

Araştırma Makalesi / Research Article

Afyonkarahisar-Sandıklı Hüdai Jeotermal Sahası Hidrojeokimyasal Analiz Sonuçlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Değerlendirilmesi

Kerem Hepdeniz¹, Selma Demer², Ümit Memiş²

¹Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bucak, Burdur.

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.

e-posta: selmademer@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 14.01.2016 ; Kabul Tarihi: 12.08.2017

Özet

Anahtar kelimeler
Coğrafi Bilgi Sistemleri;
Jeotermal; Sandıklı-
Hüdai;
Hidrojeokimyasal
Analiz; Mekansal
Dağılım; Ters Ağırlıklı
Derecelendirme

Sandıklı-Hüdai jeotermal sahası Afyonkarahisar ilindeki jeotermal sahalardan biridir. Sandıklı-Hüdai jeotermal sisteminde rezervuar kayacı kuvarsit ve kireçtaşları, ısı kaynağını ise Miyosen yaşlı Sandıklı volkanizması oluşturmaktadır. Yeraltısuyu örneklerinin hidrojeokimyasal analiz verilerinde görülen yüksek değerler, bu suların jeotermal sistem tarafından ısıtıldığını ve/veya jeotermal su karıştığını işaret etmektedir. Sandıklı-Hüdai jeotermal sahasına ait hidrojeokimyasal analiz sonuçları ArcGIS 10 programı kullanılarak veri tabanına işlenmiştir. Elde edilen T, pH, EC, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ değerlerinin havza içerisindeki dağılımları IDW interpolasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Hüdai jeotermal alanında bulunan jeotermal sular elde edilen T, SO₄, Cl, Ca ve Mg tematik haritalarına göre genel olarak kuzeydoğuya doğru artış gösterirken, EC, Na, K ve HCO₃ tematik haritalarına göre çalışma alanı orta kesiminde daha yüksek değerler vermiştir.

Evaluation of Hydrogeochemical Analysis Results of Afyonkarahisar-Sandıklı Hüdai Geothermal Field with Geographical Information Systems (GIS)

Abstract

Keywords
Geographical
Information Systems;
Geothermal; Sandıklı-
Hüdai;
Hydrogeochemical
Analysis; Spatial
Distribution; Inverse
Distance Weighting

Sandıklı-Hüdai geothermal field is one of the geothermal systems in Afyonkarahisar province. The heat source of the Sandıklı-Hüdai geothermal system is formed by the Miocene Sandıklı volcanism while the reservoir rocks of the system consist of the quartzite and limestones. High values of hydrogeochemical analysis data of groundwater samples indicated that these waters were heated by the geothermal system and/or that geothermal water mixed into groundwater. Results of hydrogeochemical analysis of the Sandıklı-Hüdai geothermal field were processed in database using ArcGIS 10 program. The spatial distribution of T, pH, EC, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, and SO₄²⁻ values in the basin was determined by IDW interpolation method. According to the thematic maps of T, SO₄, Cl, Ca and Mg, geothermal waters in the Hüdai Geothermal Area generally increased to the northeast and according to EC, Na, K and HCO₃ thematic maps the the central part of the area had higher values.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

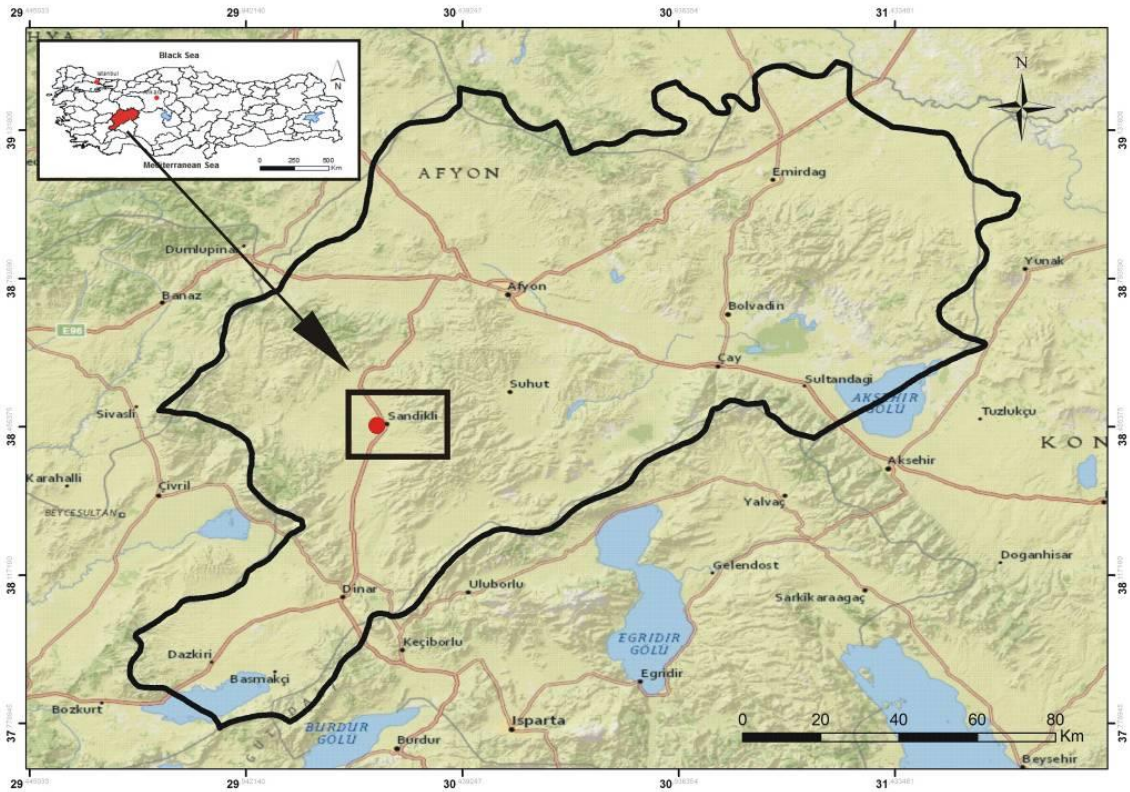
Günümüzde artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte fosil yakıtların tükenmeye başlaması, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjinin önemini daha da arttırmıştır. Jeotermal suların

