	Kuyu (Karadikmen)	24.08.2015	47.5	7.5	3160	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	41.04	3.152
	YSA6	Uyuz Hamamı	24.08.2015	31.7	6.9	3035	1.10	1.70	0.00	0.00	0.00	178.32	3.679
	YSA7	Çeşme	24.08.2015	13.4	7.2	570	0.00	0.24	0.00	11.26	0.00	22.11	≤1
	YSA8	Çeşme	24.08.2015	11.6	7.2	600	0.00	0.18	0.00	7.39	0.00	25.44	≤1
	YSA9	Çeşme	24.08.2015	15.9	7.5	490	0.00	0.00	0.00	11.13	0.00	31.87	≤1
	YSA10	Özerözü Dere	24.08.2015	17.1	7.6	780	0.01	10.25	3.57	3.49	1.68	22.34	≤1
	YSA12	Çeşme	25.08.2015	17.2	7.1	525	0.00	0.36	0.00	44.53	0.00	22.17	≤1
	YSA20	Çeşme	24.08.2015	15.6	7.0	600	0.00	0.35	0.00	3.76	0.00	12.75	≤1
	YSA22	Çeşme	24.08.2015	14.4	7.2	525	0.00	0.21	0.00	7.32	0.00	23.43	≤1
	YSA-A	Yağmur	04.03.2015-23.08.2015	13.5	7.9	96	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.17	≤1
SARAYKENT	YSA13	Kuyu	25.08.2015	67	6.8	2976	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	97.01	3.523
	YSA14	Kuyu	25.08.2015	69.4	6.7	3132	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	92.99	3.484
	YSA15	Kuyu	25.08.2015	65.6	6.7	3145	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	103.33	3.66
	YSA16	Kuyu	25.08.2015	49.8	7.2	2697	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	75.75	≤1
	YSA17	Saray Dere	25.08.2015	18.1	7.4	910	0.01	18.79	0.22	0.00	2.66	25.96	≤1
	YSA18	Çeşme	25.08.2015	21.8	6.9	755	0.02	0.65	0.00	14.66	0.00	45.72	≤1
	YSA19	Kaynak (Sarısu)	23.08.2015	27.6	7.3	1275	0.01	1.02	0.00	0.04	0.00	35.03	1.49
	YSA-S	Yağmur	11.03.2015-03.05.2015	8.0	8.2	45	0.00	0.02	1.54	1.91	0.00	≤0.5	≤1

(b)

EK 4 devamı,

ALAN	Örnek Kodu	Derişim (ppb)												
		²⁷ Al	⁵¹ V	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁵⁴ Fe	⁶⁵ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	⁸⁸ Sr	¹³⁷ Ba	¹⁸² W	²⁰⁸ Pb	²³⁸ U
AKDAĞMADENİ	YSA1	52.820	4.722	1.940	*	80.360	*	*	*	614.100	99.170	*	19.050	1.313
	YSA2	21.230	11.350	2.399	*	76.030	*	*	*	1066.000	17.200	*	23.010	4.774
	YSA3	495.000	*	8.762	150.000	1218.000	*	*	141.800	5848.000	1686.000	99.270	128.500	*
	YSA6	458.700	*	12.120	158.300	455.400	*	*	69.830	2001.000	1733.000	717.100	170.000	*
	YSA7	12.940	*	2.088	*	82.980	*	*	*	688.500	158.500	*	16.740	2.585
	YSA8	11.530	*	1.028	0.071	84.230	*	*	*	565.300	48.120	*	12.170	4.538
	YSA9	12.310	5.815	2.601	0.270	87.570	*	*	*	610.000	9.106	*	23.430	1.244
	YSA10	13.080	*	2.347	44.120	132.300	*	1.145	*	813.000	240.900	*	23.410	3.549
	YSA12	11.610	2.329	1.366	0.315	86.170	*	*	*	806.200	127.400	*	17.010	2.400
	YSA20	8.869	*	2.312	2.069	82.400	*	*	*	796.900	107.500	*	19.990	2.836
YSA22	9.657	*	1.549	0.130	82.950	*	*	*	523.500	16.940	*	17.870	2.669	
SARAYKENT	YSA13	440.300	*	11.760	628.100	2586.000	*	9.775	49.920	4196.000	1829.000	743.600	159.600	*
	YSA14	438.200	*	17.320	520.000	1045.000	14.040	16.940	51.970	4246.000	1892.000	785.000	186.800	*
	YSA15	444.900	*	24.930	473.200	824.200	*	11.720	41.080	4346.000	1923.000	822.900	254.000	*
	YSA16	421.800	*	14.360	237.700	1265.000	21.610	6.798	14.460	10360.000	2027.000	594.300	174.000	*
	YSA17	15.440	*	2.123	122.700	124.000	*	*	*	2491.000	211.100	*	20.470	7.956
	YSA18	9.447	*	2.233	0.188	77.050	*	18.170	*	3072.000	65.820	*	25.230	73.580
	YSA19	9.675	*	3.134	7.971	124.000	*	*	*	1795.000	201.100	*	28.940	11.200

