Archive of SID

تابستان ۹۵، سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰، صفحه ۶۱ تا ۶۶

بررسی منشأ زمین‌شناسی آلودگی به عنصر بور در چشمه‌های ایسی‌سو، شمال ارومیه

منیژه اسدپور [۱*]، اسفندیار عباس‌نوین‌پور [۱] و رامین نیکروز [۱]

[۱] استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۲۲/ ۰۲/ ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۱۳/ ۱۱/ ۱۳۹۴

چکیده

چشمه‌های آب گرم ایسی‌سو در ۷۰ کیلومتری شمال ارومیه، در شمالی‌ترین بخش پهنه سنندج- سیرجان قرار گرفته‌اند. پی‌سنگ منطقه را سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین با ترکیب گنایس، شیست و آمفیبولیت تشکیل می‌دهد که توسط رسوبات جوان‌تر پوشیده شده است. غلظت بور در چشمه‌های آب گرم منطقه بیشینه ۴۵۱ mg/l است. چشمه‌ها از نوع $Na-(SO_4)-HCO_3$ هستند و نسبت Na/Cl در آنها بیش از یک و B/Cl=0.37 است، که نشان از تأثیر فرایندهای خاص زمین‌شناسی در تشکیل آنها دارد. تا زمان انجام این پژوهش، مطالعه‌ای در مورد منشأ زمین‌شناسی بور در منطقه صورت نگرفته است. هدف اصلی این مطالعه تعیین عامل یا عوامل زمین‌شناسی به وجود آورنده غلظت بالای بور در آب این چشمه‌هاست که موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی بسیاری در منطقه شده است. طی این پژوهش مشخص شد که آب‌های جوی نفوذ یافته، در اثر گرمای ناشی از توده‌های نفوذی ژرف زمین گرم می‌شوند و سپس به‌همراه سیال‌های ماگمایی به بالا می‌روند. این آب‌ها در سطوح بالا در مخازنی با سنگ مخزن دگرگونی، جمع و سبب شست‌وشوی فازهای کانیایی حامل بور در آنها شده‌اند. آب دارای بور از راه شکستگی‌ها به سطح زمین می‌رسد. در منطقه بخشی از این آب به‌صورت چشمه آب گرم در سطح زمین جاری می‌شود و بخشی نیز از راه گسل‌ها، آلودگی را به مناطق همجوار انتقال می‌دهد. این پژوهش نشان داد که در منطقه ۲ عامل بیشترین تأثیر را بر مقدار بالای بور چشمه‌های ایسی‌سو دارد: ۱) واکنش متقابل میان سنگ- آب در شستشوی فازهای کانیایی ناپایدار حامل بور مانند مسکوویت، تورمالین، بیوتیت و هورنبلند موجود در سنگ های دگرگونی مانند گنیس و میکاشیست؛ ۲) نفوذ زبانه‌های سیال‌های ماگمایی حامل بور مرتبط با فعالیت‌های آتشفشانی جوان. با توجه به اینکه دمای بالا نقش زیادی در مقدار شست‌وشوی بور از سنگ‌های مسیر دارد، حدس زده می‌شود که مقدار بالای بور این چشمه‌ها، به احتمال نشان‌دهنده وجود پتانسیل‌های خوبی از مخازن آب گرم در ژرفای زمین و نیز وجود سنگ‌های با محتوای بور بالا در مسیر بالاآمدگی این آب‌ها باشد.

کلیدواژه‌ها: منشأ زمین‌شناختی، بور، چشمه‌های ایسی‌سو، فازهای کانیایی.

***نویسنده مسئول:** منیژه اسدپور

E-mail: m.asadpour@urmia.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

با توجه به محدود بودن منابع آب شیرین، افزایش روزافزون جمعیت و گسترش کشاورزی و صنایع مختلف، مشکلات دسترسی به منابع آب و ذخایر معدنی زیاد شده است؛ ضروری است که تمهیدات لازم برای جلوگیری از هدررفت آب‌ها در اثر آلودگی‌های ناشی از عوامل زمین‌شناسی شناسایی و تدابیر لازم انجام شود. عنصر بور از نظر زیست‌شناختی در مقادیر کم یک عنصر حیاتی و اصلی برای موجودات زنده است ولی در تمرکز بالا برای گیاهان و انسان مضر است و به عنوان یک عنصر سمی به شمار می‌رود. حد مجاز غلظت بور در آب آشامیدنی از ۰/۳ mg/l تا ۰/۱ است (WHO, 2011). زمانی‌که مقدار زیادی بور در مدت زمان طولانی از راه غذا و آب آشامیدنی جذب بدن جانوران شود، اندام‌های تولید مثلی جانوران نر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و سبب نازایی در آنها می‌شود. اگر جانوران ماده طی بارداری مقدار زیادی بور دریافت کنند، تولد موجود جدید با مشکل همراه خواهد بود و ممکن است به تأخیر بیافتد یا موجود جدید ناقص به دنیا بیاید. زمانی که فردی مقدار زیادی غذای دارای بور مصرف کند، غلظت بور در بدن به اندازه‌ای افزایش می‌یابد که در بدن فرد مشکلات فراوانی ایجاد می‌کند. بور سبب عفونت معده، کبد، کلیه‌ها و مغز و در پایان سبب مرگ می‌شود. مقدار کم بور سبب بروز مشکلاتی در گوش، گلو یا چشم می‌شود (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ۱۳۸۷). در بیشتر محصولات کشاورزی، علایم و نشانه‌های مسمومیت بور به‌صورت حاشیه‌های سوخته در برگ‌های قدیمی‌تر، زرد شدن برگ‌ها، پوسیدگی سریع و مرگ گیاه است (Nadav, 1999). بور کاربردهای بسیار زیادی در صنایع مختلف از جمله در صنایع هسته‌ای، ساخت سکوهای پرتاب موشک، فایبرگلاس‌ها، صنایع دارویی و کشاورزی دارد (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ۱۳۸۷). آلودگی منابع آبی به بور از نقاط مختلف دنیا گزارش شده است، که معمولاً در محدوده ۱ تا ۱۰۰ mg/l هستند. بیشترین آلودگی‌ها در ترکیه، کشورهای حوضه مدیترانه (مانند قبرس، یونان، ایتالیا و اسپانیا) و برخی از نواحی آمریکا گزارش شده است. در این نواحی آلودگی به بور در سطح وسیعی رخ داده و به یک مشکل ملی تبدیل شده است. بیشترین آلودگی درچشمه‌های آب گرم ترکیه ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (Özgür & Arife, 2014) و در یونان بیشینه ۴۳ mg/l است (Eisler, 1990). یکی از مناطق آلوده آمریکا رودخانه پارک یلوستون است که بیشترین آلودگی به بور در آن ۹۳/۶ mg/l است (Gemery-Hill et al., 2007). در ایران تعداد کمی گزارش از آلودگی منابع آبی به عنصر بور ارائه شده است که محدوده‌های کوچکی را شامل می‌شود. از جمله می‌توان قره‌گل زنجان و کلاته‌چوبک کاشمر را نام برد که به‌طور معمول مقدار بور آنها کمتر از ۲۰ mg/l است (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ۱۳۸۷).

