



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک
پایان نامه کارشناسی ارشد

تلفیق مطالعات هیدروژئوشیمی فلزات کمیاب و اطلاعات لیتوژئوشیمیایی در
برخی از مناطق استان آذربایجان شرقی و اردبیل به منظور اکتشاف منابع
ژئوترمال

الیاس عسکری

اساتید راهنما:

دکتر سید رضا قوامی ریایی

دکتر فرامرز دولتی اردجانی

شهریور ماه ۱۳۹۴





دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه اکتشاف معدن

تلفیق مطالعات هیدروژئوشیمی فلزات کمیاب و اطلاعات لیتوژئوشیمیایی در
برخی از مناطق استان آذربایجان شرقی و اردبیل به منظور اکتشاف منابع
ژئوترمال

دانشجو: الیاس عسکری

اساتید راهنما:

دکتر سید رضا قوامی ریابی

دکتر فرامرز دولتی اردجانی

استاد مشاور:

مهندس محمدرضا رحمانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۴

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم الیاس عسکری

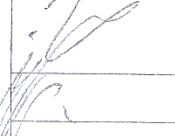
تحت عنوان:

تلفیق مطالعات هیدروژئوشیمی فلزات کمیاب و اطلاعات لیتوژئوشیمیایی در برخی از مناطق

استان آذربایجان شرقی به منظور اکتشاف منابع ژئوترمال

در تاریخ ۹۴/۶/۱۲ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : محمدرضا رحمانی		نام و نام خانوادگی : سیدرضا قوامی ریابی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : فرامرز دولتی اردجانی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : مهرداد سلیمانی		نام و نام خانوادگی : غلامحسین کرمی
			نام و نام خانوادگی : حمید آقاجانی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تشکر و قدردانی

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی.

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب های بزرگشان که فریادس است و سرکردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می کراید.

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

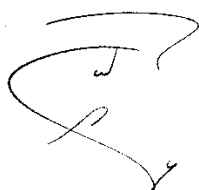
ایاس عسکری

شهریورماه ۹۴

تعهد نامه

اینجانب **الیاس عسکری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن (اکتشاف) دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه "تلفیق مطالعات هیدروژئوشیمی فلزات کمیاب و اطلاعات لیتوژئوشیمیایی در برخی از مناطق استان آذربایجان شرقی و اردبیل به منظور اکتشاف منابع ژئوترمال" تحت راهنمایی دکتر سید رضا قوامی ریایی و دکتر فرامرز دولتی اردجانی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.



امضای دانشجو

تاریخ ۹۴/۷/۱۲

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

- متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد

چکیده

رشد روز افزون جمعیت نیاز جوامع به انرژی را بیش از پیش افزایش می‌دهد. از این رو استفاده از انرژی پاک و تجدیدپذیر در بیشتر کشورهای توسعه یافته مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر با توجه به رو به اتمام بودن منابع انرژی‌های فسیلی، مضرات طبیعی، زیست محیطی و هزینه‌های گزاف آن روی آوردن به انرژی‌های پاک امری منطقی به نظر می‌رسد. انرژی زمین‌گرمایی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، در این گروه قرار می‌گیرد.

ایران با توجه به قرارگیری بر روی کمربند زمین‌گرمایی شرایط مناسبی برای استفاده از این انرژی را دارد. مطالعات پیشین، وجود منابع بالقوه زمین‌گرمایی در برخی مناطق ایران را تأیید می‌کند. بعد از اکتشافات مقدماتی مطالعه دقیق‌تر بر روی هر کدام از پتانسیل‌های شناسایی شده جهت تعیین جزئیات دقیق‌تر صورت می‌پذیرد. استان آذربایجان شرقی با توجه به قله مرتفع آتشفشانی، حضور ولکانیک‌های جوان و چشمه‌های آبگرم که دمای برخی از آن‌ها از ۵۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز می‌کند به عنوان یکی از مناطق مستعد مطرح است.