*Belirlenme limitlerinin altındadır.

(c)

EK 5. Çalışma Alanında Şubat 2016'daki (4. Dönem) Su Örneklerinin Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz Sonuçları (a, b, c).

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme Tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)								İyon denge hatası (%)
							Ca	Mg	Na	K	(HCO ₃ +CO ₃)	SO ₄	Cl	F	
SARAYKENT	YSA24	Çeşme	15.02.2016	14.5	7.8	489	54.88	24.14	32.12	0.57	329.4	7.27	2.73	0.23	3.33
	YSA25	Çeşme	15.02.2016	14.6	7.1	561	81.88	22.54	21.2	1.03	347.7	26.56	3.27	0.22	3.57
	YSA26	Çeşme	15.02.2016	6.5	8.2	676	42.07	47.62	56	0.9	402.2	12.42	2.89	0.6	3.39
	YSA27	Çeşme	15.02.2016	12.2	7.3	984	131.3	49.39	24.97	3.8	451.4	72.54	27.27	0.23	4.00
	YSA28	Çeşme	15.02.2016	6.7	8.1	442	55.31	18.82	22.16	0.63	268.4	14.15	3.2	0.25	2.80
	YSA29	Çekerek Nehri	15.02.2016	8.9	8.2	532	65.31	27.44	21.37	2.17	268.0	43.93	9.37	0.2	3.20
	YSA30	Çeşme	15.02.2016	7.6	8.2	1103	49.12	41.15	188.23	0.35	390.4	205.84	32.94	2.87	3.90
AKDAĞMADENİ	K2	Kar	16.02.2016	0.0	7.1	24	3.41	0.2	0.4	0.4	15.25	0.62	0.56	0.01	2.37

(a)

Alan	Örnek Kodu	Açıklama	Örnekleme Tarihi	t (°C)	pH	Eİ (µS/cm, 25 °C)	Derişim (ppm)							
							Br	Li	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₂	B
SARAYKENT	YSA24	Çeşme	15.02.2016	14.5	7.8	489	0.00	0.00	0.00	0.00	6.27	0.00	19.50	<1
	YSA25	Çeşme	15.02.2016	14.6	7.1	561	0.00	0.00	0.00	0.00	3.47	0.00	20.40	<1
	YSA26	Çeşme	15.02.2016	6.5	8.2	676	0.00	0.00	0.00	0.00	34.03	0.00	21.08	<1
	YSA27	Çeşme	15.02.2016	12.2	7.3	984	0.00	0.00	0.00	0.00	74.35	0.00	18.77	<1
	YSA28	Çeşme	15.02.2016	6.7	8.1	442	0.00	0.00	0.00	0.00	12.53	0.00	23.05	<1
	YSA29	Çekerek Nehri	15.02.2016	8.9	8.2	532	0.00	0.00	0.00	0.06	6.65	0.00	17.30	<1
	YSA30	Çeşme	15.02.2016	7.6	8.2	1103	0.12	0.08	0.00	0.00	26.33	0.00	9.25	<1
AKDAĞMADENİ	K2	Kar	16.02.2016	0	7.1	24	0.00	0.00	1.48	0.00	0.25	0.00	<0.5	<1