aranması ve çıkarılabilmesi için yapılacak jeofizik ve derin sondajlar zaman ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programları ve mekansal analiz yöntemleri kullanılarak sahadan elde edilen noktasal verilere

ait analiz sonuçlarının çalışma alanının geneline yayılması, bu zaman ve maliyeti en aza indirmek için önemli avantajlar sunar. Literatürde suların hidrojeokimyasal analiz verilerini değerlendirmek için CBS ve IDW (Ters Ağırlıklı Derecelendirme) interpolasyon tekniği yaygın şekilde kullanılmaktadır. Mantzafleri vd. (2009), Yunanistan'ın Kastoria gölünden 2005 ve 2006 yılı kış ve yaz dönemlerinde 5 lokasyondan aldıkları su numuneleri ile su kalite parametreleri tematik haritalarını IDW yöntemini kullanarak oluşturmuşlar ve Kastoria Gölü'nün doğal ortamını korumak için sistematik gerçek zamanlı izleme ile birlikte kirlilik azaltma yönetim stratejileri önermişlerdir. Singh ve Khan (2011), Hindistan'ın Dhankawadi bölgesinde aldıkları 10 örnekleme noktasından CBS ve IDW interpolasyon tekniğini kullanarak içilebilir sular indeks haritasını oluşturmuşlar ve kullanma suyu açısından yeraltısuyunun 2 bölge hariç uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Adhikary ve ark (2013), Bangladeş'in kuzeybatısındaki bölgede yaptıkları çalışmada, içme ve sulama amaçlı kullanılan sığ yeraltısuyu kalitesinin haritalanması için CBS teknolojileri ve IDW interpolasyon tekniğini uygulamışlar ve tüm yeraltısuyu kalite indekslerinin sodyum yüzdesi hariç, 122 izleme konumunda orta

değerlere uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Kadhem (2013), Bağdat şehri Tigris nehrinden aldığı 96 su numunesinin fiziksel ve kimyasal parametrelerini CBS ve IDW interpolasyon tekniği kullanarak değerlendirmiş ve WHO (Dünya Sağlık Örgütü) standartlarına göre suyun tüketim amaçlı kullanımının uygun olmadığı sonucuna varmışlardır.

Ege Bölgesi içerisinde yer alan Afyonkarahisar, ülkemizdeki önemli jeotermal potansiyele sahip illerimizdendir. Sandıklı Hüdai jeotermal sahası, Afyonkarahisar ilinin 40 km güneybatısında Sandıklı çöküntü havzasının ova kısmını oluşturan bir graben sistemi sonucu ortaya çıkmış olup, sağlık turizmi, seracılık ve konut ısıtıcılığında kullanılmaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada, gelişen CBS ve mekansal analiz teknikleri ile Afyonkarahisar-Sandıklı Hüdai jeotermal sahası içerisinde yer alan jeotermal kuyular ile yeraltısuyu kuyularına ait hidrojeokimyasal analiz parametrelerinin en güçlü ve doğru şekilde mekansal yayılımının modellenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ArcGIS 10 programı kullanılarak Ters Ağırlıklı Derecelendirme (IDW) mekansal interpolasyon tekniği uygulanmış ve ortaya çıkan haritalar ile bölgedeki yeraltısuyu ve jeotermal suların dağılımı yorumlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı yerbulduru haritası

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanında 5 adet jeotermal su kuyusundan (AFS-6, AFS-9, AFS-11, AFS-12 ve AFS-15) ve 3 adet yeraltısuyu kuyusundan (S-1, S-5 ve S-6) örnek alınmıştır (Tablo 1). Yeraltısuyu kuyularından bölgede içme ve sulama amacıyla yararlanılmaktadır. AFS-6 ve AFS-9 nolu jeotermal kuyular Hüdai kaplıcalarında kullanılırken, AFS-11, AFS-12 ve AFS-15 nolu jeotermal kuyular şehir ısıtma ve seracılıkta kullanılmaktadır (Aksever, 2011).

Örnek alımı sırasında alkalinite ölçümü titrimetrik yöntemle, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) gibi in-situ ölçümleri taşınabilir cihazlarla yapılmıştır. Numunelerin hidrojeokimyasal analizleri (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃) için standart metotlar (APHA-AWWA-WEF, 2005) kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizlerde iyon kromatografisi (IC) ve indüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) cihazları kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarının yük-denge oranlarının genelde % 5'i geçmemesi, sonuçların güvenilir olduğunu göstermiştir.