چشمه‌های معدنی ایسی‌سو در ۷۰ کیلومتری شمال ارومیه و جنوب خاوری شهرستان سلماس جای گرفته‌اند. در منطقه سامانه‌های ساختاری فعال زمین‌شناسی با فعالیت‌های آتشفشانی اسیدی جوان، گسل‌ها، دگرسانی گرمابی، Fumaroles و چشمه‌های آب گرم همراه است. مشخصه این چشمه‌ها، داشتن مقدار زیادی بور بیشینه تا ۴۵۱ mg/l است (جدول ۲). آب این چشمه‌ها پس از خروج، با آب‌های سطحی مخلوط و سبب انتشار آلودگی در پایین‌دست می‌شود و در پایان به دریاچه ارومیه می‌ریزد. بخشی از آب چشمه‌های ایسی‌سو از راه گسل‌ها به مناطق مجاور انتقال می‌یابد و آب‌های زیرزمینی آنها را نیز آلوده می‌کند. حضور مقدار بالای بور در آب چشمه‌های ایسی‌سو و گسترش آن از راه گسل‌ها، مشکلات جدی برای کشاورزی و به احتمال سلامتی اهالی به وجود آورده است. در منطقه اثرات آلودگی بور در زمین‌هایی که با آب آلوده آبیاری می‌شوند به‌صورت زرد شدن و خشکیدگی برگ‌ها که نوعی مسمومیت است، به خوبی دیده می‌شود. بازده محصولاتی مانند گندم، جو، یونجه و یا درختانی مانند بید و صنوبر بسیار پایین است. در این محدوده اثری از گیاهان حساس به بور مانند درختان میوه و صیفی‌جات

www.SID.ir

Archive of SID

وجود ندارد. در مناطقی که میزان آلودگی خیلی بالاست اثری از پوشش گیاهی دیده نمی‌شود. مشکلات مربوط به کم‌آبی و خشک‌سالی‌های اخیر نیز آلودگی منابع آب و اثرات تخریبی زیست محیطی را تشدید کرده است. تاکنون مطالعه‌ای در مورد تأثیر عوامل زمین‌شناسی در آلودگی چشمه‌های ایسی‌سو به عنصر بور در منطقه صورت نگرفته است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی و مطالعه تأثیر ترکیب انواع سنگ‌ها بر مقادیر بالای بور در چشمه‌های ایسی‌سو است. در این پژوهش نمونه‌های سنگی پیرامون چشمه‌های معدنی ایسی‌سو پس از مطالعات دقیق میکروسکوپی در آزمایش‌های XRF تجزیه شده‌اند.

۲- روش نمونه‌برداری

برای بررسی منشا آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه، وسعتی در حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌برداری در دو دوره و به فاصله ۴ سال صورت گرفته است. تعداد ۵۰ نمونه سنگی از انواع سنگ‌های گردآوری شده با توجه به نوع سنگ‌ها، انتخاب شد که پس از تهیه مقاطع نازک، برای تعیین فازهای کانیایی و روابط بافتی میان آنها، بررسی‌های دقیق میکروسکوپی انجام شد. برای تعیین شیمی کل سنگ، ۳۲ نمونه سالم انتخاب شد. مقادیر اکسیدها به روش XRF در دانشگاه LMU مونیخ و به روش استاندارد انجام شد (جدول ۱). برای نمونه‌های آبی ۱۰ آزمایش شیمی از داده‌های جعفری‌باری (۱۳۸۸) استفاده شده است که مقدار عنصر بور آنها به روش Azomethine H با استفاده از دستگاه فتومتر Merck Nova 400 در آزمایشگاه مرکزی میکروبیولوژی و آنالیز شیمیایی آب شرکت آب و فاضلاب روستایی استان آذربایجان غربی انجام شده است. افزون بر موارد یاد شده، در هر بار بازدید از منطقه، از اهالی در مورد میزان مصرف آب آلوده و تأثیر آن بر میزان بازده محصولات کشاورزی و یا بروز بیماری‌های احتمالی پرس‌وجو شد.