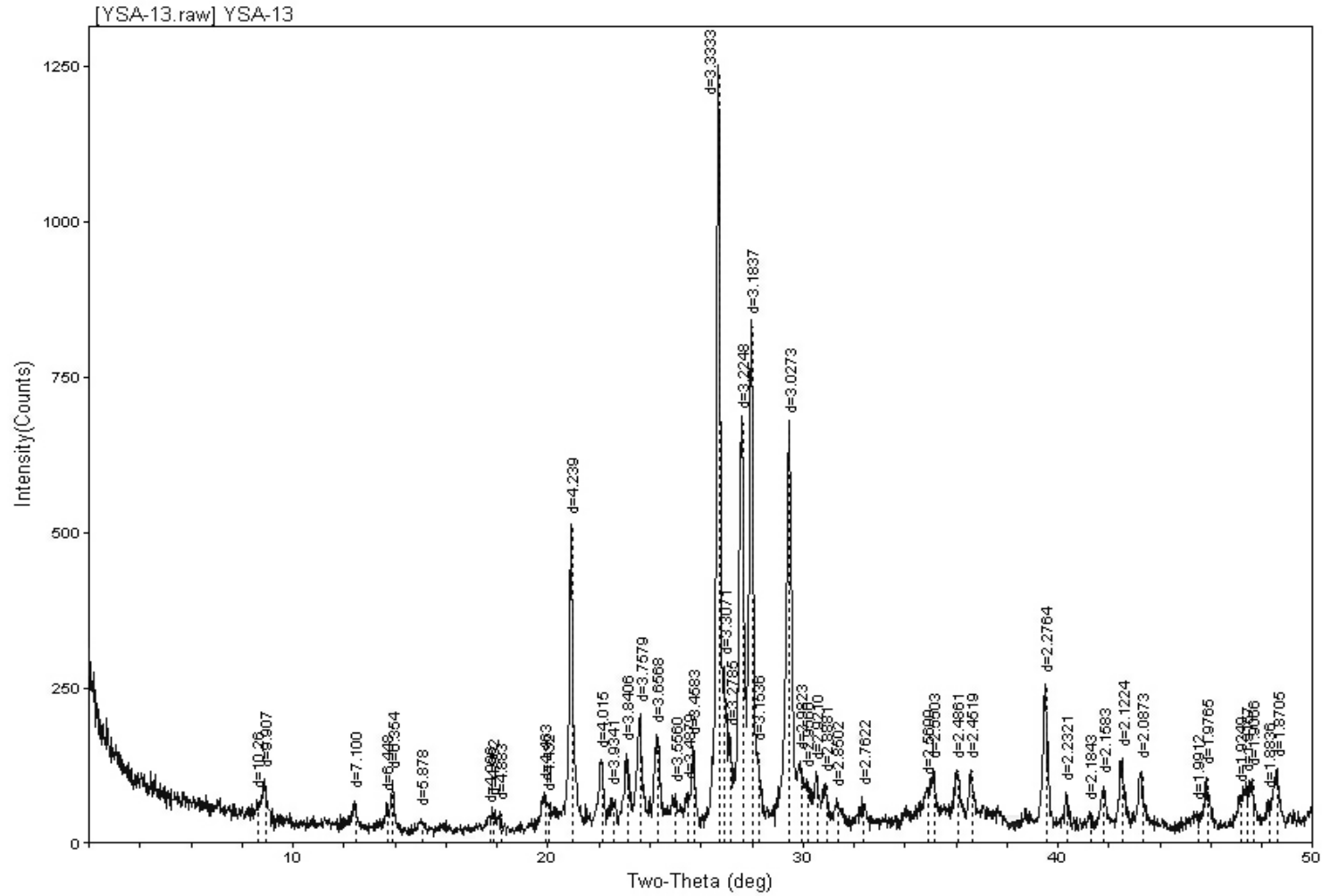
(b)