CBS, su kalite parametrelerinin değerlendirilmesinde ve su kaynaklarının yönetilmesinde bölgesel ölçekte kullanılan güçlü bir araçtır (Collet ve ark. 1996). Çalışma kapsamında Harita Genel Komutanlığı'nın (HGK) hazırlamış olduğu 1/25000 ölçekli topografik haritalar ile bölgede daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen jeolojik haritalar CBS ortamına aktararak sayısallaştırılmış ve altlık harita olarak kullanılmıştır. Arazi çalışması sırasında yeraltısuyu örneklerinin koordinat bilgileri GPS yardımıyla kaydedilmiş ve hazırlanan altlık haritalarda konumlandırılarak, yeraltısularına ait T, pH, EC, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ değerlerine ait analiz sonuçları öznitelik tablosuna kaydedilmiştir. CBS programı içerisinde yer alan mekansal analiz uzantısı sayesinde, bilinen nokta değerlere ait verilerden yola çıkarak bilinmeyen alanlardaki değerleri

hesaplama ve görüntülemeyi sağlayan Ters Ağırlıklı Derecelendirme (IDW) interpolasyon tekniği uygulanmıştır. Bu algoritmaya göre, sınırlı bir alandaki örnekleme noktalarının verileri mekansal interpolasyon için kullanılır. IDW yönteminin temel prensibi, yakınındaki örnekleme noktalarının benzer olma olasılığının daha yüksek olması prensibine dayanır ve aşağıdaki formül ile ifade edilir (Mantzafleri ve ark, 2009):

$$\hat{z}(x_0) = \frac{\sum_{j=1}^m z(x_j) \cdot d_{ij}^{-k}}{\sum_{j=1}^m d_{ij}^{-k}}$$

Bu formülde,

$z(x_j)$: örnek alım yeri j 'deki su kalitesi parametresinin değeri

m : komşu örnek alma yerlerinin sayısı

w_j : örnekleme yeri x_0 ile örnekleme konumları x_j

arasındaki mesafeye göre $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ olan

ağırlık

k : genellikle 1 veya 2 olan mesafe etki katsayısı

d_{ij} : örnekleme dışı lokasyon $i(x_0)$ ile örnekleme yerleri $j(x_j)$ arasındaki uzaklıktır.

CBS ve IDW interpolasyon yöntemi kullanılarak Sandıklı-Hüdai jeotermal alanından alınan örneklerin in-situ ve hidrojeokimyasal analiz parametrelerinin dağılımları hesap edilmiş ve tematik haritalar elde edilmiştir.