۳- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در باختر دریاچه ارومیه و شمال شهر اورمیه جای گرفته است. با توجه به پهنه زمین‌ساخت ایران (شکل ۱- الف)، این منطقه در شمال باختری‌ترین بخش پهنه ساختاری سنندج- سیرجان جای دارد (Ghasemi & Talbot, 2006; Stocklin, 1968). از دید زمانی سنگ‌های پرکامبرین تا عهد حاضر در آن دیده می‌شود. ترکیب سنگی چیره در منطقه شامل سنگ‌های رسوبی (بیشتر ماسه‌سنگ به‌همراه سیلتستون، شیل، سنگ‌آهک و توف)، دگرگونی (شیست، آمفیبولیت و گنایس) و آذرین (انواع سنگ‌های مافیک تا اسیدی) است. در منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های دگرگونی و رسوبی تحت تأثیر هوازدگی گرمابی محلی قرار گرفته و با پهنه‌های دگرسانی فیلیتی، آرژیلیتی، سیلیسی، سولفیدی، هماتیتی و کربناتیتی مشخص شده‌اند که در مجاری خروجی آب و بخارهای گرمابی دیده می‌شود. دگوگونی ناحیه‌ای از رخساره شیست سبز تا رخساره پایین آمفیبولیت است. گاهی درجه دگرگونی ضعیف بوده و سنگ‌ها را تا حد متا دگرگون کرده است؛ مانند متاگابرو و متادیوریت‌ها. بخش گسترده‌ای از این سنگ‌ها به‌خاطر قرار گرفتن در امتداد پهنه‌های برشی دچار دگرشکلی پلاستیک دمابالا و گاهی فشاربالا شده است؛ به‌طوری که با حفظ پاراژنز ماگمایی، تا حد زیادی دگریخت شده و خطوارگی و برگوارگی پیدا کرده‌اند (اسدپور، ۱۳۹۳). پهنه‌های برشی مسیر خوبی برای حرکت سیال‌های گرمابی و در نتیجه دگرسانی گرمابی فراهم کرده است.

بیشتر سنگ‌های نفوذی منطقه گابرو و دیوریت است (با مجموعه کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، آمفیبول، بیوتیت، پیروکسن، کانی‌های کدر، آپاتیت و زیرکن) که به درون مجموعه دگرگونی پرکامبرین نفوذ کرده‌اند. سنگ‌های آذرین اسیدی در ابعاد وسیعی در منطقه دیده می‌شوند. کانی‌های آنها کوارتز، فلدسپار قلیایی، پلاژیوکلاز، مسکوویت، بیوتیت، کمی آمفیبول، آپاتیت، اسفن، تورمالین، زیرکن و کانی‌های کدر است. این سنگ‌ها با نام سنگ‌شناسی متاگرانیت معرفی شده‌اند. سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین تا کامبرین به‌خاطر محتوای کانیایی خود دارای مقادیر زیادی تورمالین و بیوتیت هستند. بررسی میکروسکوپی نشان می‌دهد که گنایس‌ها شامل فازهای کانیایی کوارتز، فلدسپار، تورمالین، بیوتیت و مسکوویت هستند. شیست‌ها روی گنایس‌ها قرار گرفته‌اند و از نوع مسکوویت‌بیوتیت‌شیست هستند.

۴- ویژگی‌های ریخت‌شناختی، آب‌شناختی و آب‌زمین‌شناختی

منطقه ایسی‌سو یک منطقه کوهستانی است و چشمه‌های آب گرم متعددی در ارتفاع ۱۷۷۰ متری از سطح تراز دریا قرار گرفته‌اند. این چشمه‌ها در زیر حوضه دشت آغ زیارت (از زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه) جای دارند. شروع آلودگی در منطقه از چشمه‌های آب گرم پیرامون روستای ایسی‌سو است که شامل چندین دهنه چشمه نزدیک به هم است (شکل ۲). آب‌های زیرزمینی پس از خروج از چشمه‌ها، از راه آبراهه موجود به پایین‌دست جریان می‌یابند و در مسیر خود با آبراهه‌های دیگر ادغام و در پایان به دریاچه ارومیه سرازیر می‌شوند. فاصله چشمه‌های یاد شده تا دریاچه ارومیه حدود ۱۴ کیلومتر است. در منطقه مورد مطالعه، بخشی از آب زیرزمینی به‌صورت چشمه در سطح زمین جاری و بخشی نیز از راه گسل‌های منطقه وارد آب‌های زیرزمینی دره مجاور (دره خرخره‌چای) و سبب آلودگی آن می‌شود. وسعت محدوده آلوده به بور نزدیک به ۲۵۰ کیلومتر مربع است (شکل ۳).

میانگین بارش درازمدت سالانه منطقه ۲۹۸ میلی‌متر در سال و میانگین دمای آن ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد است، بنابراین محدوده مورد مطالعه جزو مناطق با شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک به شمار می‌رود (اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۳). بیشتر بارش در فصل‌های زمستان و بهار بوده و در دیگر ماه‌ها خشکی چیره است. میانگین مجموع دبی چشمه‌های آب گرم بیشینه ۳ لیتر در ثانیه است. بیشترین دمای این چشمه‌ها نیز ۴۵ درجه سانتی‌گراد است.

۵- هیدروژئوشیمی

در این پژوهش از ۱۰ آزمایش نمونه‌های آبی جعفری‌باری (۱۳۸۸) استفاده شده که در فصل تابستان نمونه‌برداری شده است. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، مقدار بور چشمه‌های آب گرم بیشینه تا ۴۵۱ mg/l است. طبق جدول ۳، آب‌های گرم منطقه از نوع $Na-(SO_4)-HCO_3$ هستند. نسبت Na/Cl بیش از یک و نسبت B/Cl، ۰/۳۷ است. مقدار TDS چشمه‌ها، ۹۹۰۰ mg/l تا ۱۰۹۶۰ است. این چشمه‌ها نسبت کانی‌زایی کربناتی، سیلیسی و سولفیدی بالایی دارند. در محل خروج چشمه‌های آب گرم، مقادیر PH آب‌ها در محدوده ۷/۶ تا ۷/۷ هستند که در محدوده مقادیر PH چشمه‌های آب گرم طبیعی است.

