



زمین‌شیمی محیط‌زیستی چشمه‌های آب گرم بندرعباس، جنوب ایران

گیتی فیروزی^۱، محمد یزدی^{۲*}، پدram ناوی^۳ و آیدا بیاتی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی محیط‌زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
^۲ دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
^۳ دکتری زمین‌شناسی - رسوب‌شناسی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران
^۴ استادیار دانشکده محیط‌زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۷

Environmental geochemistry of Bandar Abbas thermal springs, S of Iran

Giti Firouzi¹, Mohammad Yazdi^{2*}, Pedram Navy³ & Aida Bayati⁴

¹MSc. Student of Environmental Geology, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

²Associated Prof., Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran

³PhD Geologist in Geological Survey of Iran (GSI), Tehran

⁴Assistant Prof., Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

Abstract

Bandar Abbas, Hormozgan province has an area with numerous hot springs. The Springs is located in Folded Zagros geological zone, and the host rocks of the springs are Cretaceous to Miocene limestones. Water samples from four hot springs and one cold spring were collected in two times, April (wet condition) and September (dry condition) 2013. In order to evaluate their environmental geochemistry. Temperature, pH, Eh and electrical conductivity (EC) were measured on site. Major and trace elements were analyzed by ICP-OES method. Also, elements such as Hg, As, Bi and Sb were measured by using atomic fluorescence method at detection limit of ppb. Trace elements are relatively high from environmental standards. Concentrations of U, Th and REE in springs water is high. Hydro geochemical studies indicate that high concentration of chloride in the water springs. The hydro chemical facies of hot and cold springs are NaCl and H₂S gas boiling type. Genesis of the thermal springs indicate that these springs was derived from an ancient hydrothermal source and high concentrations of chloride, indicating the high depth of the source.

Keywords: Thermal spring, Geochemistry, Environmental, Bandar Abbas.

چکیده

منطقه بندرعباس در استان هرمزگان دارای چشمه‌های آب گرم متعددی است. این چشمه‌ها از نظر ساختاری در زون زاگرس چین‌خورده و در سنگ‌های آهکی متعلق به کرتاسه تا میوسن قرار دارند. نمونه‌برداری از آب چهار چشمه آب گرم و یک چشمه آب سرد، در دو نوبت فروردین و شهریورماه ۱۳۹۲، جهت بررسی زمین‌شیمی محیط‌زیستی آن‌ها انجام گردید. درجه حرارت آب، Eh، pH و هدایت الکتریکی در مظهر چشمه‌ها اندازه‌گیری شدند. تجزیه شیمیایی آب چشمه‌ها جهت تعیین غلظت عناصر اصلی و جزئی با روش ICP-OES انجام گردید. عناصری از قبیل جیوه، آرسنیک، بیسموت و آنتیموان با روش فلوروسانس اتمی و با دقت ppb اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر جزئی در آب چشمه‌ها بیش از حد مجاز استاندارد محیط‌زیستی است. غلظت اورانیوم، توریوم و عناصر نادر خاکی در آب چشمه‌ها بالا می‌باشد. مطالعات هیدروژئوشیمیایی بیان‌گر غلظت بالای کلراید در آب چشمه‌ها است. تیپ و رخساره چشمه‌های آب گرم و آب سرد از نوع کلروره سدیک است و به صورت جوششی همراه با گاز H₂S از زمین خارج می‌شوند. منشاء یابی چشمه‌های گرم بندرعباس نشان داده‌است که این چشمه‌ها از یک مخزن هیدروترمال قدیمی منشاء گرفته و غلظت بالای کلراید، نشان‌دهنده عمیق بودن این مخزن می‌باشد.

کلمات کلیدی: چشمه آب گرم، زمین‌شیمی، محیط‌زیستی، بندرعباس.