EK 5 devamı,

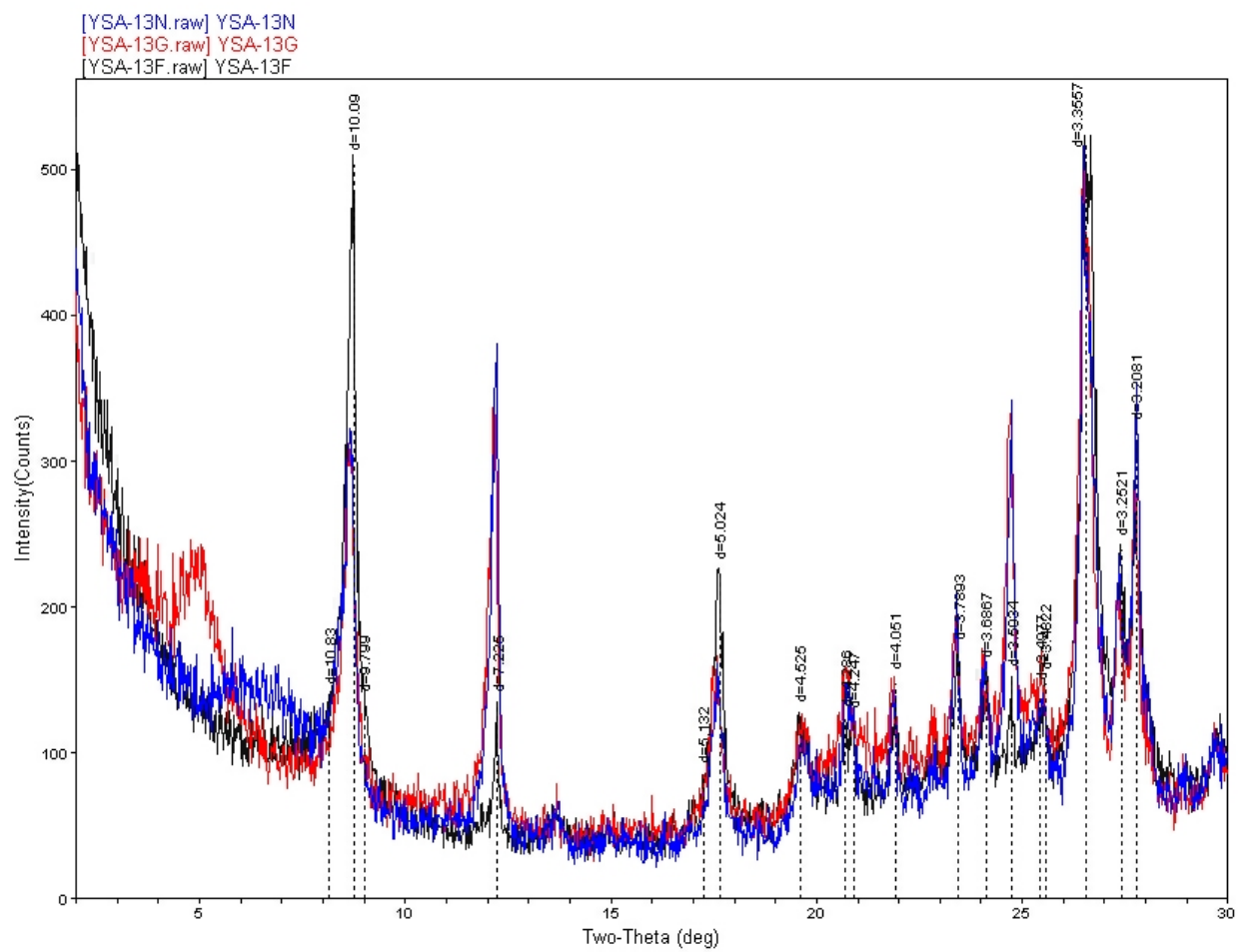
ALAN	Örnek Kodu	Derişim, ppb														
		²⁷ Al	⁵¹ V	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁵⁷ Fe	⁶⁵ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	⁸⁸ Sr	¹¹¹ Cd	¹³⁷ Ba	¹⁹⁷ Au	²⁰⁸ Pb	²³² Th	²³⁸ U
SARAYKENT	YSA24	41.540	8.036	1.523	0.080	167.800	*	6.813	0.350	652.600	0.297	4.947	0.007	5.440	*	0.857
	YSA25	33.650	5.621	1.178	0.144	237.200	*	7.812	0.855	565.800	0.320	5.693	*	3.891	*	1.814
	YSA26	32.020	33.730	2.000	0.314	117.950	*	6.854	0.314	1495.000	0.183	86.320	0.003	5.965	*	5.436
	YSA27	40.680	2.494	1.623	0.088	342.700	*	8.198	0.826	2060.000	0.373	250.000	0.009	5.485	0.001	10.810
	YSA28	35.990	79.260	1.657	0.221	136.250	*	10.770	1.494	189.500	0.174	1.878	*	6.660	*	0.536
	YSA29	1992.000	12.170	17.210	77.120	550.000	0.902	15.240	3.000	570.700	0.312	73.740	0.004	12.155	0.159	1.882
	YSA30	37.840	7.172	30.220	0.134	95.000	*	7.788	2.055	2094.000	0.191	43.130	0.005	11.105	*	5.904
Akdağmadeni	K2	247.400	0.646	5.755	14.720	67.150	*	22.410	*	13.860	0.142	11.530	0.006	15.475	0.040	*