۶- زمین‌شناسی

در محدوده چشمه‌های آب گرم و پیرامون آن، سنگ‌های دگرگونی (مانند گنایس، میکاشیست، آمفیبولیت) رخنمون گسترده‌ای دارند. مقدار تورمالین در گنایس‌ها قابل توجه است و همراه با بیوتیت موجود در میکاشیست‌های منطقه می‌توانند نقش مهمی برای محتوای بالای بور در آب‌های گرم منطقه داشته باشند. میان غلظت یون‌های مختلف و دما یک همبستگی در ژئوترمال‌ها وجود دارد، به‌ویژه برای عناصر Na، K و Mg این همبستگی، منفی و برای عنصر B همبستگی مثبت است. به‌طوری که هر چه دمای سیال‌های گرمابی زیاد باشد محتوای بور آنها نیز بیشتر خواهد بود (Vengosh et al., 2002). وجود ترکیبات $Na-HCO_3$ و $Na-SO_4$ در سیال‌های گرمابی نشان‌دهنده منشأ ژرف و نیز کنش و واکنش‌های متقابل با سنگ‌های دگرگونی مسیر در دماهای بالاست؛ در حالی که سیال‌های با ترکیب $Ca-Mg-SO_4-HCO_3$ به مفهوم منشأ کم‌ژرفا و کنش و واکنش با سنگ‌های کربناتی و آمیختگی با آب‌های

www.SID.ir

Archive of SID

زیرزمینی در دماهای پایین است (Vengosh et al., 2002). با توجه به مقدار بالای بور در چشمه‌های آب گرم منطقه، می‌توان حدس زد که منبع یا منابع غنی از سیال‌های داغ در ژرفاهای زیاد منطقه موجود باشد. به‌طوری که در نتیجه تأثیر متقابل میان سیال‌های داغ و سنگ‌های دگرگونی مسیر (با فازهای کانیایی بیوتیت، مسکوویت، تورمالین، فلدسپار و هورنبلند) مقدار بور و به احتمال برخی از عناصر دیگر در آنها افزایش یافته است. از سوی دیگر مقدار بور با مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 سنگ‌ها یک رابطه همبستگی مثبت دارد. بور ممکن است در شبکه بلوری به‌جای Si و Al گنجانده شود (Christ, 1965)؛ بدین معنی که هر چقدر مقادیر کوارتز، فلدسپار و میکاها در سنگ‌ها زیاد باشد، محتوای بور آنها نیز زیاد خواهد بود. مقادیر اکسیدهای عناصر اصلی نمونه‌های سنگی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است.

کانی‌های حاصل از دگرسانی مانند کوارتز، آلبیت، کلسیت، آراگونیت، کائولینیت، ایلیت، مونت‌موریلونیت، هماتیت، ژیپس، پیریت، سیدریت و هیدروبیوتیت به فعالیت‌های زمین‌گرمایی نسبت داده شده‌اند که در مخزنی با دمای حدود ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل شده‌اند (Vengosh et al., 2002). مقاطع میکروسکوپی از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که کلریتی و آلبیتی شدن یک پدیده عادی در بیشتر آنهاست. در این سنگ‌ها پاراژنز کانیایی کلریت، کلسیت، ایلیت، کائولینیت و مونت‌موریلونیت دیده می‌شود که بی‌تردید با فعالیت‌های زمین‌گرمایی در منطقه و سامانه‌های گسلی فعال مرتبط است. از روی این پاراژنز می‌توان دمای مخزن را حدود ۲۰۰°C برآورد کرد که باید در ژرفای حدود ۷۵۰ تا ۸۵۰ متر قرار داشته باشد.

بر پایه داده‌های این پژوهش، دو مدل برای منشأ بور در چشمه‌های ایسی‌سو پیشنهاد می‌شود: ۱) Cl، HCO_3 و B محلول، مشتق از سیال‌های گوشته‌ای ژرف دارای گازهای HCl، CO_2 و $B(OH)_3$؛ ۲) واکنش‌های متقابل سنگ- آب که سبب شستشوی فازهای کانیایی ناپایدار حامل بور از سنگ‌های دگرگونی مخزن به درون فاز سیال شده است. اگر طبق مدل اول همه بور از سیال‌های گوشته‌ای ژرف مشتق شده باشد باید انتظار داشت که بور در همه سامانه‌های گرمابی منطقه یکنواخت و مشابه باشد. با توجه به اینکه هیچ مطالعه زمین‌شناسی در چشمه‌های آب گرم پیرامون منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است نمی‌توان در این مورد اظهارنظر قطعی کرد. از سوی دیگر با توجه به محتوای کانیایی سنگ‌های منطقه به نظر می‌رسد که بخش زیادی از بور در اثر واکنش متقابل میان آب- سنگ تشکیل شده باشد. بررسی‌های Vengosh et al. (2002) نشان داده که غلظت‌های بالای یون‌هایی مانند Na، K و B بیشتر می‌تواند حاصل واکنش‌های متقابل میان آب- سنگ باشد، تا حاصل از گاز $B(OH)_3$ سیال‌های گوشته‌ای ژرف. با این وجود، به نظر می‌رسد که هر دو عامل یعنی نوع سنگ‌های مخزن و سیال‌های ماگمایی اولیه در مقدار کلی بور سامانه آب گرم چشمه‌های منطقه تأثیرگذار باشند؛ با این توضیح که نقش واکنش‌های متقابل میان سنگ- آب با توجه به مقادیر زیاد بور، بیشتر است.