* Corresponding Author. E-mail Address: m-yazdi@sbu.ac.ir

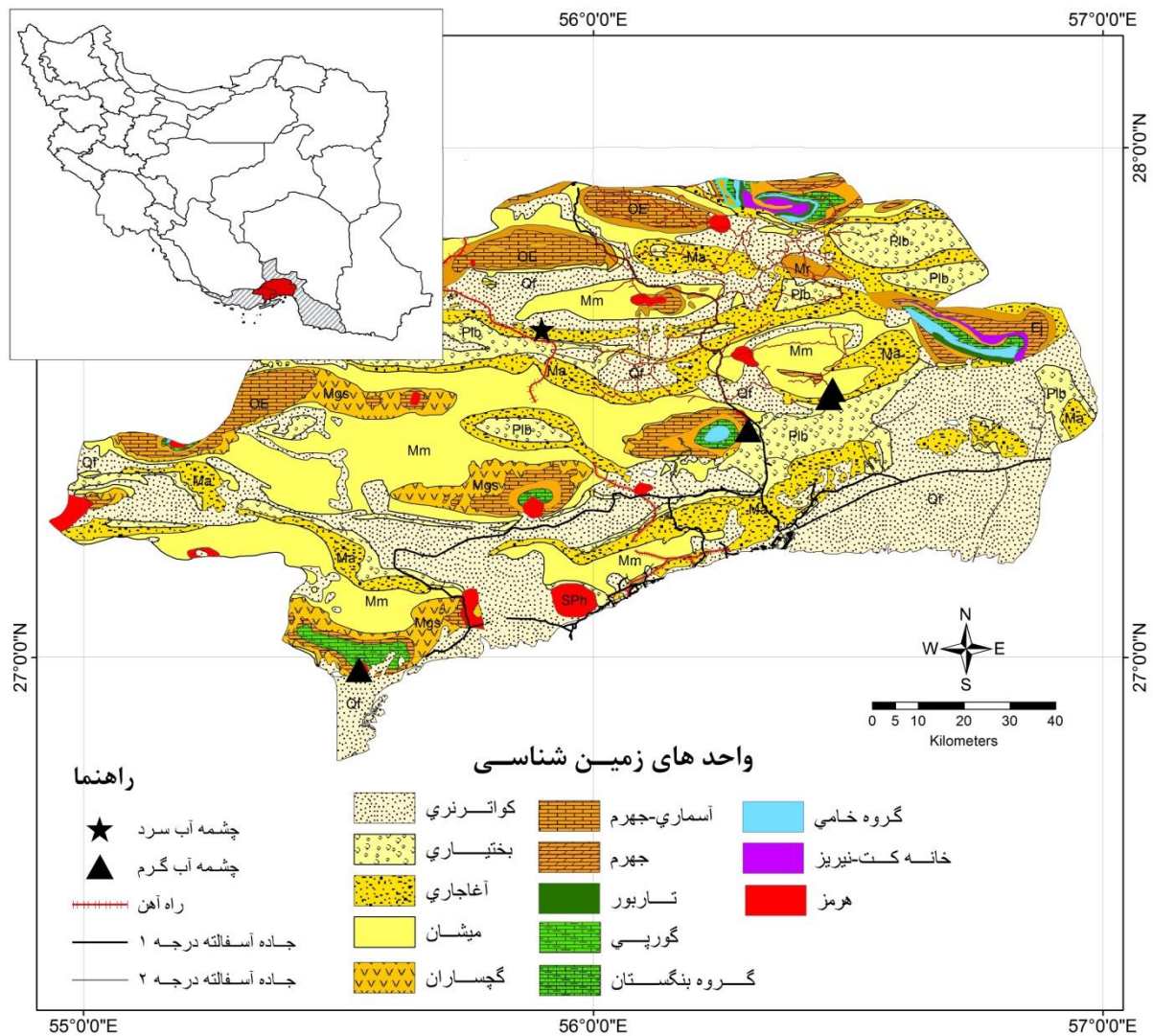
۱- مقدمه

گستره زاگرس چین‌خورده واقع شده‌است. توالی رسوبات عمدتاً کربنات‌های پلاتفرمی ائوسن و الیگومیوسن (سازند آسماری-چهرم) که بیشتر هسته تاقدیس‌ها را می‌سازند و آهک و مارن کرتاسه بالایی [۴] تا رسوبات متعلق به گروه فارس و سپس رسوبات آواری کواترنری تشکیل می‌دهد. از نگاه زمین‌ساختی، ساختارهای ناحیه تناوبی از تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موازی است با روند کم و بیش خاوری-باختری و عوامل موثر در چین‌خوردگی کمابیش پویا هستند، به‌همین دلیل زمین حرکت رو به بالا دارد که با فشردگی و کوتاه‌شدگی پوسته همراه است. در بیشتر نواحی مرزهای زمین‌شناسی از نوع گسل‌های طولی است که روند آن‌ها با چین‌های ناحیه، هم‌خوان و موازی است [۵و۶].

راه‌های دسترسی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده‌است. آبگرم گنو در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال بندرعباس، آبگرم خورگو در شمال خاور بندرعباس، آبگرم سرگز در فاصله ۲ کیلومتری جنوب چشمه خورگو و آبگرم خمیر در فاصله ۱۰۴ کیلومتری باختر بندرعباس قرار گرفته‌اند. یک چشمه آب سرد نیز در شمال بندرعباس از منطقه فین انتخاب و نمونه‌برداری گردید (شکل ۱).

آب‌های معدنی و گرم به عنوان بخشی از آب‌های زیرزمینی در کشور ما از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این منابع به‌خصوص در مناطق خشک می‌توانند در کشاورزی، آشامیدن و از لحاظ درمانی کاربردهای وسیعی داشته باشند. مطالعه بر روی چشمه‌های معدنی ایران سابقه‌ای طولانی داشته و از نیمه قرن نوزدهم شروع شده‌است. این مطالعات در ابتدا توسط جهانگردان و هیات‌های خارجی انجام شده و از سال ۱۳۰۶ بررسی آب‌های معدنی ایران به طور علمی شروع شده‌است [۱]. اغلب چشمه‌های گرم ایران در مناطق کوهستانی یا در حاشیه کوه‌های البرز و زاگرس واقع شده‌اند. نوع و منشاء این چشمه‌ها نقش اساسی در تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها داشته به صورتی که چشمه‌های مختلف با دمای یکسان دارای خصوصیات کاملاً متفاوت می‌باشند. منطقه بندرعباس در استان هرمزگان در جنوب ایران دارای چشمه‌های آبگرم متعددی است. استان هرمزگان از نظر زمین‌شناسی ساختاری درسه زون واقع شده‌است. بخش باختری و جنوب باختری در محدوده زون زاگرس چین‌خورده، بخش شمالی آن ادامه زون سنندج-سیرجان و بخش خاوری استان در زون مکران قرار دارد [۲]. در این منطقه چشمه‌های آبگرم زیادی به‌ویژه در بخش باختری آن وجود دارد که معروف‌ترین آن‌ها از نظر ارزش درمانی سه چشمه آب گرم گنو، خورگو و خمیر می‌باشند. به دلیل تنوع سنگ شناسی و ساختاری، چشمه‌های آبگرم این منطقه ویژگی‌های متفاوتی را دارا می‌باشند. در تحقیق حاضر چشمه‌های آبگرم منطقه بندرعباس از نظر ترکیب ژئوشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین منشاء چشمه‌ها و ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها نیز مورد بررسی قرار گرفته‌است.

چشمه‌های مورد مطالعه در دو شهرستان بندرعباس و خمیر در استان هرمزگان واقع شده‌اند. این شهرستان‌ها در محدوده طول‌های جغرافیایی $53^{\circ} 54'$ تا $57^{\circ} 03'$ خاوری و عرض‌های $26^{\circ} 53'$ تا $27^{\circ} 31'$ شمالی قرار گرفته‌اند. این منطقه تحت تاثیر آب و هوای بیابانی بوده و دارای تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های ملایم و کوتاه است. میانگین بارندگی ده ساله اخیر حدود ۱۸۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شده و میانگین دمای سالانه $28^{\circ}C$ می‌باشد [۳]. محدوده مورد مطالعه از نظر ساختاری در



شکل ۱- راه‌های دسترسی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری بر روی نقشه زمین‌شناسی

۲- مواد و روش‌ها

تیره و روشن جمع آوری شدند. به ظروف تیره چند قطره اسید نیتریک (تا رسیدن pH به کمتر از ۳) برای جلوگیری از رسوب فلزات و به حداقل رساندن جذب سطحی بر دیواره ظرف، اضافه گردید. ظروف تیره برای سنجش کاتیون‌های اصلی و فلزات سنگین، و بطری روشن برای سنجش آنیون‌های اصلی و برخی عناصر فرعی از آب چشمه‌ها پر گردیدند. ظروف را کاملاً پر کرده تا از تماس با هوا جلوگیری گردد، سپس نمونه‌ها را کدگذاری کرده و در محل تاریک و خنک تا زمان انتقال به آزمایشگاه نگهداری نموده و در کمترین زمان ممکن به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور جهت آنالیز تحویل داده شد. پارامترهایی از قبیل دبی، دما، pH، Eh و هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه‌های قابل حمل اندازه‌گیری شدند. قبل از اندازه‌گیری، دستگاه‌ها کالیبره