(c)

EK 6. YSA13 Kodlu Kabuklaşma Örneğinin XRD Grafikleri (a, b).

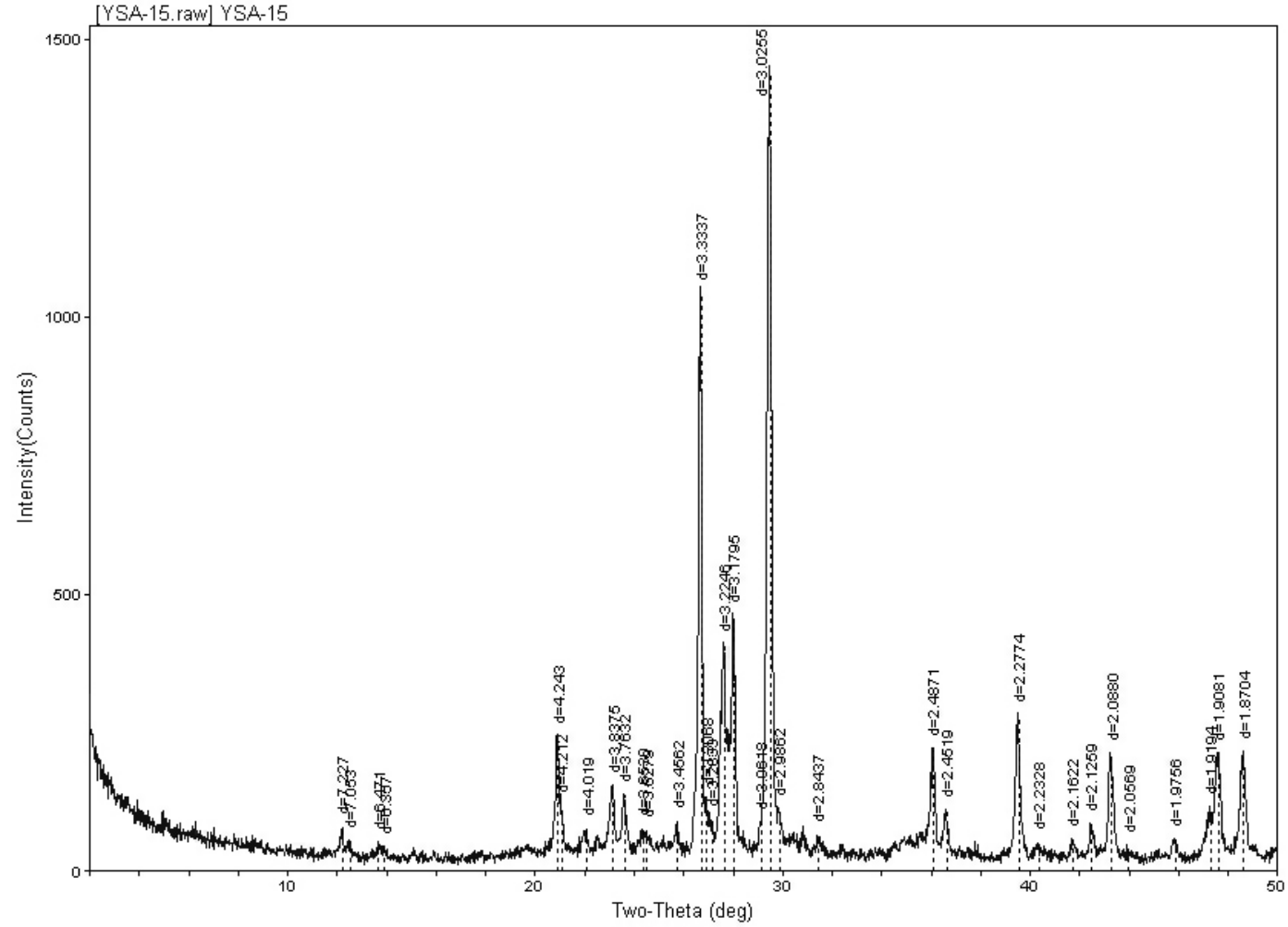


(a)