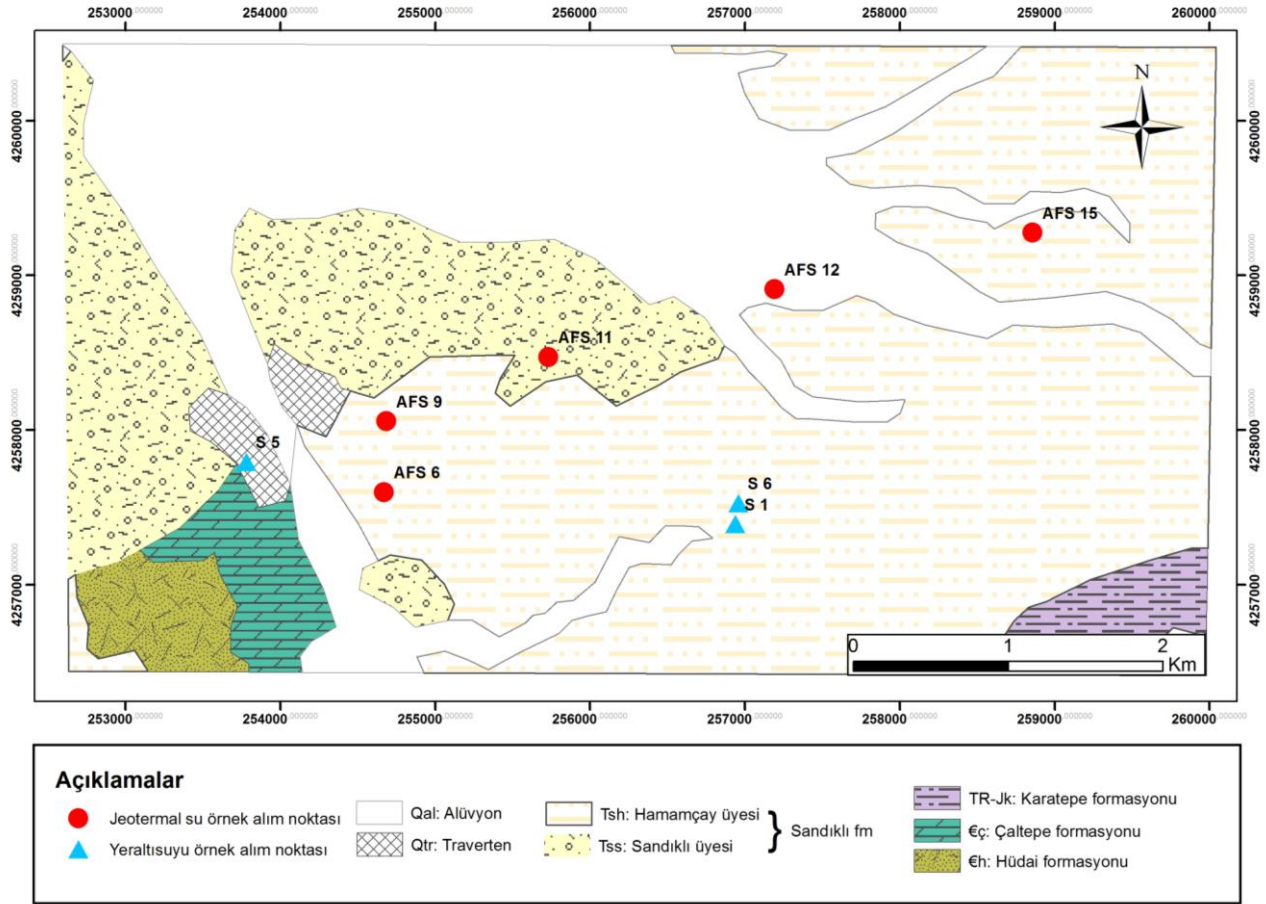
3. Bulgular

3.1. Jeoloji

Çalışma alanı Neo-tektonik dönem tektonizması ve aktif volkanizma ile ilişkili olan şiddetli hidrotermal alterasyon ve jeotermal sistemin bulunduğu bir bölgedir. Hüdai jeotermal sisteminde ısı kaynağı Miyosen yaşlı Sandıklı volkanizması, hazne kayalar ise kuvarsit ve kireçtaşlarıdır (Karamanderesi, 2008). Çalışma alanında temelde yer yer şistlerle ardalanmalı kuvarsitlerden oluşan Alt Kambriyen yaşlı Hüdai formasyonu (Eh) yer almaktadır. Bu birim üzerine

başlıca dolomit, neritik kireçtaşı ve üst düzeylerinde yumru kireçtaşlarından oluşan Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu (Eç) gelmektedir. Çaltepe formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Triyas-Alt Jura yaşlı Karatepe formasyonu (TR-Jk) çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşlarından oluşmaktadır. Çalışma alanında Sandıklı formasyonu, Sandıklı (Tss) ve Hamamçay (Tsh) üyelerinden oluşmaktadır. Üst Miyosen yaşlı Sandıklı üyesi, çakıltaşı ve

kumtaşları ile başlayıp, marnlarla yer yer ardalanmalı killi kireçtaşları ve çamurtaşları ile sona ermektedir. Pliyosen yaşlı Hamamçay üyesi ise volkanik çakıltaşı, kireçtaşı katkılı çakıltaşı, ince çakıl, kum ve siltten meydana gelmektedir. Traverten (Qtr) ve alüvyon (Qal) en genç çökeller olup Kuvaterner yaşlıdır (Afşin, 1991; Özgül ve ark, 1991; Dean ve Özgül, 1994; Özpinar, 2008; Aksever, 2011; Şekil 2 ve 3).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Öngür, 1973; Afşin, 1991; Aksever, 2011 ve Demer ve ark. 2013a'dan yararlanarak)

ÜST SİSTEM	SİSTEM	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	Kuvaterner				Qal	Alüvyon
					Qtr	Traverten
	Miyosen	Sanabkılı	Hammanay		Tsh	Volkanik çakıltaşı, kum, silt
					Tss	Killi kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, marn, çamurtaşı
MEZODİK	Triyas-Jura	Karatepe		TR-Jk	Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı	UYUMSUZLUK
PALEOZOYİK	Kambriyen	Orta	Çalpepe		çç	Dolomitik, neritik kireçtaşı
					sh	Şist, kuvarsit

Şekil 3. Çalışma alanının stratigrafik istifi (Öngür, 1973; Afşin, 1991'dan yararlanarak)

3.2. Hidrojeokimyasal özelliklerin CBS ile değerlendirilmesi

Suların hidrojeokimyasal özellikleri kullanım alanlarını belirleyen önemli bir unsurdur. Çalışma alanında yeraltısuyu ve jeotermal su kuyularından alınan örneklerde T, pH, EC, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃ ölçümleri yapılmıştır.

Sıcaklık (T), yüzey ve yeraltı sularının kullanımını etkileyen önemli bir faktördür. Çalışma alanında yeraltısularının sıcaklık değerleri 23,8°C ile 30,7°C arasında değişmektedir (Tablo 1). Bu ölçülen sıcaklık değerleri yeraltısuyu için yüksek olarak görünmesine karşın (>20°C), bu suların

Tablo 1. Çalışma alanındaki yeraltısuyu ve jeotermal su kuyularına ait bilgiler in-situ ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları (Demer ve ark, 2013a, b)

Kuyu no	S-1	S-5	S-6	AFS-6	AFS-9	AFS-11	AFS-12	AFS-15
Koordinat	256938 4257392	253779 4257795	256957 4257528	254669 4257600	254684 4258058	255731 4258473	257191 4258911	258858 4259278
Yükseklik(m)	1024	1011	1023	1007	1017	1025	1016	1035
Kuyu derinliği (m)	200	205	220	49,15	70	258	508	750
Debi (l/sn)	17	20	15	60	60	60	75	50
T (°C)	23,8	24,0	30,7	69,0	69,0	73,6	73,5	75,0
pH	7,97	7,62	8,16	6,45	6,52	6,48	6,47	7,26
EC (µS/cm)	323	877	325	1943	1982	2300	2250	2020
Na (mg/l)	15,15	56,03	24,56	208,30	205,90	276,00	249,80	245,40
K (mg/l)	6,55	8,94	2,11	30,14	34,89	57,92	46,36	47,97
Mg (mg/l)	5,82	17,29	4,29	21,26	20,56	26,82	26,92	27,45
Ca (mg/l)	34,56	96,06	24,96	135,20	130,30	150,82	155,48	150,10
HCO₃ (mg/l)	118,10	305,00	109,80	518,50	561,20	579,50	573,40	481,90
Cl (mg/l)	6,02	35,56	4,82	84,83	101,15	100,88	93,60	109,51
SO₄ (mg/l)	46,68	180,05	37,24	441,86	506,53	533,88	517,88	629,49
Yük-denge oranı (%)	3,4	4,8	2,3	4,6	5,1	0,6	1,5	4,5