پس از تعیین محدوده مورد مطالعه در یک بازدید صحرایی از منطقه، وضعیت زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی چشمه‌ها، میزان آب‌دهی آن‌ها، جهت شیب لایه‌ها و عناصر ساختاری مانند گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها در محدوده چشمه‌ها بررسی و هم‌چنین مختصات جغرافیایی مظهر چشمه‌ها و ارتفاع از سطح دریا با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برداشت شد. با رسم منحنی‌های آمپروترمیک ماه‌های تر و خشک مشخص گردید. سپس طی یک برنامه زمان‌بندی شده در ماه‌های تر و خشک که برای استان هرمزگان به ترتیب آبان تا اردیبهشت و فروردین تا آبان است، از آب چشمه‌ها نمونه‌برداری گردید. ظروف نمونه‌برداری ابتدا سه مرتبه در آب چشمه شسته شده و پس از فیلترگذاری از آب چشمه‌ها پر شدند. از مظهر هر چشمه دو نمونه آب در ظروف پلی‌اتیلن ۲۵۰cc استریل

آب سرد ۷/۴۸ است. درجه حرارت سطحی چشمه‌های گرم بین ۳۵ °C تا ۴۰/۹ °C و چشمه آب سرد ۳۲/۴ °C اندازه‌گیری گردید. طبق تقسیم بندی آبهای معدنی از نظر حرارت که توسط [۷] Cody ارائه شده، چشمه فین جزو آبهای نیم گرم و چشمه‌های گنو، خورگو، سرگز و خمیر جزو آبهای گرم طبقه بندی می‌شوند. EC و TDS چشمه‌های گرم و سرد در دو دوره نمونه‌برداری به ترتیب بین ۲۹۸۰-۵۵۸۰۰ μS/cm و ۱۹۸۰-۴۷۰۰۰ mg/l اندازه‌گیری شده‌است. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در دیاگرام پایپر [۸] نشان می‌دهد که آب چشمه‌ها در ردیف آب‌های کلروره سدیک بوده و غلظت یون کلر و سدیم آن‌ها بسیار بالا می‌باشد. آنیون و کاتیون سولفات و کلسیم در مقادیر بالا پس از کلر و سدیم قرار دارند. در نمودار شولر [۹] می‌توان تفاوت آب های ژئوترمال را از چشمه آب سرد نشان داد. غلظت Na، Cl و TDS در چشمه‌های گرم بیشتر بوده و مقادیر بی کربنات و سولفات در چشمه‌ها ی سرد و گرم تقریباً مساوی است (شکل ۲).

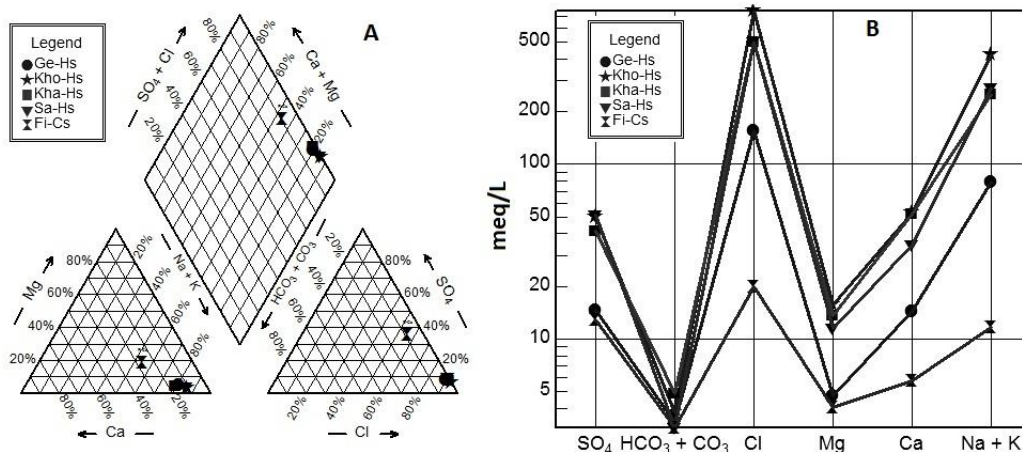
شده و پروب آن‌ها با آب مقطر شستشو داده‌شد و مستقیماً در مظهر چشمه غوطه‌ور گردید. اندازه‌گیری آنیون و کاتیون‌های اصلی با روش یون کروماتوگرافی، عناصر جزئی به روش ICP-OES و عناصر کمتر از ۱۰ ppb و عناصر جیوه، آرسنیک، بیسموت و آنتیموان به روش فلونئورسنس اتمی در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. مختصات جغرافیایی و پارامترهای فیزیکی چشمه‌ها در جدول شماره ۱ نشان داده شده‌است.

۳- نتایج و بحث

بررسی میزان آب‌دهی چشمه‌ها نشان می‌دهد که چشمه‌های خمیر و خورگو دارای آب‌دهی کم بوده (آب‌دهی خمیر ۰/۸۰ و خورگو ۱/۹۰ لیتر بر ثانیه) ولی آب‌دهی چشمه گنو نسبتاً زیاد می‌باشد (۱۷۰ لیتر بر ثانیه) چشمه سرگز نیز با آب‌دهی تقریبی ۵۲ لیتر بر ثانیه از دبی خوبی برخوردار است. pH چشمه‌های آب‌گرم، کمی اسیدی تا خنثی بوده و بین ۷/۰۵ تا ۶/۴۹ می باشد ولی pH چشمه

جدول ۱- پارامترهای فیزیکی شیمیایی چشمه‌ها در دو مرحله نمونه‌برداری (فصل تر و فصل خشک)