با توجه به ۲ دوره نمونه‌برداری در منطقه به فاصله ۴ سال و پرس‌وجو از اهالی مشخص شد که خشک‌سالی‌های چند سال اخیر، سبب کاهش قابل ملاحظه دبی چشمه‌ها شده است که تأثیر منشأ آب‌های جوی را مشخص می‌کند (برای تعیین درصد میزان مشارکت آب‌های جوی و سیال‌های ماگمایی باید مطالعه ایزوتوپی عناصر H، O و C انجام شود). آب‌های جوی در پهنه‌های گسلی و از راه درز و شکاف‌ها، به ژرفای زمین نفوذ می‌کنند. در ژرفای منطقه مورد مطالعه یک مخزن گرمایی ماگمایی وجود دارد (به احتمال در ژرفای ۴ تا ۵ کیلومتری)؛ به‌طوری که سیال‌های جوی نفوذ یافته، توسط گرمای حاصل از منبع گرمایی ماگمایی گرم شده و با سیال‌های ماگمایی حامل ترکیب‌های فرار مانند HB بیرون آمده از ماگما می‌آمیزند و به بالا می‌روند. در مسیر بالاآمدگی، مخزن و یا مخازنی در سنگ‌های دگرگونی و رسوبی وجود دارد که این مجموعه داغ وارد آنها می‌شود. در این مخازن میان سنگ‌های دگرسان شده، ترکیب‌های گازی و مایعات داغ حالت تعادل وجود دارد و واکنش‌هایی میان سنگ مخزن و سیال‌ها صورت می‌گیرد، که با توجه به ترکیب آنها، سبب افزایش مقدار بور و برخی عناصر دیگر می‌شود. این مجموعه داغ از راه شکستگی‌های حاصل از زمین‌ساخت به بالا می‌رود و در پایان در سطح زمین ظاهر می‌شود. با توجه به مطالب بالا، در شکل ۴ مدلی برای منطقه ارائه شده است.

۷- آب‌شناسی و هیدروژئوشیمی

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که آلودگی به بور در محدوده وسیعی از آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه وجود دارد. بخشی از آب دارای بور به‌صورت چشمه (چشمه‌های ایسی‌سو) در سطح زمین جاری می‌شود و بخشی نیز پیش از رسیدن به سطح زمین به واسطه گسل‌ها به آبخوان‌های مجاور انتقال می‌یابد. وجود گسل، شیب توپوگرافی و ریخت‌شناسی خاص منطقه عامل‌های اصلی انتشار آلودگی در منطقه هستند.

نتایج آزمایش‌های شیمی آب چشمه‌های ایسی‌سو نشان می‌دهد که این چشمه‌ها از نوع $Na\text{-}(SO_4)\text{-}HCO_3$ هستند و $Na/Cl>1$ و $B/Cl=0.37$ است (جدول‌های ۲ و ۳). این ویژگی‌ها بیانگر منشأ غیر دریایی چشمه‌های آب گرم منطقه است. زیرا به گفته Vengosh et al. (2002) سیال‌های گرمابی با ترکیب Na-Cl و نسبت $Na/cl < 1$ منشأ دریایی و سیال‌های با $Na/Cl>1$ منشأ غیردریایی دارند. طبق گفته White & Waring (1963) آب چشمه‌هایی که دارای آب آتشفشانی یا دگرگونی هستند، نسبت B/Cl میان 0.02 و 0.4 است که این نسبت خیلی بیشتر از آب دریاست (0.00023). یون سدیم موجود در چشمه‌های ایسی‌سو می‌تواند از سنگ‌های دگرگونی پی‌سنگ منطقه باشد؛ در حالی که منشأ مقدار کم Ca^{2+}، سنگ‌های کربناتی کم‌ژرفای مسیر است. نقش دریاچه ارومیه در مورد ترکیب آب چشمه‌های ایسی‌سو منتفی است؛ زیرا افزون بر نسبت‌های بالای Na/Cl و B/Cl، موضوع آمیختگی آب دریاچه با آبخوان منطقه تنها در مناطق ساحلی می‌تواند مطرح باشد، در صورتی که چشمه‌های ایسی‌سو دست کم ۱۴ کیلومتر با ساحل دریاچه فاصله دارند. افزون بر آن، میزان بور دریاچه ارومیه 77 mg/l است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۳) که خیلی کمتر از میزان بور چشمه‌هاست. یون‌های Na، K، Caو Mg با دما، تغییرات منظم نشان می‌دهند. غلظت این عناصر در سیال‌های گرمابی تا حد زیادی وابسته به دما و ژرفاست. در سراسر جهان می‌توان آب‌های گرمابی با غلظت‌های بالای بور را در مناطق غیردریایی دید. در نتیجه مقدار آن می‌تواند به عنوان یک ردیاب حساس برای انتقال و آمیختگی سیال‌های گرمابی با آب‌های زیرزمینی کم‌ژرفا مورد استفاده قرار گیرد (Vengosh et al., 2002).