در این پژوهش با مطالعه عناصر با اهمیت از قبیل REE, As, Cl, B, Ge, Ga, و Hg در نمونه‌های آب، سنگ و خاک استان آذربایجان شرقی و مقایسه با سایر مناطق زمین‌گرمایی دنیا مناطق دارای اهمیت در این استان مشخص گردید. منطقه قره‌آغاج با سطح وسیع دگرسانی آرژیلیک که نشان دهنده فعالیت‌های هیدروترمالی است، در کنار غلظت بالای جیوه در نمونه‌های خاک و غلظت بالای آرسنیک در آب چشمه منشگه چاراویماق از اهمیت بالایی برخوردار است. از سوی دیگر مطالعات ژئوترمومتری دمای بالایی برای مخزن در این منطقه را نشان می‌دهد. منطقه کلیبر با توجه به حضور چشمه آبیش احمد که غلظت بالای Ga, Mo در نمونه آب و غلظت بالای Hg را در نمونه خاک نشان می‌دهد، از اهمیت بالایی برخوردار است. مناطق بستان‌آباد با توجه به غلظت بالای As, B, Sr و Ge در نمونه‌های آب چشمه خود و Hg در نمونه‌های خاک اطراف چشمه‌هایشان می‌تواند حائز اهمیت باشد. دو منطقه میانه و هشت‌رود در بیشتر عناصر کمیاب غلظت بالا نشان می‌دهد که می‌تواند در ارتباط با سیستم‌های هیدروترمال عمیق باشد، مطالعات ژئوترمومتری در منطقه قره‌آغاج دمای بالا و در منطقه کلیبر دمای پایین‌تری برای مخزن نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: ۱- زمین‌گرمایی ۲- آذربایجان شرقی ۳- عناصر کمیاب ۴- عناصر نادر خاکی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه و ضرورت پژوهش	۲
۱-۲- انرژی تجدیدپذیر	۳
۱-۳- تعریف انرژی زمین گرمایی	۳
۱-۴- تاریخچه زمین گرمایی	۵
۱-۵- مزایای استفاده از انرژی زمین گرمایی	۶
۱-۶- کاربرد انرژی زمین گرمایی	۷
۱-۷- چشمه‌های آبگرم	۸
۱-۸- پتانسیل بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی در ایران و مناطق مستعد	۱۰
۱-۹- اهداف تحقیق	۱۲
۱-۱۰- روش شناسی و محتوای پایان‌نامه	۱۳
فصل دوم: مرور مطالعات گذشته و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ...	۱۵
۲-۱- مرور مطالعات گذشته	۱۶
۲-۲- زمین‌شناسی آذربایجان شرقی	۱۹
۲-۲-۱- ولکانیسم و توده‌های نفوذی	۲۱

۲۲-۲-۲- آتشفشانی ترشیری ۲۲

۲۳-۲-۳- آتشفشانی ائوسن - الیگوسن ۲۳

۲۳-۲-۴- آتشفشانی پلیوسن ۲۳

۲۳-۲-۵- آتشفشانی کواترنری ۲۳

۲۴-۲-۶- آتشفشان سهند ۲۴

۲۵-۲-۷- گسل تبریز ۲۵

۲۵-۳- نشانه‌های حضور پتانسیل زمین‌گرایی در آذربایجان شرقی ۲۵

فصل سوم: معرفی داده‌های مورد استفاده و آمار تک متغیره ۳۳

۳۴-۱- چشمه‌های آبگرم آذربایجان شرقی ۳۴

۴۲-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب چشمه‌ها ۴۲

۵۱-۳- معرفی داده‌های هیدروژئوشیمیایی مورد استفاده ۵۱

۵۱-۴- بررسی اولیه داده‌های مورد استفاده (آمار تک متغیره) ۵۱

فصل چهارم: مطالعه عناصر کمیاب و نادر خاکی با اهمیت ۶۷

در مناطق زمین‌گرمایی

۶۸-۱-۴- عناصر نادر خاکی ۶۸

۶۸-۱-۱-۴- معرفی عناصر نادر خاکی ۶۸

۶۹-۱-۲- نمایش عناصر نادر خاکی ۶۹

- ۷۱ ۳-۱-۴ اهمیت مجموعه عناصر نادر خاکی
- ۷۷ ۴-۱-۴ عناصر نادر خاکی در منطقه زمین گرمایی آذربایجان شرقی
- ۸۰ ۵-۱-۴ عناصر نادر خاکی در منطقه زمین گرمایی اردبیل
- ۸۳ ۲-۴ عناصر کمیاب
- ۸۳ ۱-۲-۴ آرسنیک (As)
- ۸۵ ۱-۱-۲-۴ آرسنیک در منطقه زمین گرمایی آذربایجان شرقی
- ۸۷ ۲-۱-۲-۴ همبستگی غلظت آرسنیک با دما
- ۸۹ ۳-۱-۲-۴ همبستگی کلر آرسنیک
- ۹۹ ۴-۱-۲-۴ مقایسه آرسنیک در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی و برخی

مناطق زمین گرمایی دنیا

- ۱۰۰ ۵-۱-۲-۴ آرسنیک در نمونه‌های سنگ و خاک استان آذربایجان شرقی
- ۱۰۲ ۶-۱-۲-۴ منشأ آرسنیک در تراورتن
- ۱۰۷ ۲-۲-۴ بور
- ۱۱۲ ۴-۲-۴ جیوه
- ۱۱۹ ۵-۲-۴ ژرمانیم و گالیم