مرحله اول نمونه‌برداری ۱۳۹۲/۱/۶					
نام چشمه	گنو	خورگو	خمیر	سرگز	فین
کد چشمه	Ge-Hs	Kho-Hs	Kha-Hs	Sa-Hs	Fi-Cs
طول جغرافیایی (شرقی)	۵۶° ۱۸' ۱۳/۸	۵۶° ۲۸' ۹/۶	۵۵° ۳۲' ۲۵/۵	۵۶° ۲۷' ۴۴/۹	۵۵° ۵۳' ۵۶/۹
عرض جغرافیایی (شمالی)	۲۷° ۲۶' ۴۶/۸	۲۷° ۳۱' ۳۲/۳	۲۶° ۵۸' ۳۱/۳	۲۷° ۳۰' ۳۴/۳	۲۷° ۳۸' ۳۳/۵
ارتفاع (متر)	۲۰۷	۱۸۲	۶۸	۱۵۵	۳۴۴
درجه حرارت (°C)	۳۹/۵	۴۰/۹	۳۷/۵	-	۳۲/۴
pH	۷/۰۴	۶/۴۹	۶/۶۷	-	۷/۳۳
هدایت الکتریکی (EC) (μs/cm)	۱۴۴۵۰	۵۵۵۰۰	۴۰۳۰۰	-	۲۹۸۰
TDS(mg/l)	۱۰۱۰۰	۴۷۰۰۰	۳۲۵۰۰	-	۱۹۸۰
مرحله دوم نمونه‌برداری ۱۳۹۲/۶/۱۷					
درجه حرارت (°C)	۳۹/۵	۴۱/۳	۴۱/۲	۳۵	۳۲
آب‌دهی (l/s)	۱۷۰	۱/۹	۰/۸۰	۵۲	۱۲۰
pH	۷/۰۵	۶/۴۳	۶/۸۲	۶/۴۹	۷/۴۸
Eh(V)	-۷	۳۲	۲۷	۷	-۳۲
هدایت الکتریکی (EC) (μs/cm)	۱۴۱۸۰	۵۵۸۰۰	۴۰۱۰۰	۴۰۱۰۰	۲۹۸۰
TDS(mg/l)	۹۳۳۰	۴۶۲۰۰	۳۳۵۰۰	۳۳۸۰۰	۱۹۸۰



شکل ۲- موقعیت چشمه‌ها در دیاگرام پایپر (A) و نمودار شولر (B)

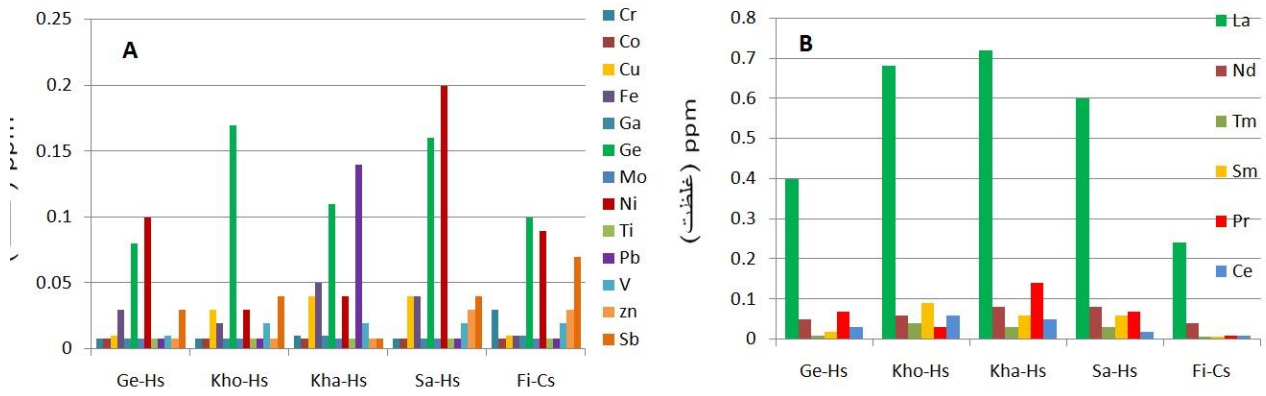
چشمه خورگو و عناصر Pb و Cu در چشمه خمیر دارای بیشترین غلظت می‌باشند (شکل ۳- A). غلظت عناصر کمیاب خاکی قابل ملاحظه است و بیشترین غلظت مربوط به لانتان (La) است (شکل ۳- B). غلظت اورانیوم و توریم در آب چشمه‌های گرم و سرد در میزان بالایی است. اورانیوم در چشمه خورگو دارای بیشترین غلظت است (۴/۸۹ mg/l). غلظت عناصر B، Si و Li در فصل خشک (مرحله دوم) نسبت به فصل تر (مرحله اول) افزایش نشان می‌دهد. عناصر As، Ni و Ag در فصل خشک کاهش چشمگیری نشان داده‌است (شکل ۴).

۳-۱- زمین‌شیمی محیط‌زیستی

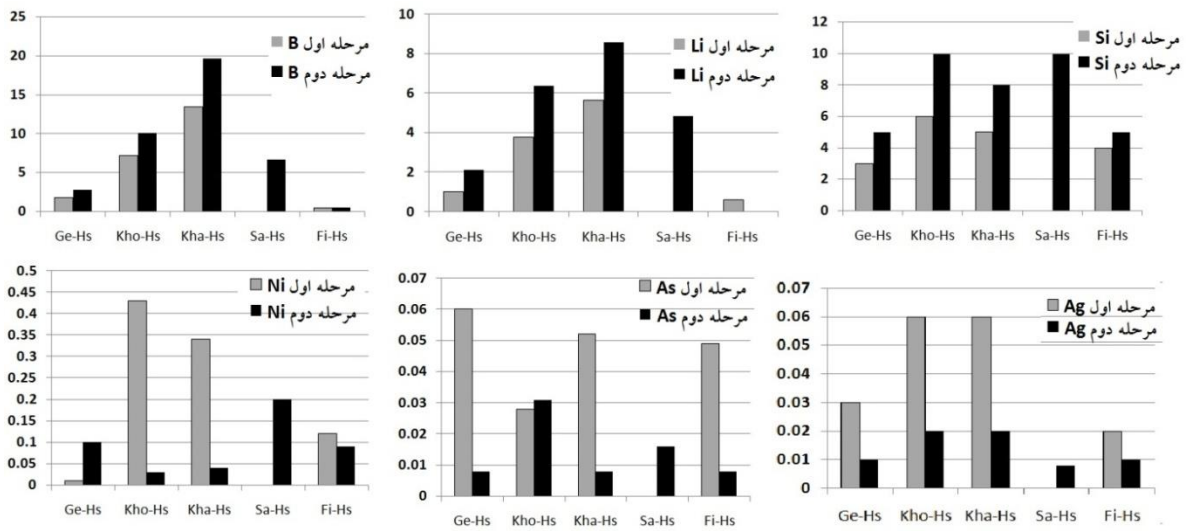
عناصر جزئی در آب چشمه‌های مورد مطالعه از غلظت قابل توجهی برخوردار بوده و نسبت به استانداردهای جهانی [۱۰ و ۱۱] تفاوت نشان می‌دهند (جدول ۲). میانگین غلظت عناصر B، Ni، Pb، Sb و As در آب چشمه‌ها به ترتیب ۷/۸۳، ۰/۰۹۲، ۰/۰۳۴، ۰/۰۳۷ و ۰/۰۱۴ بوده در حالی که مقادیر تعیین شده این عناصر توسط WHO به ترتیب ۲/۴، ۰/۰۲، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ می‌باشد، که از استانداردهای تعیین شده بالاتر است. غلظت عناصر Cr، Co، Ga، Mo، Ti و Al در اغلب چشمه‌ها زیر حد آشکار سازی است (۰/۰۱ mg/l). عنصر Ni در چشمه سرگز، عناصر Ge و V در