۸- نتیجه‌گیری

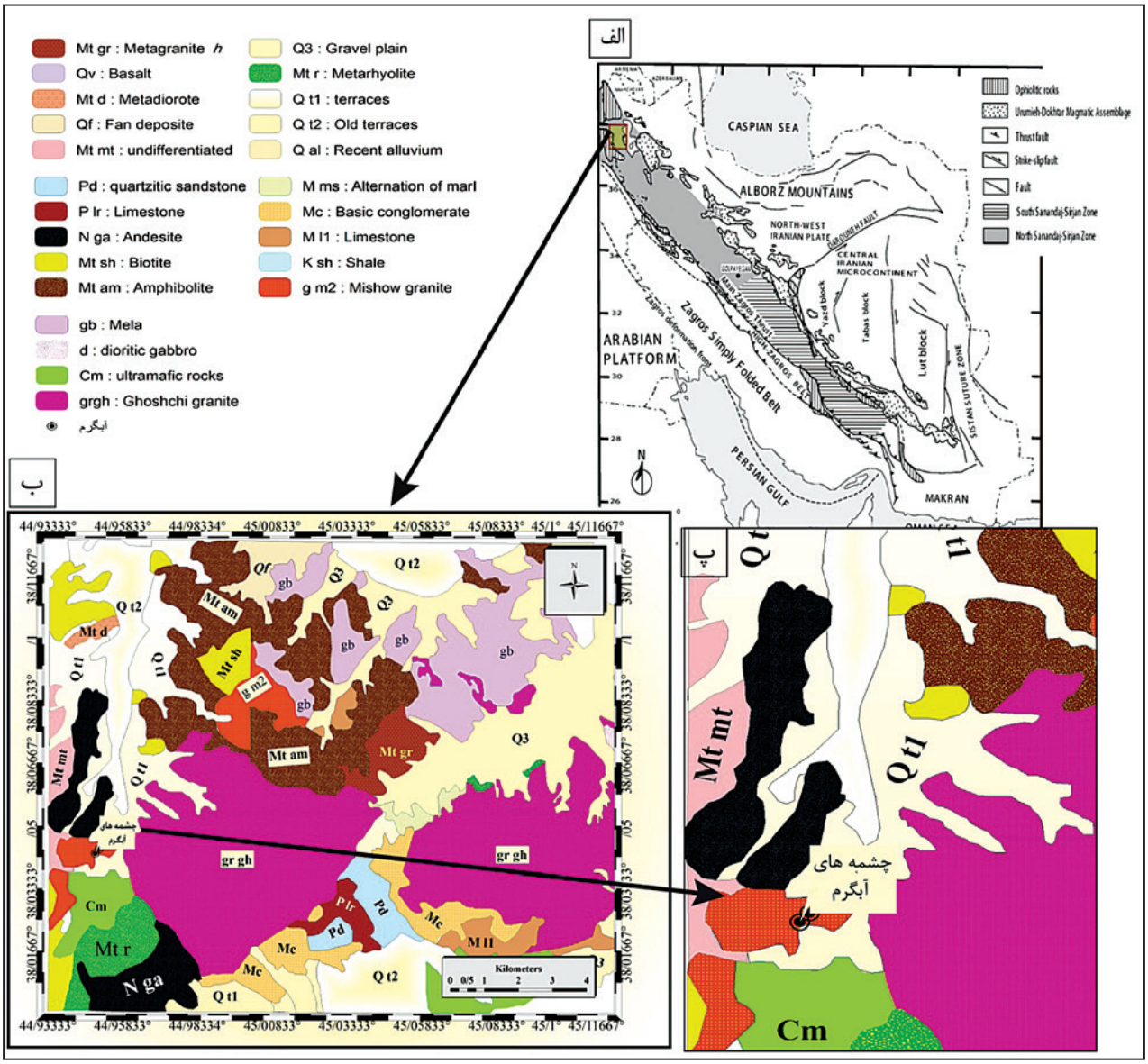
چشمه‌های ایسی‌سو در شمال ارومیه، دارای غلظت بور بیشینه تا 451 mg/l هستند و در ردیف چشمه‌های آب گرم با آلودگی خیلی بالا قرار می‌گیرند. گسل‌های موجود در منطقه، شیب توپوگرافی و ریخت‌شناسی منطقه از عوامل مهم گسترش آلودگی به مناطق هم‌جوار است. این چشمه‌ها از نوع $Na\text{-}(SO_4)\text{-}HCO_3$ هستند. ترکیب شیمیایی و محتوای بالای بور آب این چشمه‌ها نشان از منشأ غیردریایی آنها دارد. بررسی سنگ‌شناسی نمونه‌های سنگی بیانگر وجود مقدار زیاد فازهای کانیایی حامل بور(تورمالین، مسکوویت و بیوتیت) در سنگ‌های دگرگونی مانند گنایس و میکاشیست‌هاست که طی فرایند واکنش‌های متقابل سنگ- آب از سنگ‌های مسیر شسته و وارد سیال شده است. این فرایند به‌همراه سیال‌های ماگمایی با منشأ ژرف از عوامل مهم آلودگی منابع آبی منطقه به عنصر بور است. آلودگی آب‌های منطقه به بور سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی متعددی به‌ویژه در بخش کشاورزی منطقه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پروژه تحقیقاتی با عنوان مطالعه و تعیین منشأ آلودگی به بور در آب‌های منطقه قره‌باغ و دشت سلماس و اتخاذ راهکارهای مناسب و لازم با کد AGE-88008 است که با حمایت مشترک میان دانشگاه ارومیه و شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی به انجام رسیده است؛ از زحمات خانم پروفسور Sorya Heuss از دانشگاه لودویگ ماکسی میلیانز شهر مونیخ آلمان برای یاری رساندن در انجام آزمایش‌های ژئوشیمی نمونه‌های سنگی پروژه و نیز از آقای مهندس مهدی جعفری‌باری برای در اختیار گذاردن نتایج آزمایش‌های شیمیایی نمونه‌های آبی سپاسگزاری می‌شود.