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۲۵

- ۱۲۶ ۱-۵ نتایج

۱۲۹	 ۲-۵- پیشنهادها
۱۳۱	 پیوست یک
۱۴۱	 پیوست دو
۱۴۷	 منابع و مأخذ
۱۴۸	 منابع و مأخذ فارسی
۱۵۰	 منابع و مأخذ انگلیسی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۵	شکل (۱-۱): طرح شماتیک استفاده از انرژی زمین گرمایی
۹	شکل (۲-۱): مکانیزم تشکیل چشمه‌های آبگرم
۱۲	شکل (۳-۱): مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در ایران
۲۸	شکل (۱-۲): نقشه زمین‌شناسی استان آذربایجان شرقی
۳۰	شکل (۲-۲): دگرسانی در منطقه کلیبر
۳۱	شکل (۳-۲): دگرسانی در منطقه قره‌آغاچ
۳۵	شکل (۱-۳): چشمه آبگرم ساری‌سو در منطقه عجب‌شیر
۳۵	شکل (۲-۳): بستر چشمه شور سو غله‌زار

- شکل (۳-۳): چشمه تاپ تاپان ۳۶
- شکل (۴-۳): واحدهای تراورتن چشمه کلوانق ۳۶
- شکل (۵-۳): چشمه آبگرم بستان آباد ۳۷
- شکل (۶-۳): محل تماس سنگ‌های دگرسان شده و آهکی بستان آباد ۳۸
- شکل (۷-۳): واحدهای آهکی کنار چشمه یلین سو ۳۹
- شکل (۸-۳): محل خروج آب از چشمه یل سوئی قلعه کندی ۴۱
- شکل (۹-۳): چشمه آبیش احمد در منطقه کلیبر ۴۱
- شکل (۱۰-۳): دگرسانی اطراف چشمه قطورسوئی در منطقه هشتروود ۴۱
- شکل (۱۱-۳): دگرسانی آرژیلیکی منطقه قره‌آغاچ ۴۲
- شکل (۱۲-۳): نمودار میانگین دمای چشمه‌های نواحی مختلف استان ۴۷

آذربایجان شرقی

- شکل (۱۳-۳): میانگین مقادیر هدایت الکتریکی چشمه های ۴۸

نواحی مختلف استان آذربایجان شرقی

- شکل (۱۴-۳): میانگین pH در چشمه‌های استان آذربایجان شرقی ۴۹
- شکل (۱۵-۳): میانگین دی اکسید کربن محلول در آب چشمه‌های ۴۹

آبگرم استان آذربایجان شرقی

- شکل (۱۶-۳): مقادیر سولفید هیدروژن در چشمه‌های استان آذربایجان شرقی ۵۰

- شکل (۳-۱۷): هیستوگرام و نمودار احتمال As ۵۵
- شکل (۳-۱۸): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال As ۵۶
- شکل (۳-۱۹): هیستوگرام و نمودار احتمال B ۵۷
- شکل (۳-۲۰): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال B ۵۸
- شکل (۳-۲۱): هیستوگرام و نمودار احتمال Hg ۵۹
- شکل (۳-۲۲): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال Hg ۶۰
- شکل (۳-۲۳): هیستوگرام و نمودار احتمال Mo ۶۱
- شکل (۳-۲۴): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال Mo ۶۲
- شکل (۳-۲۵): هیستوگرام و نمودار احتمال Cl ۶۳
- شکل (۳-۲۵): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال Cl ۶۳
- شکل (۴-۱): عناصر نادر خاکی (لانتانیدها) ۶۸
- شکل (۴-۲): حالت نمایش فراوانی عناصر نادر خاکی ۶۹
- شکل (۴-۳): نرمال کردن در منطقه کزیلدری توسط کندریت و PAAS ۷۱
- شکل (۴-۴): غنی شدگی LREE نسبت به HREE در نمونه‌های سنگی ۷۲

مناطق هیدروترمال

- شکل (۴-۵): عناصر نادر خاکی در منطقه گونگ دونگ ۷۳
- شکل (۴-۶): عناصر نادر خاکی در نمونه‌های سنگی منطقه گونگ دونگ ۷۴

شکل (۷-۴): مقادیر عناصر نادر خاکی در برخی رودخانه‌های جهان ۷۵

شکل (۸-۴): عناصر نادر خاکی در برخی چشمه‌های زمین‌گرمایی ساحل غربی هند ۷۶

شکل (۹-۴): الگوی متفاوت عناصر نادر خاکی در آب‌های حرارتی ۷۷

دره اردن، دریای مرگ و دره اروا

شکل (۱۰-۴): غلظت عناصر نادر خاکی در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی ۷۹