جدول ۲- مقایسه پارامترها و برخی عناصر جزئی چشمه‌ها (فصل خشک) با استاندارد های جهانی

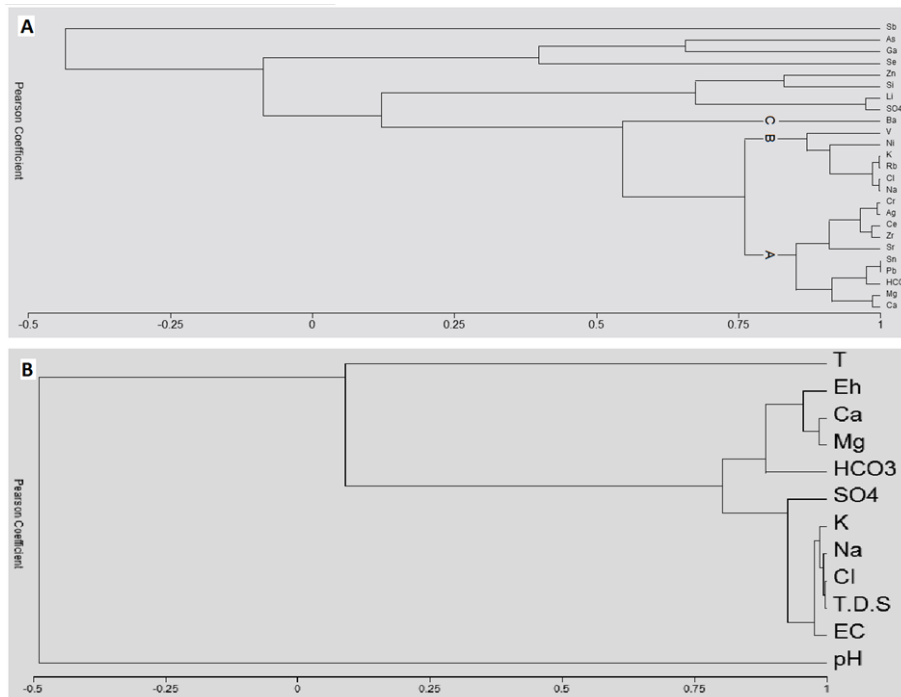
کد چشمه پارامتر	Ge-Hs	Kho-Hs	Kha-Hs	Sa-Hs	Fi-Cs	WHO(mg/l)
pH	۷/۰۵	۶/۴۳	۶/۸۲	۶/۴۹	۷/۴۸	۶/۵-۸/۵
EC (μS/cm)	۱۵۱۵۰	۷۷۰۰۰	۵۶۷۰۰	۵۸۱۲۰	۳۶۳۰	۲۰۰۰
Cl(mg/l)	۵۴۶۰	۲۶۰۹۳	۱۷۳۰۱	۱۷۳۰۱	۷۰۹	۲۵۰
SO4(mg/l)	۶۹۶	۲۳۲۸	۱۹۳۱	۲۳۹۷	۶۱۶	۲۵۰
Ca(mg/l)	۲۸۸	۱۰۱۶	۱۰۱۴	۶۷۸	۱۱۵	۵۰
K(mg/l)	۶۸	۴۰۶	۳۰۱	۲۵۶	۸	۱۰
B(mg/l)	۲/۸۰	۱۰/۰۷	۱۹/۶۴	۶/۶۶	۰/۵۹	WHO(2011)۲/۴
Ba(mg/l)	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۷WHO(2011)
As(mg/l)	۰/۰۱<	۰/۰۳۱	۰/۰۱<	۰/۰۱۶	۰/۰۱<	۰/۰۱
Ni(mg/l)	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۰۹	WHO(2008)۰/۰۲
Sb(mg/l)	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱<	۰/۰۴	۰/۰۷	WHO(2011)۰/۰۲
Mn(mg/l)	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۱<	WHO(2011)۰/۰۵
Pb(mg/l)	۰/۰۱<	۰/۰۱<	۰/۱۴	۰/۰۱<	۰/۰۱<	۰/۰۱
Cu(mg/l)	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۱	WHO(2011)۲
Fe(mg/l)	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۱	WHO(2011)۰/۳



شکل ۳- مقایسه غلظت عناصر جزئی A و عناصر نادر خاکی B در آب چشمه‌ها



شکل ۴- مقایسه غلظت عناصر جزئی در دو فصل تر (مرحله اول) و خشک (مرحله دوم) (mg/l)



شکل ۵- نمودار خوشه‌ای عناصر اصلی و جزئی B- نمودار خوشه‌ای آنیون- کاتیون‌ها و پارامترها (T,pH,EC,TDS)

می‌دهند که بیان‌گر واکنش طولانی مدت آب-سنگ و انحلال کانی‌های کربناته است. ۴- همبستگی قوی بین کلر و سولفات نشان می‌دهد که منشاء سولفات چشمه‌ها، علاوه بر رسوبات تبخیری ژپس و انیدریت، از منشاء مشترک با کلر حاصل آمده است. ۵- کلر با بیکربنات همبستگی ضعیف نشان می‌دهد. نسبت Ca/Cl در چشمه‌های گرم در مقایسه با چشمه آب سرد فین کمتر بوده (در چشمه آب سرد این نسبت ۰/۱۶ و در چشمه‌های گرم بین ۰/۵۸-۰/۳۸ است) که ممکن است انعکاس رسوب کلسیت در حین جریان باشد. آب‌های گرم از نظر کلسیت در حد اشباع یا فوق اشباع هستند [۱۲]. بالا بودن غلظت Ca و Sr در آب‌های ژئوترمال منطقه حاکی از جریان داشتن این آب‌ها در زمین‌های کارستی است. برتری یون K نسبت به Rb و یون Na نسبت به K در آب چشمه‌ها به وسیله متاسوماتیسم یا تبادل کاتیونی کنترل می‌شود، که بیان‌گر واکنش طولانی مدت سنگ-آب است [۱۳]. این نسبت در چشمه‌های گرم بین ۱۲۸-۳۳۸ و در چشمه سرد ۱۴ می‌باشد.