hidrojeokimyasal analiz verilerine bakıldığında jeotermal su niteliği taşımamaktadır. Bu nedenle bu suların muhtemelen jeotermal sistem tarafından kondüktif olarak ısıtıldığı düşünülmektedir. Sadece S-5 nolu yeraltısuyu kuyusunun sıcaklık ölçümleri dışında hidrojeokimyasal analiz verileri de (EC, Na, K, Ca, Mg, Cl ve SO₄) diğer yeraltısularına göre daha yüksek değerler vermiştir. Bu nedenle S-5 örnek noktasının jeotermal su ile etkileşimli olduğu ve kısmen de jeotermal sistem tarafından ısıtıldığı düşünülmektedir. Jeotermal suların sıcaklık değerleri 69,0°C ile 75,0°C arasında değişmektedir (Tablo 1). Hazırlanan sıcaklık tematik haritasında çalışma alanının kuzeydoğusuna doğru jeotermal suyun sıcaklık değerinin arttığı görülmektedir (Şekil 4a).

Sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösteren pH, hidrojen iyonu konsantrasyonunun ölçüsüdür. pH<7 olan sular asidik, pH>7 olan sular bazik özelliktedir. Çalışma alanındaki yeraltısularının pH değeri 7,62 ile 8,16 arasında, jeotermal suların pH değeri ise 6,45 ile 7,26 arasında değişmektedir (Tablo 1). Jeotermal sular genel olarak asidik bir karakter sergilerken, yeraltısuyu örnekleri ise bazik karakterlidir. pH tematik haritasında da görüldüğü gibi jeotermal suların pH değerleri, yeraltısularının pH değerlerinden daha düşüktür (Şekil 4b).

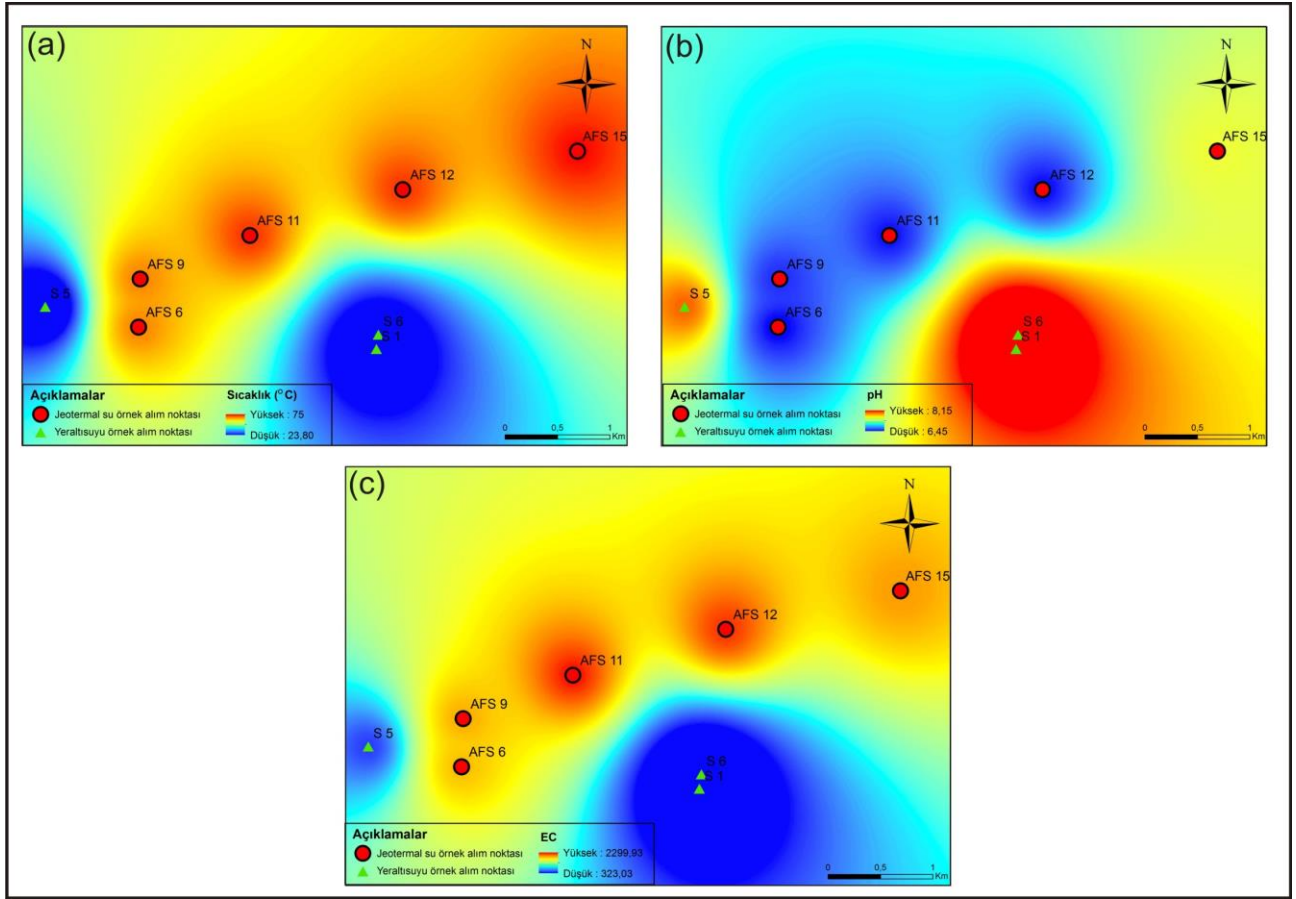
Suyun sıcaklığının artmasıyla suda çözülmüş iyonların konsantrasyonu dolayısıyla elektriksel iletkenlik (EC) değeri de artar. Çalışma alanındaki yeraltısularının EC değeri 323 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 877 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Tablo 1). Yeraltısuyundaki bu yüksek EC değeri (S-5: 877 $\mu\text{S}/\text{cm}$) yeraltısuyunun jeotermal sularla etkileşimli olabileceğine işaret edebilir. Jeotermal suların EC değerleri ise 1943 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Tablo 1). EC tematik haritasında görüldüğü gibi jeotermal sularda yüksek EC değerleri çalışma alanının orta kesimindeki kuyularda (AFS-11 ve AFS-12) ölçülmüştür (Şekil 4c).

Sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+) konsantrasyonu mineral-akışkan dengesine bağlı olarak, sıcaklıkla kontrol edilir. Ancak jeotermal sularda sodyum, potasyuma göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Jeotermal sistemlerde Na/K oranının düşük olması yüksek sıcaklığı işaret etmektedir. Eğer Na/K oranı yüksek ise yüzeye yakın reaksiyonların oluştuğunu ve jeotermal akışkanın kondüktif olarak soğuduğunu göstermektedir (Nicholson, 1993). Çalışma alanındaki yeraltısularının Na^+ değerleri 15,15-56,03 mg/l arasında, K^+ değerleri 2,11-8,94 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1). S-5 örnek noktasında ölçülen yüksek Na ve K değeri de yeraltısuyunun jeotermal su karışmış olabileceğini işaret etmektedir. Jeotermal suların Na^+ değerleri ise 205,90-276,00 mg/l arasında, K^+ değerleri 30,14-57,92 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1). Jeotermal suların Na^+ ve K^+ değerleri çalışma alanının orta kesiminde daha yüksektir (Şekil 5a, b).

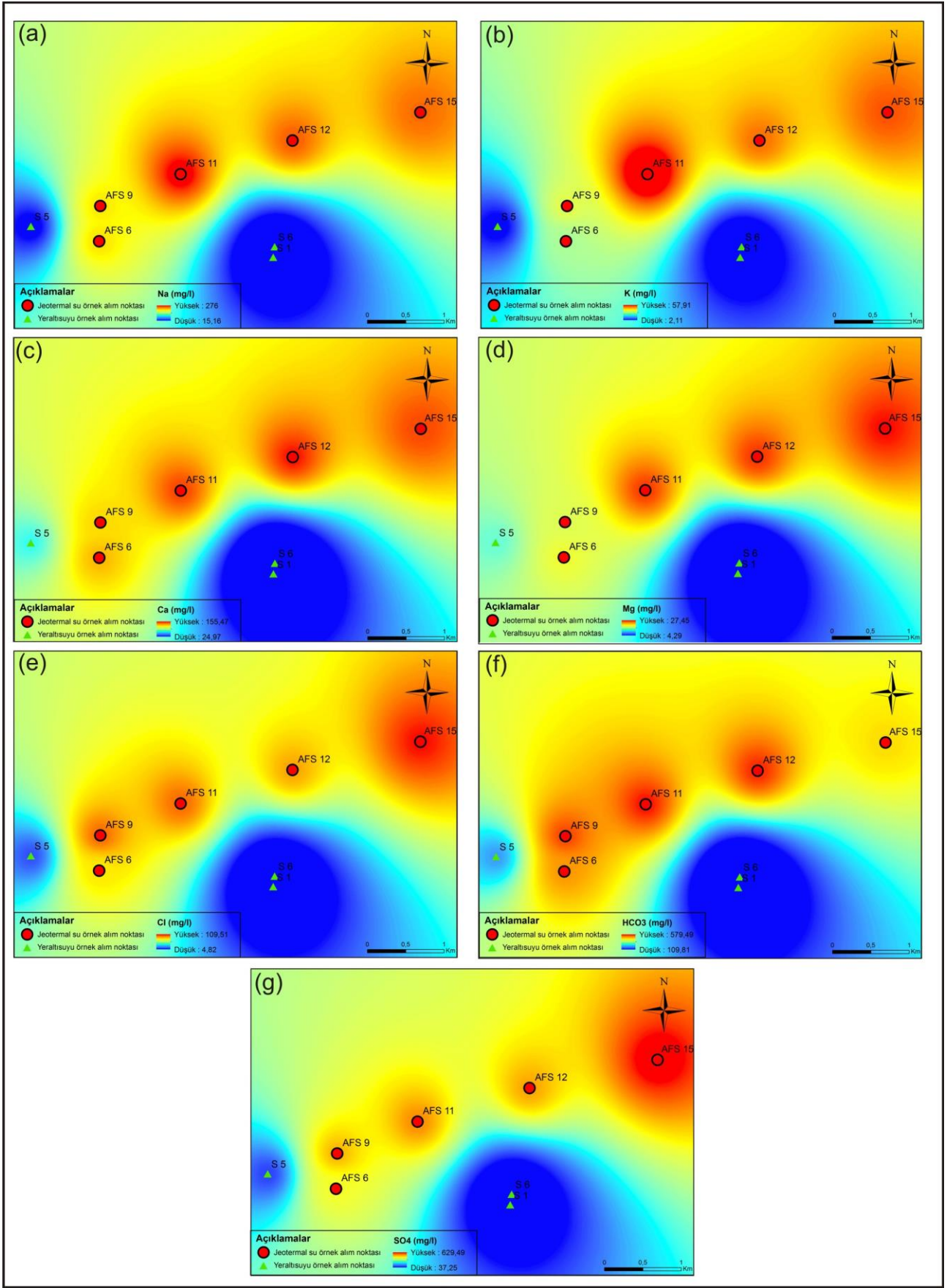
CO_2 kısmi basıncı, minerallerin çözünürlüğünü etkileyen faktörlerden olup, jeotermal