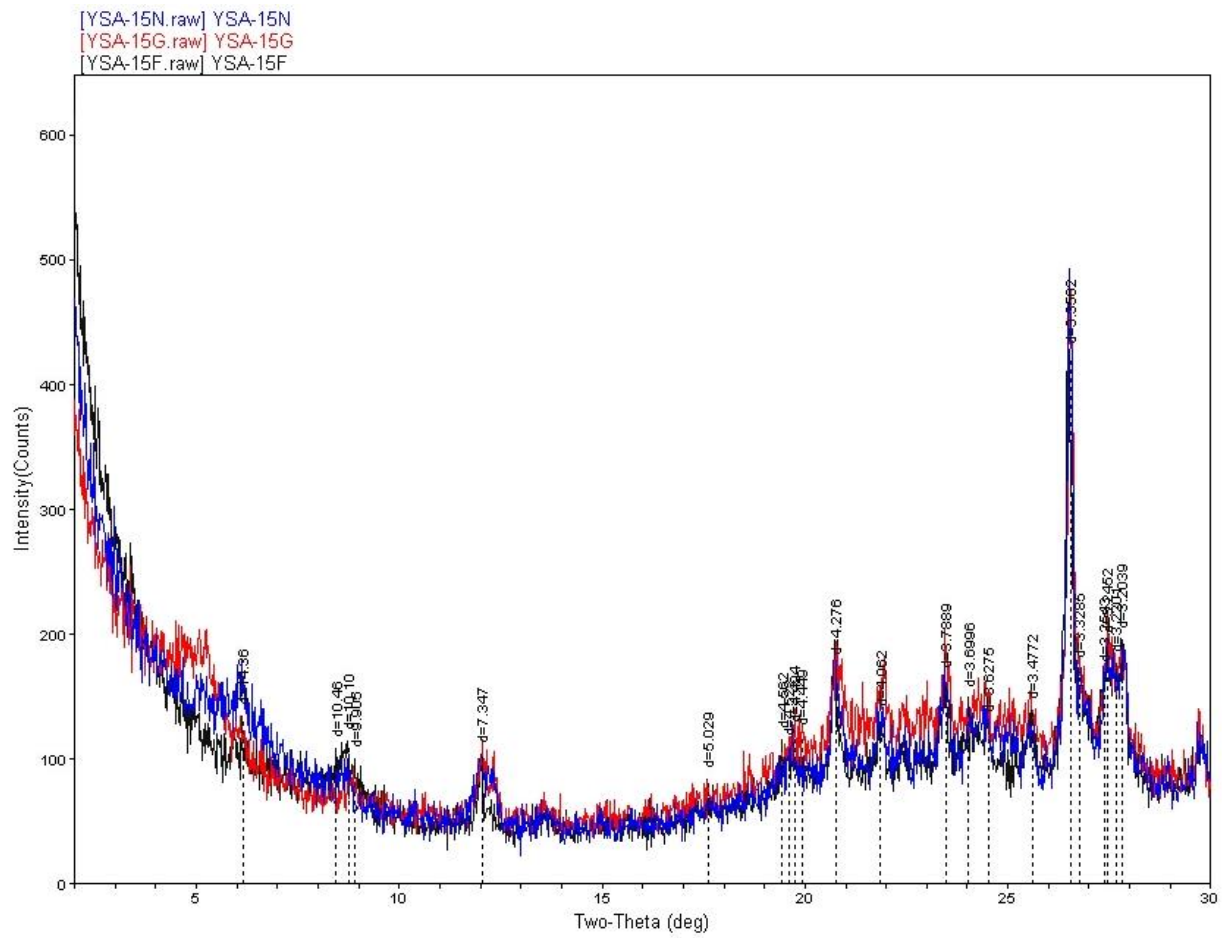


(b)

EK 7. YSA15 Kodlu Kabuklaşma Örneğinin XRD Grafikleri (a, b).