۳-۲- نوع و منشاء چشمه‌های آب گرم

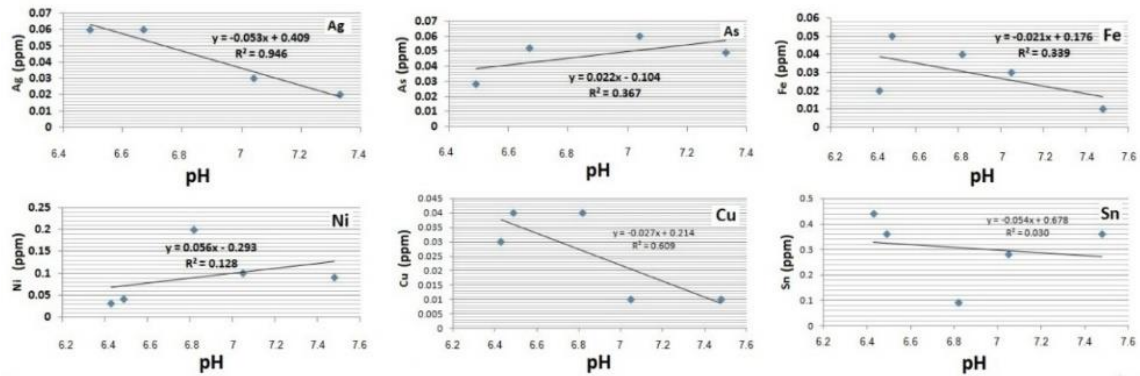
مهم‌ترین فرآیندی که در ترکیب سیالات ژئوترمال تاثیر گذار است انحلال کانی‌های اولیه سنگ و رسوب کانی‌های ثانویه است. انحلال موجب افزایش غلظت عناصری مانند B , Br , Cl و دیگر سازنده‌ها در سیالات آب‌خوان می‌شود، به همین دلیل ترکیب آب‌های ژئوترمال بسیار متفاوت است. بهترین روش برای تعیین تیپ آب‌های ژئوترمال استفاده از نمودار سه‌تایی $Cl-HCO_3-SO_4$ است که توسط گیگنباخ [۱۴] در سال ۱۹۹۱ ارائه شده است. در گزارش‌های قبلی این چشمه‌ها در ردیف آب‌هایی با کاتیون و آنیون‌های گرم با منشاء زمین ساختی معرفی شده بود [۱۵]. نتایج مطالعات این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب آب‌های ژئوترمال منطقه از نوع آلکالی کلراید می‌باشد (شکل ۷-ا). نسبت بالای HCO_3/Cl در آب چشمه‌های سرد انعکاسی از جریان کوتاه مدت و سریع بودن سیکل آب است، در حالی که نسبت پایین در آب‌های گرم بیان‌گر این است که این آب‌ها مدت زمان طولانی در زیر زمین گردش کرده‌اند و سیکل آب در عمق بوده است [۱۲]. این نسبت در چشمه آب سرد فین ۰/۳۹ و در چشمه‌های گرم به طور متوسط ۰/۲۱ می‌باشد. عنصر لیتیم از فلزات قلیایی است که تحت تاثیر فرآیندهای ثانویه قرار نمی‌گیرد و به همین دلیل از آن به عنوان عنصر ردیاب جهت ارزیابی

با توجه به تغییرات ناچیز EC و TDS در دو دوره نمونه‌برداری و ثابت بودن آب‌دهی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آب‌های جوی تاثیر زیادی در شیمی آب چشمه‌ها نداشته‌اند. با رسم نمودار خوشه‌ای می‌توان به منشاء برخی عناصر پی برد. نمودار خوشه‌ای (شکل ۵-ا) دارای ۳ شاخه است در شاخه A عناصر $Ca, Mg, Pb, Sn, Sr, Zr, Ce$ و HCO_3 با ضریب تشابه بالا به هم متصل‌اند که بیان‌گر همبستگی قوی و معنی دار بین آن‌ها است. این عناصر نیز با ضریب تشابه نسبتاً بالایی به شاخه B متصل‌اند. شاخه B شامل عناصر Na, Cl, Rb و K بوده که خود به نیکل و وانادیم که شاخص‌های آلودگی نفتی می‌باشند متصل هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از این عناصر می‌توانند منشاء آلودگی نفتی داشته باشند. در شاخه C، عنصر Ba به تنهایی قرار داشته و با ضریب تشابه پایین به عناصر شاخه B متصل است. سایر عناصر در بازه بی معنی قرار گرفته و تفسیر آن‌ها مشکل می‌باشد. در نمودار خوشه‌ای آنیون -کاتیون‌های اصلی و پارامترها (شکل ۵-ب) نتایج زیر قابل توجه است. pH با هیچ یک از پارامترها همبستگی نشان نمی‌دهد. دما تاثیری در غلظت و غنی سازی عناصر ندارد. EC و TDS بیش از همه به غلظت Cl , Na, K و SO_4 بستگی دارند و غلظت Mg , HCO_3 و Ca تاثیری در شوری آب چشمه‌ها ندارند.