akışkanlardaki Ca^{2+} miktarını etkiler. Sularda kaynama nedeniyle CO_2 miktarı azalırken, kalsit çökelişi meydana gelir (Nicholson, 1993). Genellikle Ca^{2+} konsantrasyonu yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkanlarda düşük seviyededir ($< \sim 50$ mg/kg). Mg^{2+} ise, alterasyon minerali olarak illit, montmorillonit ve özellikle kloritin yapısına kolayca katılabildiği için daha düşük (0,01- 0,1 mg/kg) seviyelerde gözlenir. Yüksek Mg^{2+} konsantrasyonu, nispeten Mg^{2+} ce zengin yeraltısularıyla etkileşimi veya yüzeye yakın kayalardan Mg^{2+} yıkanmasını (leaching) işaret eder (Nicholson, 1993). Çalışma alanındaki yeraltısuyu kuyularının Ca^{2+} değerleri 24,96-96,06 mg/l arasında, Mg^{2+} değerleri 4,29-17,29 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1). Benzer şekilde Ca^{2+} ve Mg^{2+} ölçümleri de S-5 nolu kuyuda daha yüksek değerler vermekte olup, yine jeotermal suyun karışması olarak yorumlanabilir. Jeotermal suların ise Ca^{2+} değerleri 130,30-155,48 mg/l arasında, Mg^{2+} değerleri 20,56-27,45 mg/l arasında değişim göstermektedir (Tablo 1). Hazırlanan Ca^{2+} ve Mg^{2+} tematik haritalarında görüldüğü gibi jeotermal suların Ca^{2+} ve Mg^{2+} konsantrasyonları çalışma alanının genel olarak kuzeydoğusuna doğru artış göstermektedir (Şekil 5 c, d).

Suların toplam çözülmüş karbonat miktarı (HCO_3^- , CO_3^{2-} , H_2CO_3 veya CO_2) çözülmüş pH değeri ve karbondioksit kısmi basıncına (P_{CO_2}) bağlıdır. pH 6-10 ise, çözülmüş HCO_3^- baskındır (Nicholson, 1993). Çalışma alanındaki yeraltısularının HCO_3^- değerleri 109,8 ile 305,0 mg/l arasında, jeotermal suların HCO_3^- değerleri ise 481,90 ile 579,50 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1). Elde edilen HCO_3^- tematik haritasında görüldüğü gibi jeotermal suların HCO_3^- konsantrasyonu çalışma alanının orta kesiminde daha yüksek değerlere sahiptir (Şekil 5f).



Şekil 4. Çalışma alanındaki yeraltısularının ve jeotermal suların (a) sıcaklık, (b) pH ve (c) EC tematik haritaları



Şekil 5. Çalışma alanındaki yeraltısularının ve jeotermal suların (a) Na⁺, (b) K⁺, (c) Ca²⁺, (d) Mg²⁺, (e) Cl⁻, (f) HCO₃⁻ ve (g) SO₄²⁻ tematik haritaları

SO₄²⁻ konsantrasyonu derin kökenli jeotermal akışkanlarda genellikle düşüktür (<50 mg/kg). SO₄²⁻ konsantrasyonu, hidrojen sülfürün (HS) oksidasyonu ile artar (Nicholson, 1993). Bölgedeki jeotermal suların yüksek SO₄²⁻ içeriği ve düşük pH değerleri yüzeye yakın yerlerde H₂S'in oksidasyonundan kaynaklanabilir (Demer ve ark., 2013b). Çalışma alanındaki yeraltısuyu kuyularının SO₄²⁻ değerleri 37,24 mg/l ile 180,05 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1). Yine S-5 lokasyonunda ölçülen yüksek SO₄²⁻ değeri yeraltısuyuna jeotermal suyun karıştığını işaret edebilir. Jeotermal suların SO₄²⁻ değerleri ise 441,86 mg/l ile 629,49 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1). SO₄²⁻ tematik haritasında jeotermal suların SO₄²⁻ konsantrasyonunun çalışma alanının kuzeydoğusuna doğru artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 5g).