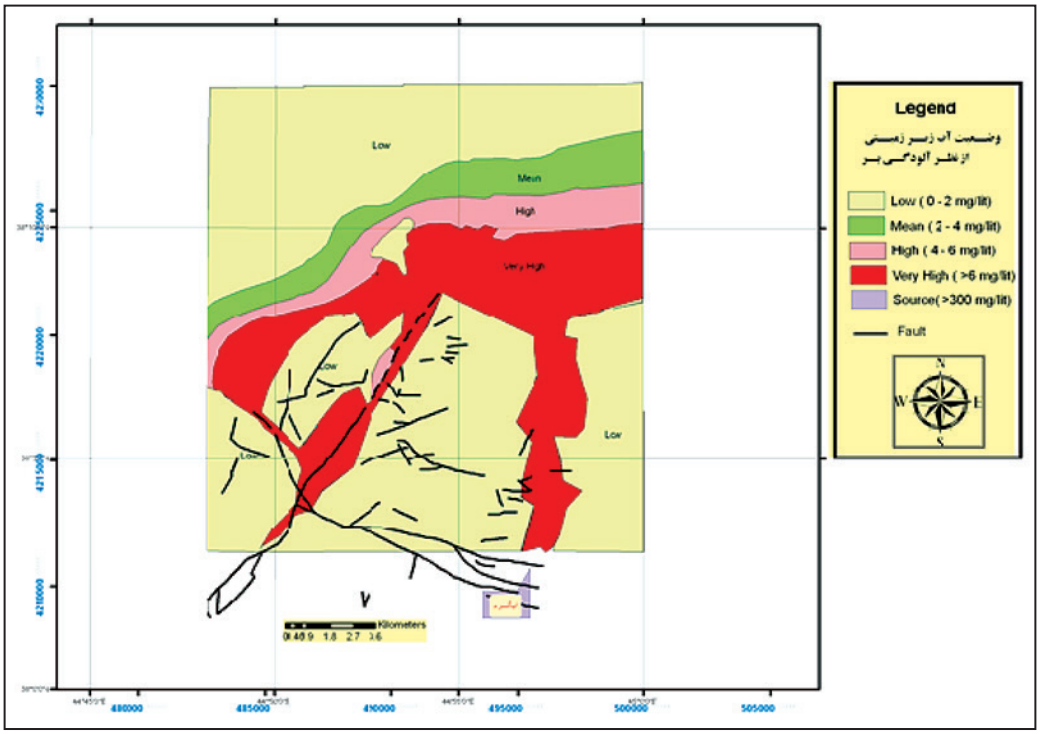


شکل ۱- الف) جایگاه زمین‌ساختی گستره مورد پژوهش (برگرفته از Ghasemi & Talbot (2006))؛ ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ برگه‌های تسوج و سلماس تهیه شده توسط آقانباتی و حقی‌پور (۱۳۸۳))؛ پ) موقعیت چشمه‌های آب گرم در نقشه زمین‌شناسی بزرگ شده.

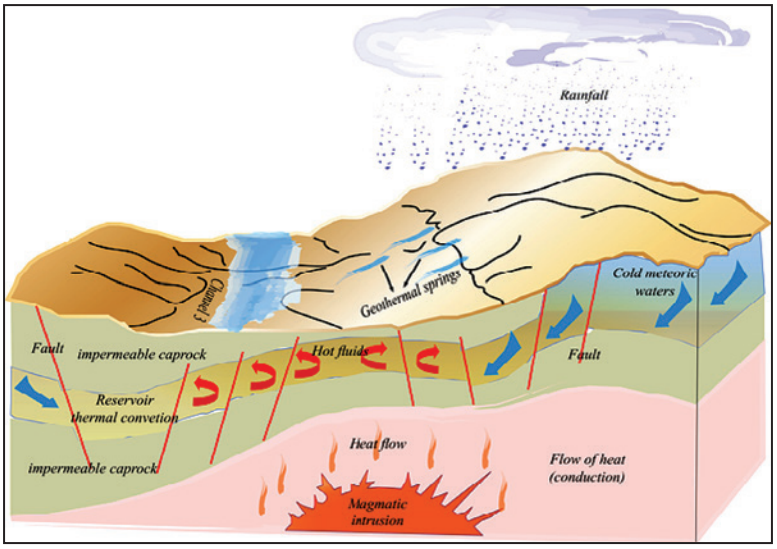
شکل ۲- دو نمونه از چشمه‌های معدنی ایسی‌سو: الف) از کف دره و از میان رسوبات عهد حاضر بیرون زده است؛ ب) از میان شکستگی سنگ‌های رسوبی پرمین بیرون زده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- موقعیت محدوده‌های آلوده به بور و گسل‌های منطقه (جعفری‌باری، ۱۳۸۸).



شکل ۴- مدل ساده شده‌ای از چگونگی تشکیل چشمه‌های آب گرم منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱- نتایج تجزیه عناصر اصلی (بر حسب درصد) تعدادی از نمونه‌های سنگی منتخب از منطقه ایسی‌سو.

Sample no.	MA-8	MA-11	MA-12	MA-14	MA-15	MA-16	MA-18	MA-22	MA-23	MA-24	MA-27
SiO_2	50.29	49.48	49.38	57.6	44.77	49.93	49.2	49.87	46.54	50.57	49.32
Al_2O_3	15.48	15.31	15.95	13.25	14.19	14.64	14.48	15.64	9.4	15.83	14.32
Fe_2O_3t	13.47	10.47	10.77	9.83	13.33	11.23	12.47	11.41	12.69	12.02	12.37
MnO	0.19	0.15	0.17	0.13	0.17	0.17	0.17	0.18	0.19	0.17	0.15
CaO	7.79	10.92	10.14	6.86	17.33	11.13	9.4	10.06	6.13	10.18	10.57
K_2O	1.31	0.59	0.66	2.09	0.12	0.64	0.85	0.66	0.82	0.71	0.94
Na_2O	3.33	2.34	2.13	2.9	0.82	2.35	2.52	2.8	1.74	2.82	2.78
TiO_2	2.8	1.61	0.82	1.42	2.46	1.62	1.77	1.5	0.92	1.76	1.85
P_2O_5	0.45	0.18	0.09	0.26	0.21	0.19	0.24	0.22	0.12	0.29	0.26
MgO	4.17	8.12	9.77	6.54	6.57	8.35	8.9	6.68	20.68	6.81	6.11

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقدار عنصر بور در نمونه‌های آب برداشت شده از چشمه‌های ایسی‌سو (جعفری باری، ۱۳۸۸).

شماره نمونه	محل نمونه‌برداری	EC µS/cm	TDS mg/l	Boron mg/l
۱	چشمه۱	۱۶۸۶۰	۱۰۹۶۰	۴۴۲
۲	چشمه ۲	۱۶۷۵۰	۱۰۸۹۰	۴۵۰
۳	چشمه ۳	۱۶۷۷۰	۹۹۰۰	۴۳۵
۴	چشمه پایین‌دست چشمه ۱	۱۶۸۷۰	۹۹۰۰	۴۳۸
۵	چشمه بالادست چشمه ۳	۱۶۸۵۰	۱۰۹۵۰	۴۴۰
۶	چشمه ۴	۱۵۷۳۰	۱۰۲۲۰	۴۴۶
۷	خروجی آبراهه چشمه‌ها (سرشاخه ۳)	۱۷۴۵۰	۱۱۲۸۰	۴۵۱
۸	آبراهه سمت راست چشمه‌ها(سرشاخه ۲)	۶۷۱۰	۴۳۶۰	۲۶۵
۹	چشمه برخورد دو آبراهه	۱۵۷۵۰	۱۰۲۴۰	۴۱۰
۱۰	محل برخورد آبراهه‌های ۲ و ۳	۱۱۴۰۰	۷۴۱۰	۳۸۰

جدول ۳- نتایج مقادیر میانگین تجزیه شیمیایی آب چشمه‌های ایسی‌سو (جعفری‌باری، ۱۳۸۸).