شکل (۱۱-۴): نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی در برخی چشمه‌های استان اردبیل ۸۱

شکل (۱۲-۴): دما و pH برخی چشمه‌های استان اردبیل ۸۲

شکل (۱۳-۴): مقادیر برخی عناصر نادر خاکی در سنگ‌های اطراف چشمه ۸۲

استان آذربایجان شرقی

شکل (۱۴-۴): نمودار فراوانی آرسنیک نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی ۸۵

شکل (۱۵-۴): غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی ۸۶

شکل (۱۶-۴): همبستگی مثبت دما در برخی از سیالات زمین گرمایی ۸۷

با مقدار آرسنیک محلول

شکل (۱۷-۴): نمودار پراکندگی دما و غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب ۸۸

استان آذربایجان شرقی

شکل (۱۸-۴): همبستگی کلر و آرسنیک در برخی از چشمه‌های ۸۹

پارک ملی یلواستون آمریکا

شکل (۴-۱۹): نمودار As و Cl/As برای نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی..... ۹۱

شکل (۴-۲۰): نمودار Cl-As بر اساس مطالعات آیوپا و همکاران ۹۲

شکل (۴-۲۱): نمودار Cl-As و As-T در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی ۹۳

شکل (۴-۲۲): نمودار Cl-As و As-T در نمونه‌های آب استان اردبیل ۹۵

شکل (۴-۲۳): نمودار Cl-As و As-T در نمونه‌های آب ۹۷

برخی مناطق زمین گرمایی دنیا

شکل (۴-۲۴): نمودار Cl-As و As-T در ترکیب نمونه‌های آب ۹۸

استان آذربایجان شرقی، استان اردبیل و برخی مناطق زمین گرمایی دنیا

شکل (۴-۲۵): میزان آرسنیک در مناطق مختلف زمین گرمایی دنیا ۹۹

در مقایسه با استان آذربایجان شرقی

شکل (۴-۲۶): غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک برداشته شده ۱۰۱

از اطراف چشمه‌های آبگرم استان آذربایجان شرقی

شکل (۴-۲۷): غلظت آرسنیک در نمونه‌های سنگ استان آذربایجان شرقی ۱۰۲

شکل (۴-۲۸): غلظت منگنز، آهن، منیزیم و آرسنیک در نمونه‌های ۱۰۵

سنگ مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی

شکل (۴-۲۹): مقادیر لگاریتمی مس و روی در نمونه‌های سنگی استان آذربایجان شرقی .. ۱۰۶

شکل (۴-۳۰): غلظت بور در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی ۱۰۸

شکل (۳۱-۴): نمودار B-T در نمونه‌های آب در استان آذربایجان شرقی ۱۰۹

شکل (۳۲-۴): نمودار B-T در نمونه‌های آب در منطقه لولند کشور ایسلند ۱۰۹

شکل (۳۳-۴): بررسی پراکندگی B-Cl نمونه‌های آب در منطقه پلاتانارس هندوراس ۱۱۰

شکل (۳۴-۴): نمودار بر پایه مدل جانیک در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی ۱۱۱

شکل (۳۵-۴): نمودار پراکندگی B-Cl در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی ۱۱۱

شکل (۳۶-۴): شکل شماتیک از تغییرات غلظت جیوه با توجه به موقعیت ۱۱۲

چشمه‌های آبگرم و آبسرد

شکل (۳۷-۴): نمودار جیوه -دما در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی ۱۱۵

شکل (۳۸-۴): غلظت جیوه در نمونه‌های آهکی استان آذربایجان شرقی ۱۱۵

شکل (۳۹-۴): غلظت جیوه در نمونه‌های سنگ و خاک استان آذربایجان شرقی ۱۱۷

شکل (۴۰-۴): غلظت جیوه در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی ۱۱۸

شکل (۴۱-۴): غلظت ژرمانیم در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی ۱۲۰

شکل (۴۲-۴): ژرمانیم در چشمه‌های آبگرم استان آذربایجان شرقی و استان اردبیل ۱۲۱

شکل (۴۳-۴): همبستگی بین ژرمانیم و سیلیسیم در چشمه‌های آبگرم ۱۲۲

استان آذربایجان شرقی

شکل (۴۴-۴): همبستگی بین ژرمانیم و سیلیسیم در چشمه‌های آبگرم اردبیل ۱۲۳

شکل (۴۵-۴): غلظت مس در چشمه‌های آذربایجان شرقی ۱۲۳

شکل (۴-۴۶): غلظت گالیم در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی ۱۲۴