4. Tartışma ve Sonuç

Sandıklı-Hüdai jeotermal sahasında Paleozoyik temelde kuvarsitlerden oluşan Hüdai formasyonu ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Çaltepe formasyonu bulunmakta olup, bu birimler jeotermal sistemin hazne kayacı konumundadır. Miyosen yaşlı Sandıklı formasyonu ise kırıntılı malzemelerden oluşmaktadır. Bölgedeki ısı kaynağı ise Miyosen yaşlı volkanizmadır.

Sandıklı-Hüdai jeotermal sahasındaki suların T, pH, EC, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄ ve HCO₃ analiz verileri, ArcGIS 10 programı ile IDW yöntemi kullanılarak haritalandırılmıştır. Jeotermal sular T, SO₄, Cl, Ca ve Mg tematik haritalarına göre genel olarak kuzeydoğuya doğru artış gösterirken, EC, Na, K ve HCO₃ tematik haritalarına göre çalışma alanı orta kesiminde daha yüksektir.

Yeraltısuyu kuyularından alınan örneklerde ise EC, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃ konsantrasyonları, yeraltısuyunda olması gereken değerlere sahip olmakla birlikte, sıcaklık değerleri bakımından 20°C'nin üzerinde (23,8 °C-41,1 °C) ölçülmüştür. Bu nedenle bu yeraltısularının kondüktif olarak ısınmasından dolayı sıcaklıklarının yüksek olduğu

düşünülmektedir. Ancak bu kuyulardan S-5 nolu örnek diğer yeraltısuyu kuyularından daha yüksek EC, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃ değerlerine sahiptir. Bu durumda S-5 örneğinde kondüktif ısınmanın yanında jeotermal su ile etkileşimin olduğu da düşünülmektedir.

Karamanderesi (2008) Sandıklı-Hüdai bölgesinde volkanik kayalarındaki hidrotermal alterasyon izlerinin daha doğuya ve kuzeydoğuya doğru gözlemlendiğini ifade etmiştir. Jeotermal sulara ait elde edilen SO₄, Cl, Ca ve Mg tematik haritalarında da genel olarak kuzeydoğuya doğru artış olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- Adhikary, S.K., Ahmed, C.A., ve Saha, G.C., 2013. Mapping of shallow groundwater quality using GIS: A study from a small catchment in Northwestern Region of Bangladesh. International Conference On Engineering Research, Innovation and Education. 11-13 January 2013, 687-694, Bangladesh.
- Afşin, M., 1991. Afyon-Sandıklı Kuruçay Ovası ve Hüdai Kaplıcalarının Hidrojeoloji İncelemesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 330.
- Aksever, F., 2011. Sandıklı (Afyonkarahisar) Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 244.
- APHA-AWWA-WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition, In: Eaton AD, Clesceri LS, Rice EW, Greenberg AE (eds); American Public Health Association, Washington, D.C.
- Collet, C., Consuegra ve D, Joerin, F., 1996. GIS Needs and GIS Software in: Geographical Information Systems in Hydrology, Kluwer Academic Publishers, 115-174, Boston, USA.
- Dean, W.T. ve Özgül, N. 1994. Cambrian rocks and faunas, Hüdai area, Taurus Mountains, southwestern Turkey. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Science de la Terre*, **64**, 5-20.
- Demer, S., Özgür, N. ve Memiş, Ü., 2013a. Afyon-Sandıklı Hüdai Jeotermal Alanının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, BAP sonuç raporu (Proje No: 2618-M-10), Isparta, 43s.

- Demir, S., Memiş, Ü., ve Özgür, N., 2013b. Investigation of hydrogeochemical properties of the Hüdai (Afyon-Sandıklı) geothermal systems, SW Turkey. *J. Earth Syst. Sci.*, 122, 4, pp. 1081–1089.
- Kadhem, A.J., 2013. Assessment of water quality in Tigris River Iraq by using GIS mapping. *Natural Resources*, 4, 441-448.
- Karamanderesi. İ. H., 2008. Afyonkarahisar jeotermal sahalarının jeolojik ve mineralojik evrimi. Termal ve Maden Suları Konferansı. A. E. Türker, A. Yıldız (editörler), Bildiriler kitabı. 24-25 Nisan 2008, 55-69, Afyonkarahisar.
- Mantzafleri, N., Psilovikos, Ar., ve Blanta, A., 2009. Water quality monitoring in Lake Kastoria, using GIS. Assessment and management of pollution sources. *Water Resources Management*, 23, 3221-3254.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal fluids, chemistry and exploration techniques. Springer-Verlag, Berlin, 263p.
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., ve Öztaş, Y., 1991. Göller bölgesi ve Ispartanın Jeolojisi ve Stratigrafisi. TPAO arama grubu rapor no: 3028, 321 s., Ankara.
- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları. MTA Rapor No: 5520, Ankara.
- Özpınar, Y., 2008. Sandıklı (Afyon) yöresinde şabazit ve fillipsit mineralleri içeren tüflerin mineralojik petrografik ve iyon değiştirme özellikleri ve tarımda kullanılması, GB Anadolu, Türkiye. *MTA Dergisi*, 137, 27-47.
- Singh, P. ve Khan, I.A., 2011. Ground water quality assessment of Dhankawadi ward of Pune by using GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(2), 688-703.