مورد اندازه‌گیری	واحد	مقدار
بی‌کربنات	mg/l	۱۲۸۳۴/۴
باقیمانده خشک	mg/l	۱۳۱۰۰
کلر	mg/l	۱۲۰۷
سولفات	mg/l	۲۸۵۱/۸
کلسیم	mg/l	۱۰/۴
منیزیم	mg/l	۱۵/۶
پتاسیم	mg/l	۲۵۶
سدیم	mg/l	۶۸۷۲/۳
توانایی هدایت الکتریکی		۲۰۸۵۹
نسبت جذب سدیم		۳۱۴/۵
PH		۷/۷–۷/۸

کتابنگاری

اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۳- قابل دسترسی در: http://www.met-ag.ir.

اسدپور، م.، ۱۳۹۳- پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی مافیک- الترامافیک منطقه قره باغ - قوشچی و سرو واقع در شمال غرب ایران، پایان‌نامه دکترا، گرایش پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۶۴ ص.

آقانباتی، س. ع. و حقی‌پور، آ.، ۱۳۸۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ سرو، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۱۳۸۷- قابل دسترسی در: www.ngdir.ir/geolab/PGeoLabElements.asp?PID=۵.

جعفری‌باری، م.، ۱۳۸۸- بررسی منشا آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه آغ‌زیارت سلماس و نحوه کنترل آن، طرح تحقیقاتی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۴۹ ص.

مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۳- مطالعات پیامدهای زیست‌محیطی طرح‌های توسعه منابع آب (اثرات کمی و کیفی) در محدوده حوضه دریاچه ارومیه، شرکت آب منطقه ای آذربایجان غربی، ۹۲ ص.

References

Christ, C. L., 1965- Substitutions of boron in silicate crystals: Norsck Geol Tidsskrift,423-428 :45 .

Eisler, R., 1990- Boron hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review, U.S. Fish Wildlife Service, Biological Report,1-20 :85 .

Gemery- Hill, P. A., Shanks, W. C., Balistrieri L. S. & Lee, G. K., 2007- Geochemical Data for Selected Rivers, Lake Waters, Hydrothermal Vents, and Subaerial Geysers in Yellowstone National Park, Wyoming and Vicinity, 1996-2004. US Geological Survey, 1717: 1-62.

Ghasemi, A. & Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences, 26: 683–693.

Nadav, N., 1999- Boron removal from seawater reverse osmosis permeates utilizing selective ion exchange resin, Desalination, 124: 131-135.

Özgür, N. & Arife, Ç. T., 2014- Reservoirs and Reinjection of the Thermal Waters of Kızıldere, Western Anatolia, Turkey, Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, California, 39:24-26.

Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52: 1229-1258.

Vengosh, A., Helvacy, C. & Karamanderesu, Ü. H., 2002- Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey, Applied Geochemistry 17: 163-183.

White, D. E., Hem, J. D. & Waring, G. A., 1963- Chemical composition of subsurface water. U.S. Geological Survey, USGS professional papers 440-F.

WHO (World Health Organization), 2011- Guidelines for Drinking Water Quality. Fourth edition, Geneva, Switzerland: editior press. Available at: htt://whqlibdoc. Who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf (accessed: 2nd November 2014).

www.SID.ir

Archive of SID

Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, Vol. 25, No.100, Summer 2016

The geological study of the origin of boron contamination in the Issiso springs, North of Urmia

M. Asadpour [1*], E. Abbas Novinpour [1] & R. Nikrouz [1]

[1] Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 2015 May 12 Accepted: 2016 February 02

Abstract

Issiso hot springs are located 70 km of North of Urmia, within the northernmost part of the Sanandaj–Sirjan zone. The basement of study area is comprised by precambrian metamorphic rocks that consist of gneiss, schist and amphibolite are overlain by younger sediments. The boron concentration in the study area thermal waters is up to 451 mg/l. The warm waters of the region belong to the type of Na-(SO4)-HCO3. The Na/Cl ratio is more than 1 and B/Cl ratio is 0.37. It reflects the impact of specific geological phenomena in formation of rocks. Up to now there is no any geological study of the origin boron in this area. The main aim of this study is to determine geological factor(s) creating this high concentration which caused many environmental problems in the region. In this study it is determined that penetration meteoric water, heated by the deep intrusive magmatic bodies and then rises up with magmatic waters. At high levels, these waters collect in reservoirs including metamorphic host rocks and caused leaching of boron bearing mineral phases. The boron bearing water reaches the surface through faults. Part of the contamination water appears in the form of hot springs and another part through the faults caused spread contamination around the areas. This study shows that high boron contents in the Issiso thermal waters can be attributed to: 1) unstable boron bearing mineral phases same of muscovite, tourmaline, biotite and hornblende in the metamorphic rocks such as gneiss and mica schist, and 2) input of boron-bearing magmatic fluids, related to young volcanic activities. Due to the high temperature play a large role in leaching the boron from the path rocks, it is estimated that high content of boron in Issiso springs may indicate the presence high potential of reservoirs of hot water in depths of earth and also the presence of rocks with high boron content in the path of rising waters.

Keywords: Geological source, Boron, Issiso springs, Mineral phases.

For Persian Version see pages 61 to 66

*Corresponding author: M. Asadpour; E-mail: m.asadpour@urmia.ac.ir

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional
www.SID.ir