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۱): طبقه‌بندی چشمه‌های آبگرم براساس درجه حرارت آب ۱۰	
جدول (۱-۳): پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های آبگرم استان ۴۳	
آذربایجان شرقی اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری	
جدول (۲-۳): طبقه‌بندی چشمه‌های آذربایجان شرقی با توجه به طبقه‌بندی ویچر ۴۵	
جدول (۳-۳): عناصر با مقادیر خارج از حد تشخیص دستگاه ۵۳	
جدول (۴-۳): عناصری که بیش از ۸۰ درصد از مقادیرشان سنسورد است ۵۳	
جدول (۵-۳): جایگزینی مقادیر خارج از ردیف به روش جایگزینی ساده ۵۳	
جدول (۱-۴): فراوانی عناصر نادر خاکی در کندریت و پوسته بالایی ۷۰	
جدول (۲-۴): چشمه‌های مورد بررسی از منطقه زمین گرمایی اردبیل ۸۰	
جدول (۳-۴): نتایج آماری تک متغیره ۸۵	
جدول (۴-۴): غلظت دو عنصر کلر و آرسنیک در چشمه‌های استان اردبیل ۹۴	
جدول (۵-۴): مقادیر آرسنیک و کلر در برخی مناطق زمین گرمایی دنیا ۹۶	
جدول (۶-۴): غلظت آرسنیک در برخی مناطق زمین گرمایی دنیا ۹۹	
جدول (۷-۴): نتایج XRD و ClayFraction برای نمونه‌های سنگی آذربایجان شرقی ۱۰۵	

جدول (۴-۸): مقادیر برخی از عناصر که بصورت آنومالی ۱۱۳

و حد زمینه نشان داده شده است

جدول (۴-۹): مقادیر برخی عناصر در سه منطقه زمین گرمایی چین ۱۱۳

جدول (۴-۱۰): میانگین و حدود جیوه در برخی از سنگ‌ها و خاک‌ها ۱۱۴

جدول (۴-۱۱): غلظت جیوه در نمونه‌ها مختلف استان آذربایجان شرقی ۱۱۵

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه و ضرورت پژوهش

مفهوم انرژی و روش‌های فراهم آوردن آن یکی از دغدغه‌های بشر از ابتدا خلقت بوده است. حتی اگر دولت‌ها قادر به کنترل رشد جمعیت گردند، پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان در سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۱۰ میلیارد نفر خواهد بود. همچنین پیش‌بینی می‌شود که در کشورهای جهان سوم به علت جوان بودن جمعیت، پتانسیل بیشتری برای رشد جمعیت در طی سال‌های آینده وجود داشته باشد و ورود این نسل‌های جدید به بازار اقتصاد کشورهای در حال توسعه موجب افزایش انفجار آمیز تقاضای کالا، خدمات و انرژی می‌گردد (قدیمی و همکاران، ۱۳۹۱). روند رو به رشد جمعیت جهان و به دنبال آن افزایش میزان مصرف انرژی تمام کشورهای جهان را با مساله مهمی به نام بحران انرژی مواجه می‌سازد. در حال حاضر در جهان ۷۷٪ کل انرژی مصرفی را سوخت‌های فسیلی تشکیل می‌دهند و بر اساس پیش‌بینی‌های واقع بینانه تا سال ۲۰۲۰ این میزان به ۷۳٪ درصد می‌رسد (ثقفی، ۱۳۸۲). از سوی دیگر سوخت‌های فسیلی جزء منابع تجدید ناپذیر^۱ هستند و روزی به پایان می‌رسند. پیش‌بینی می‌شود انرژی نفتی جهان تا حدود ۴۰ سال و انرژی گاز جهان حدود ۱۰۰ سال احتیاجات روز افزون جوامع بشری را تأمین خواهد کرد.

در سال ۱۹۵۰، ۱/۶ میلیارد تن کربن به جو وارد شد که این مقدار در سال ۲۰۰۰ به ۶/۳ میلیارد تن رسید. علاوه بر کربن سالانه ۸۰ میلیون تن گوگرد و ۳۵ میلیون تن نیتروژن (به شکل اکسیدهای نیتروژن و سایر گازهای سمی) در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی (زغال سنگ، چوب، نفت، بنزین، گازوئیل، مازوت و غیره) وارد جو زمین می‌شود. این گازها وارد جو زمین شده و به دلیل اثر گلخانه‌ای مانع خروج اشعه مادون قرمز خورشید به بیرون از جو زمین گشته، گرم شدن کره زمین و اثرات مخرب تغییر اقلیم را سبب می‌گردند (ثقفی، ۱۳۸۲). از اوایل دهه ۱۹۹۰ با وخیم شدن مسئله محیط زیست، حفظ آن در دستور کار اغلب سازمان‌های بین المللی و سازمان‌های غیرحکومتی و NGOها قرار گرفت.