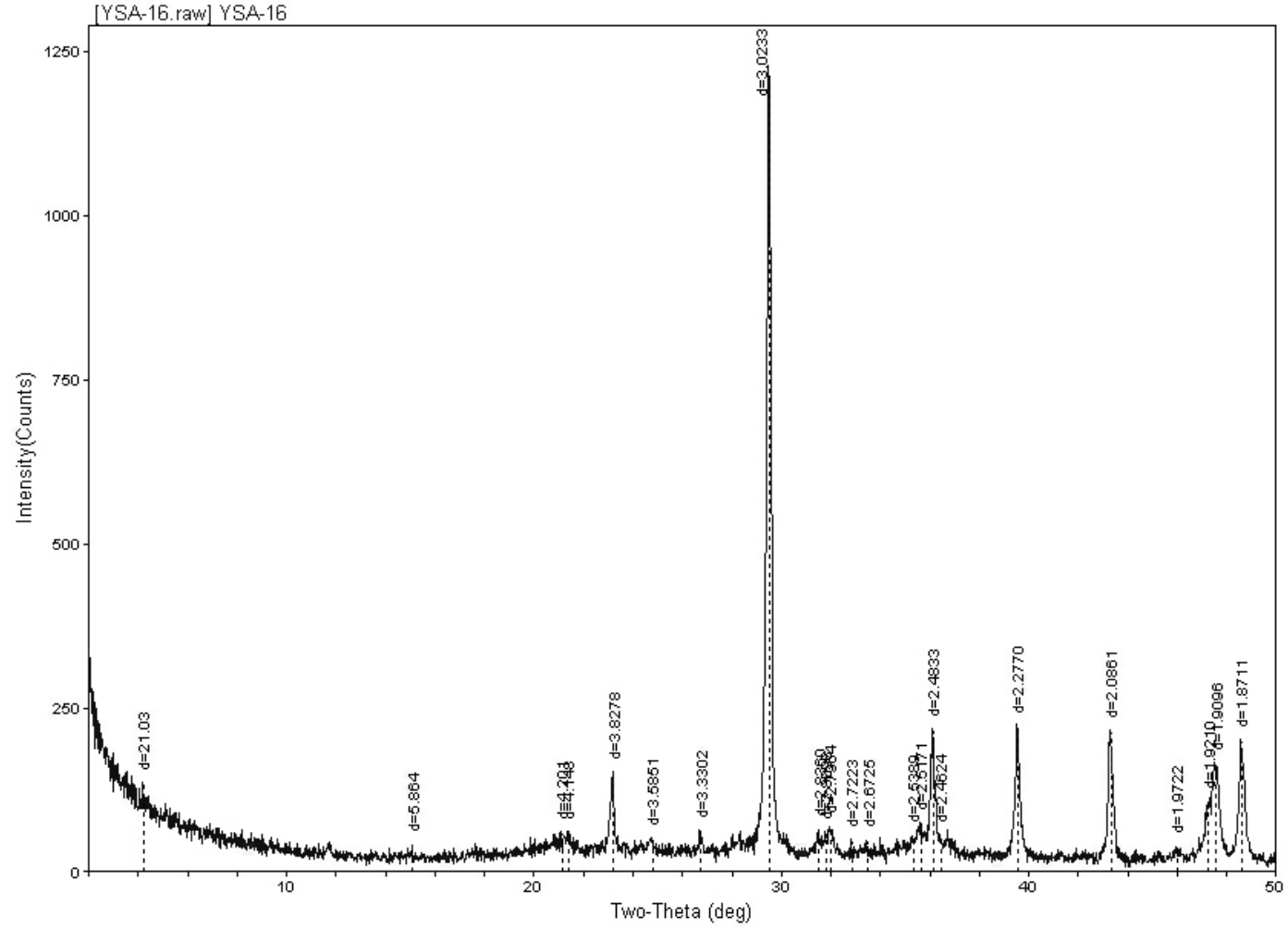


(a)



(b)

EK 8. YSA16 Kodlu Kabuklaşma Örneğinin XRD Grafiği.



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı :Sevim ÖZULUKALE
Doğum Yeri :Palu/ELAZIĞ
Medeni Hali :Bekar
E-posta :hidrojeologsevim@hotmail.com, sevimoszulukale@hacettepe.edu.tr
Adresi :Hacettepe Üniversitesi, Asistan 1 Blokları, Beytepe Kampüsü/ANKARA.

Eğitim

Lisans :2002-2006 Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (Bölüm 2. si)
2006-2011 Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü
Yüksek Lisans :2007-2010 Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, Uygulamalı Jeoloji
ABD
Doktora :2011-2017 Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği
ABD

Yabancı Dil ve Düzeyi: 73,75/100 ÜDS-ÖSYM (2010), İyi

İş Deneyimi: 2008-2008 Mühendis, Yapısan Elektrik Üretim A.Ş., Ordu
2008-2011 Araştırma Görevlisi Bozok Üniversitesi, Yozgat
2011-2017 Araştırma Görevlisi Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Deneyim Alanları: Hidrojeokimya, Su kalitesi, Hidrojeoloji, İzotop Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi:

Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜ BAP) tarafından desteklenen “Saraykent ve Akdağmadeni (Yozgat) Sıcak ve Mineralli Sularının

Kökeninin Belirlenmesine Yönelik Hidrojeokimyasal ve İzotopik Ölçüm ve Değerlendirme Çalışması” konulu BAP ID: 726 ve 014 D09 602 007 nolu destek projesi ve bütçesi 7.629,74 TL’dir.

Tezden Üretilmiş Yayınlar:

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar:

- 1) Özulukale, S., Şimşek, Ş., 2015. Saraykent (Yozgat) Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi (Hydrogeochemical Assessment of Saraykent (Yozgat) Geothermal Waters), MÜHJEO’2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 513-520 s., 3-5 Eylül 2015, KTÜ, Trabzon.
- 2) Özulukale, S., Şimşek, Ş., 2015. Akdağmadeni (Yozgat) Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi (Hydrogeochemical Assessment of Akdagmadeni (Yozgat) Geothermal Waters), III. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi. Sempozyum Bildiriler Kitabı, 127-138 s., 4-6 Kasım 2015, Ankara.
- 3) Özulukale, S., Şimşek, Ş., 2016. Hydrogeochemical and Environmental Isotopic Survey in Saraykent (Yozgat) Geothermal Area, Central Anatolia, Turkey, European Geothermal Congress (EGC) Proceeding, 19-24 September 2016, Strasbourg, France



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih:09/02/2017

Tez Başlığı / Konusu: Saraykent ve Akdağmadeni (Yozgat) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç ve e)Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 113 sayfalık kısmına ilişkin, 09/02/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimededen daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza
09/02/2017

Adı Soyadı: Sevim ÖZULUKALE

Öğrenci No: N10248275

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK

(Unvan, Ad Soyad, İmza)