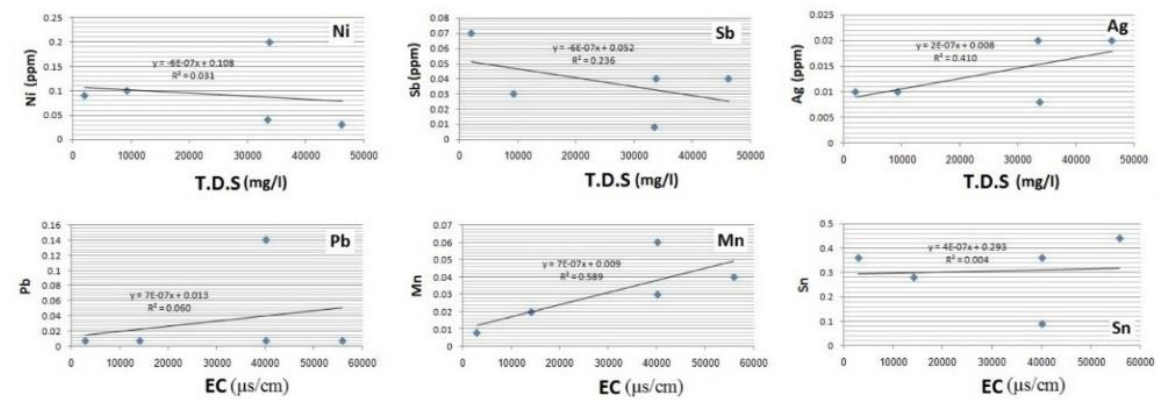
اگرچه pH آب بر روی فرآیندهای جذب و واجذب سطحی که کنترل کننده هیدروشیمی محیط‌های آبگین می‌باشند موثر بوده ولی ارتباط چندانی بین غلظت عناصر جزئی و pH در چشمه‌های مورد مطالعه دیده نشده است، به غیر از عنصر Ag که غلظت آن با افزایش pH کاهش می‌یابد، دیگر عناصر از قبیل As, Fe, Mn, Cu, Sn, Sb و Ni با pH همبستگی نشان نمی‌دهند (شکل ۶-الف). عناصر جزئی مانند Ni, Sb, Pb, Mn و Sn با EC و TDS همبستگی ضعیف بین ۰/۵۶۹-۰/۰۰۳ نشان می‌دهند (شکل ۶-ب) از طرفی با pH با پارامترهای EC و TDS همبستگی متوسط دارد (شکل ۶-د). برای تعیین کمی و کیفی واکنش‌های متقابل آب-سنگ از نمودار ترکیبی یون‌های اصلی در مقابل کلر به عنوان یون پایدار استفاده می‌شود. نمودارهای ترکیبی کلر در مقابل آنیون و کاتیون‌های اصلی (شکل ۶-ج) نشان داد که: ۱- همبستگی قوی بین کلر و سدیم بیان‌گر منشاء مشترک این دو یون می‌باشد. ۲- یون پتاسیم نیز با کلر همبستگی خطی نشان می‌دهد. ۳- دو یون کلسیم و منیزیم در مقابل کلر رابطه خطی داشته و همبستگی نسبتاً خوبی نشان

است [۱۷]. میزان بور (B) انعکاسی از درجه بلوغ سیستم زمین گرمایی است زیرا تبخیر در حین گرم شدن و بالا آمدن باعث خروج عناصری مانند B, As, Sb و Hg می‌گردد بنابراین سیستم‌های گرمایی قدیمی می‌توانند از این عناصر تهی گردند [۱۸].

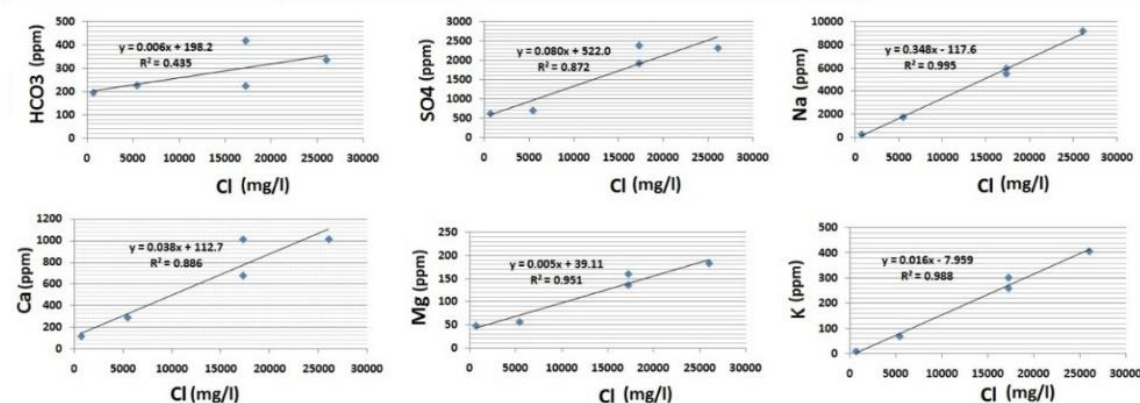
منشاء احتمالی کلر و بر و هم‌چنین برای تعیین فرآیند انحلالی سنگ استفاده می‌شود [۱۶]. در نمودار سه‌تایی Cl- Li-B (شکل B-۷) چشمه‌های گرم منطقه بندرعباس در نزدیک راس قرار می‌گیرند و نشان می‌دهد که این آب‌ها از یک سیستم گرمایی قدیمی منشاء گرفته‌اند. غلظت بالای کلر در آب چشمه‌ها نشانه عمیق بودن مخزن ژئوترمال



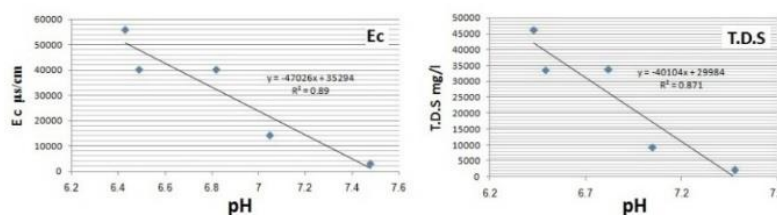
الف



ب

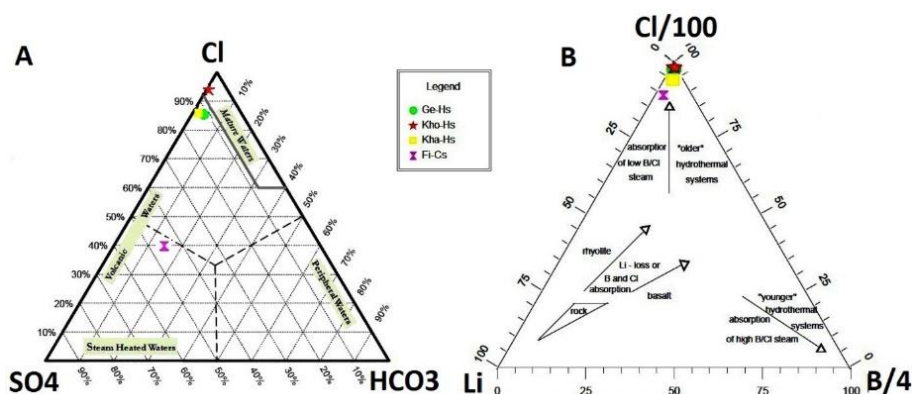


ج



د

شکل ۶- الف: نمودار ترکیبی pH در مقابل عناصر جزئی، ب: نمودار همبستگی عناصر جزئی با EC و TDS، ج: نمودار ترکیبی یون کلر در برابر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، د: نمودار همبستگی pH با EC و TDS