1- Nonrenewables

کنفرانس ریو در سال ۱۹۹۲ نقطه عطفی بود که مسئله تخریب زیست محیطی را به طور خاص مورد بررسی قرار داد. در ادامه فعالیت‌های زیست محیطی، پروتکل کیوتو در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شکل گرفت. این پروتکل در ۱۱ دسامبر ۱۹۹۷ در کیوتو تشکیل شد و در ۱۶ مارس ۱۹۹۸ برای امضا به دفتر سازمان ملل متحد ارائه شد و از تاریخ ۱۶ فوریه ۲۰۰۵ به اجرا در آمد. بدیهی است که کشورهای پذیرنده این پروتکل موظف به رعایت آن هستند (بهمن‌یار، ۱۳۹۰). با توجه به مشکلاتی که اشاره شد کارشناسان و صاحب نظران در پی منابع جایگزین سوخت‌های فسیلی هستند که انرژی‌های تجدیدپذیر^۱ یکی از این موارد هستند.

۱-۲- انرژی تجدیدپذیر

انرژی تجدیدپذیر به انواعی از انرژی می‌گویند که برخلاف انرژی‌های تجدیدناپذیر (مانند: نفت، گاز) قابلیت بازگشت مجدد دارند. در سال‌های اخیر با توجه به اینکه منابع انرژی تجدیدناپذیر رو به اتمام هستند این منابع مورد توجه قرار گرفته‌اند. در سال ۲۰۰۶ حدود ۱۸٪ از انرژی مصرفی جهان از راه انرژی‌های تجدید پذیر بدست آمد. نگرانی درباره تغییرات زیست محیطی در کنار قیمت بالای نفت، اوج تولید نفت و حمایت دولت‌ها، باعث رشد روز افزون وضع قوانینی می‌شود که بهره برداری و تجاری‌سازی این منابع سرشار تجدیدپذیر را تشویق می‌کنند. انرژی خورشیدی، بادی، برق آبی و زمین‌گرمایی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیرند (احسانی و همکاران، ۱۳۹۰).

۱-۳- تعریف انرژی زمین‌گرمایی

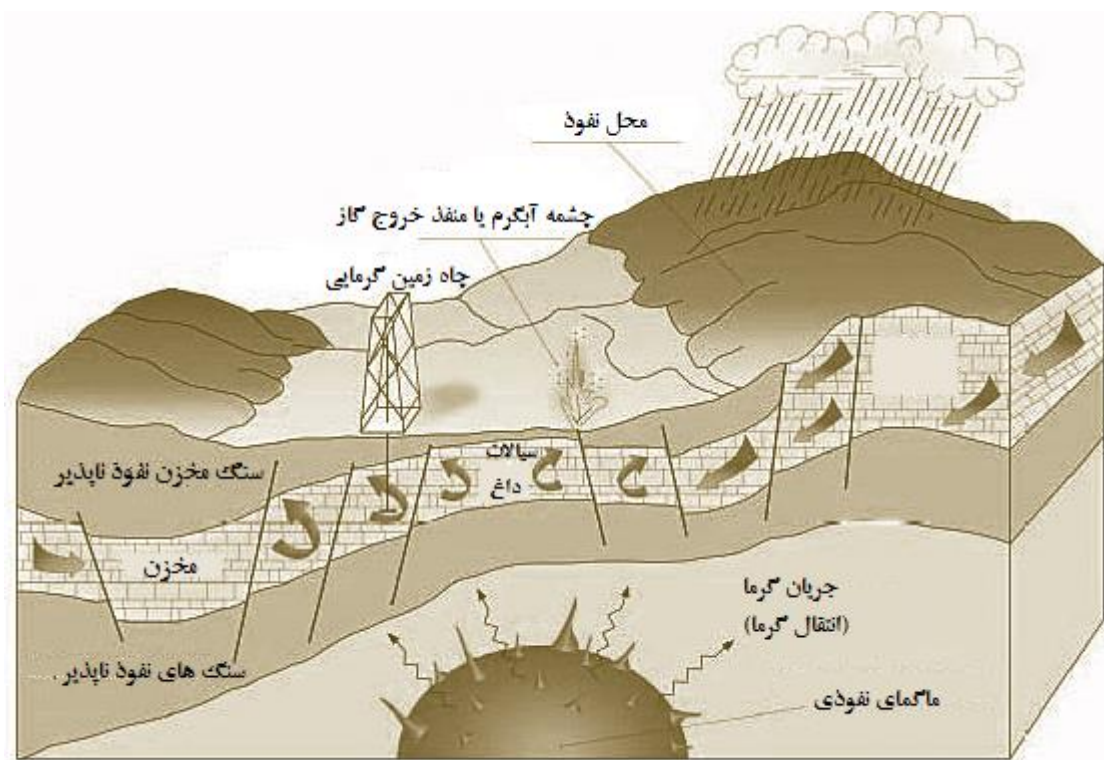
ژئوترمال^۲ از کلمه‌ی یونانی "ژئو" به معنی زمین و "ترمال" به معنی گرما و گرمایی گرفته شده است. بنابراین، انرژی ژئوترمال به معنای (انرژی زمین‌گرمایی) یا انرژی با منشأ درونی زمین است (سازمان

۱- Renewable

۲- Geothermal

انرژی‌های نو، ۱۳۸۸). منبع انرژی زمین‌گرمایی، حرارت طبیعی زمین است که از مواد مذاب یا ماگما نشأت می‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهد هر چه به ژرفای زمین افزوده شود، دما افزایش می‌یابد. تقریباً به ازای هر ۱۰۰ متر عمق حدود ۳ درجه سانتیگراد به دمای زمین اضافه می‌شود. به طوری که درجه حرارت در لایه‌های پایینی پوسته زمین حدود ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد و در هسته مرکزی زمین حدود ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد است. در برخی مناطق از پوسته زمین که شرایط مساعدی دارد، می‌توان به دماهای بالا دست یافت و از این انرژی استفاده کرد. طبق آمار برآوردهای انجام شده انرژی ذخیره شده در پوسته زمین تا عمق ۳۰۰۰ متر، 43×10^{24} ژول می‌باشد. ۸۵ درصد از این انرژی در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه است (انرژی مصرفی جهان در سال ۱۹۸۷ برابر 0.3×10^{21} ژول بود که ۴۰ درصد از آن دارای دمایی کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد بود) (Sanyal et al., 2010).

بیرون کشیدن گرما به طور مستقیم از کره زمین امکان‌پذیر نیست. برای این کار باید سیال انتقال دهنده‌ای وجود داشته باشد تا گرما را از زیر زمین به سطح زمین انتقال دهد. معمولاً مناطقی که در آن آتشفشان یا زمین‌لرزه مستمر وجود دارد، چنین خصوصیتی دارند. حرارت زیر زمین توسط یک سیال انتقال دهنده که می‌تواند بخار یا آب داغ و یا هر دو باشد، به سطح زمین انتقال می‌یابد. بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی به طور ساده در شکل (۱-۱) آورده شده است. آب بارندگی پس از رسیدن به سفره‌های آب زیرزمینی و جاری شدن در مناطق فعال زمین‌گرمایی، انرژی و گرمای لازم را دریافت می‌کند. چگالی این آب پس از گرم شدن کاهش یافته و فشار آن افزایش می‌یابد و به صورت آب گرم یا بخار آب منفذی که بر روی پوسته زمین وجود دارد، مسیر خود را به سطح پیدا می‌کند (رازقی، ۱۳۹۰).



شکل (۱-۱): طرح شماتیک استفاده از انرژی زمین گرمایی (رازقی، ۱۳۹۰).

۱-۴- تاریخچه زمین گرمایی

وجود کوه‌های آتشفشانی یقیناً باید نیاکان ما را از این حقیقت آگاه ساخته باشد که بخش‌های خاصی از پوسته زمین گرم‌تر می‌باشند. با این حال، تا یک دوره زمانی بین قرن‌های شانزدهم و هفدهم، یعنی زمانیکه اولین معادن تا عمق چند صد متری سطح زمین حفر گردیده و بشر بر اساس ادراک فیزیکی ساده استنباط نمود که دمای زمین با عمق افزایش می‌یابد، اطلاع چندانی در این زمینه وجود نداشت. شاید نخستین اندازه‌گیری‌ها بوسیله دماسنج در سال ۱۷۴۰ میلادی در معدنی نزدیک بلفورت^۱ در کشور فرانسه انجام پذیرفت. در سال ۱۸۷۰ از روش‌های علمی پیشرفته‌ای جهت مطالعه‌ی نوع رفتار حرارتی زمین استفاده می‌شد، اما با ورود به قرن بیستم کشف نقشی که حرارت رادیوژنیک (حرارت ناشی از زوال مواد رادیواکتیو) ایفا می‌کند، پرده از راز پدیده‌هایی همچون موازنه حرارتی و تاریخچه‌ی حرارتی زمین برداشته شد. در دهه ۱۹۸۰ میلادی دریافته شد هیچ موازنه‌ای بین حرارت تولیدی ناشی