شکل ۷- دیاگرام های سه تایی [۱۴]: (A) تعیین تیپ چشمه‌های بندرعباس، (B) تعیین منشاء چشمه‌های بندرعباس

۴- نتیجه‌گیری

معاون وزیر و ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و جناب آقای دکتر پدram ناوی مدیر محترم تضمین کیفیت آن سازمان ابراز نمایم.

منابع

- [1] Ghafoori M R. Knowledge of mineral water and mineral springs Iran, Publications of Tehran University; 2003; p.386. [In Persian]
- [2] Aghanabati S A, Geology of Iran. third edition, Publications Geological Survey of Iran (GSI), 2010; p.583. [In Persian]
- [3] Statistical Yearbook of the Hormozgan province; 2008; [In Persian]
- [4] Moini M. Geological map of Bandar-e-Khamir, scale 1:100,000. National Iranian Oil Company, Exploration Directorate. Endorsed By Goodarzi M; 2005; Unpublished
- [5] Aghanabati S A, Geology and mineral potential of the Hormozgan province, Journal of Geology; 2009; Volume 15,2,p.18-28, [In Persian]
- [6] Gharabelli Gh R. Geological map of Fin, scale 1:100,000, National Iranian Oil Company, Exploration Directorate. Endorsed by Seifi R, Goodarzi M; 2005; Unpublished
- [7] Cody A D, Geodiversity of geothermal fields in the Taupo Volcanic Zone, DOC Research & Development Series 281, Science & Technical Publishing, New Zealand; 2007; p. 71.
- [9] Piper A M. A graphical procedure in the geochemical interpretation of Water analysis. Transaction of the American, Geophysical Union 25; 1944; 913- 923pp .
- [10] Schoeller H. Les eaux souterraines, Masson & Cie, Paris; 1962; 642pp
- [11] WHO, Guidelines for drinking-water quality, second addendum. Vol.1, Recommendation, 3th

منطقه مورد مطالعه بخشی از زاگرس چین‌خورده بوده که عملکرد نیروهای زمین‌ساختی باعث پدید آمدن تاق‌دیس‌ها، ناودیس‌ها و شکستگی‌های فراوان در سازندهای آهکی متعلق به کرتاسه تا میوسن شده است. این شکستگی‌ها محل رخنمون چشمه‌های آب گرم منطقه است. رخساره این چشمه‌های آب گرم از نوع کلروره سدیک همراه با گاز H_2S است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که این چشمه‌ها از یک مخزن گرمابی قدیمی و نسبتاً عمیق منشأ گرفته‌اند. با توجه به تغییرات ناچیز EC و TDS در دو دوره نمونه‌برداری و ثابت بودن آب‌دهی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آب‌های جوی تأثیر زیادی در شیمی آب چشمه‌ها نداشته‌اند. ارتباط چندانی بین غلظت عناصر جزئی و pH در چشمه‌های مورد مطالعه دیده نمی‌شود. مقایسه مقادیر حاصل از آنالیز آب چشمه‌ها با استانداردهای جهانی مشخص کرد که غلظت برخی عناصر نسبت به استانداردهای اعلام شده جهانی بیش از حد مجاز می‌باشند. آب این چشمه‌ها به دلیل شوری زیاد جهت شرب مناسب نبوده و در حال حاضر نیز عمدتاً به مصرف استحمام و آبیاری نخلستان‌ها می‌رسد. بالا بودن برخی عناصر از قبیل B, As, Ni, Sb, Mn و Pb نسبت به استانداردهای جهانی می‌تواند برای سلامتی مضر باشد. خروج گازهای گوگردی موجب آلودگی محیطی هوای اطراف چشمه‌ها می‌گردد. تخلیه این آب‌ها علاوه بر شور شدن خاک‌های کشاورزی و آب‌های زیر زمینی، موجب آلودگی آب‌خوان‌های سطحی به عناصر بالقوه سمی می‌شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گردیده، لذا شایسته است مراتب تشکر خود را از جناب آقای مهندس محمدتقی کره‌ای

- edition; 2008; ISBN 978 92 4 154760 4. World Health Organization.
- [12] WHO, Guidelines for drinking-water quality, World Health Organization. Fourth edition, Geneva; 2011; pp. 315-318
- [13] Han D M, Liang X, Jin M G, Currell M J, Song X F, Liu C M. Evaluation of hydrochemical characteristics and mixing behavior in the Daying and Qicun geothermal systems, Xinzhou Basin, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2010, 189, 92–104
- [14] Modabberi S, Jahromi Yekta S. Environmental geochemistry and sources of potentially toxic elements in thermal springs in the Sabalan volcanic field, NW Iran. Environmental Earth Sciences Journal. Published online 27 July 2013, Springer. DOI 10.1007/s12665-013-2660-0
- [15] Giggenbach W F. Chemical techniques in geothermal exploration; Application of geochemistry in geothermal reservoir development (D'Amore, F., Ed.), UNITAR/UNDP Center on Small Energy resources, Rome; 1991; pp.119-142.
- [16] Shahbeig A. Mineral and thermal water, Geological Survey of Iran(GSI); 1993; [In Persian]
- [17] Muhwezi D K. The Potential Relationship Of Some Geothermal Fields In Uganda; 2009; Reports, Orkustofnun, Grensásvegur 9, Number 20.
- [18] O'Brien J M. Hydrogeochemical Characteristics of the Ngatamariki Geothermal Field and a Comparison with the Orakei Korako Thermal Area, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. Master of Science in Geology; 2010; p.168.
- [19] Kipng'ok J, Kanda I. Introduction to geochemical mapping; 2011; Oct. 27 – Nov. 18.