^۱ - Belfort

از زوال مواد رادیواکتیو در اعماق زمین و حرارت منتشر شده از سطح آن به محیط اطراف برقرار نیست و سیاره زمین به آهستگی در حال سرد شدن است. در اوایل قرن نوزدهم، استخراج سیالات زمین گرمایی با هدف بهره‌برداری از پتانسیل انرژی حرارتی آن‌ها صورت می‌پذیرفت. در آن زمان، یک کارخانه شیمیایی در کشور ایتالیا در ناحیه‌ای که اکنون لاردرو^۱ نامیده می‌شود، راه‌اندازی گردید تا از آب‌های داغی که به طور طبیعی یا از طریق چاه‌های کم عمقی که مخصوصاً برای این کار حفر می‌شدند، به بیرون جریان پیدا کنند، تولید اسید بوریک کنند. نخستین تلاش‌ها برای تولید برق از بخار آب زمین-گرمایی در سال ۱۹۰۴ میلادی در ناحیه‌ی لاردرو انجام پذیرفت. موفقیت این آزمایش، ارزش صنعتی انرژی زمین‌گرمایی را به خوبی نشان داد و این آغازی بود بر بهره‌برداری خاصی که قرار بود بعدها بطور قابل توجهی توسعه داده شود. سیستم نمونه‌ای که در کشور ایتالیا راه‌اندازی شد، به سرعت توسط چند کشور دیگر الگوبرداری شد. نخستین چاه‌های زمین‌گرمایی در سال ۱۹۱۹ در بیپو^۲ ژاپن و در سال ۱۹۲۱ در گریزر کالیفرنیا حفر شدند که البته در آن زمان با موفقیت چندانی همراه نبودند. در سال ۱۹۲۸ کشور ایسلند، کار استخراج سیالات زمین‌گرمایی (به ویژه آب داغ) را برای تأمین نیاز حرارتی منازل آغاز نمود. در همان زمان در ناحیه لاردرو با به جریان انداختن بخار آب کیفیت پایین در مبدل حرارتی، نیاز حرارتی منازل روستایی و آب داغ مصرفی آن‌ها تأمین می‌گردید (سازمان انرژی‌های نو، ۱۳۸۸).

۱-۵- مزایای استفاده از انرژی زمین‌گرمایی

از این انرژی می‌توان انرژی‌های ثانویه دیگری چون انرژی الکتریسیته تولید کرد بدون این که هیچ گونه نفت، گاز و زغال سنگ استفاده شود و این خود دلیلی بر آلودگی کمتر انرژی زمین‌گرمایی است. مقدار گاز CO₂ تولید شده در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی به ترتیب معادل ۱۵ درصد نیروگاه‌های گاز سوز، ۱۰

۱ - Larderlo

۲ - Beppu

درصد نیروگاه‌های نفت سوز و ۸ درصد نیروگاه‌های زغال سوز بوده و هم چنین میزان تولید اکسید نیتروژن و گوگرد آن تقریباً در حدود صفر است (سازمان انرژی‌های نو، ۱۳۸۸).

انرژی زمین گرمایی را می‌توان در تمام مدت ۲۴ ساعت شبانه روز و در هر ۳۶۵ روز سال استخراج و استفاده کرد، همچنین مستقل از شرایط جوی می‌باشد.

احداث نیروگاه‌های کوچک زمین گرمایی در روستاهای کوچک علاوه بر کمک اقتصادی به منطقه و جذب جهانگرد، از مهاجرت روستاییان به شهرها جلوگیری خواهد نمود و باعث افزایش میزان رفاه عمومی خواهد شد.

بعد از احداث یک واحد نیروگاه زمین گرمایی، انرژی تولیدی تقریباً به صورت مجانی در می‌آید. تنها مقداری انرژی برای به حرکت درآوردن پمپ‌ها لازم است که آن هم به وسیله انرژی تولیدی تأمین می‌شود (سازمان انرژی‌های نو، ۱۳۸۸).

۱-۶- کاربرد انرژی زمین گرمایی

کاربردهای انرژی زمین گرمایی به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

- ۱- کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی: استفاده از انرژی زمین گرمایی شامل گرمایش، سرمایش و صنعت توریسم می‌باشد. در حال حاضر ۱۳ هزار مگاوات انرژی حرارتی جهانی، از این منبع تأمین می‌شود. به عنوان مثال کشور ایسلند ۹۵ درصد انرژی حرارتی خود را از انرژی زمین گرمایی تأمین می‌کند، به طوری که هیچ سوختی در این کشور به عنوان گرمایش و تأمین آب گرم مصرفی منازل مصرف نمی‌شود. پاستوریزاسیون شیر در صنایع لبنی، گرمایش گلخانه‌ها، پرورش ماهی و ذوب کردن برف و یخ جاده‌ها از دیگر موارد کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی می‌باشد. به عنوان مثال در کشور ژاپن در زیر جاده‌های مناطق سرد سیر لوله‌کشی آب گرم

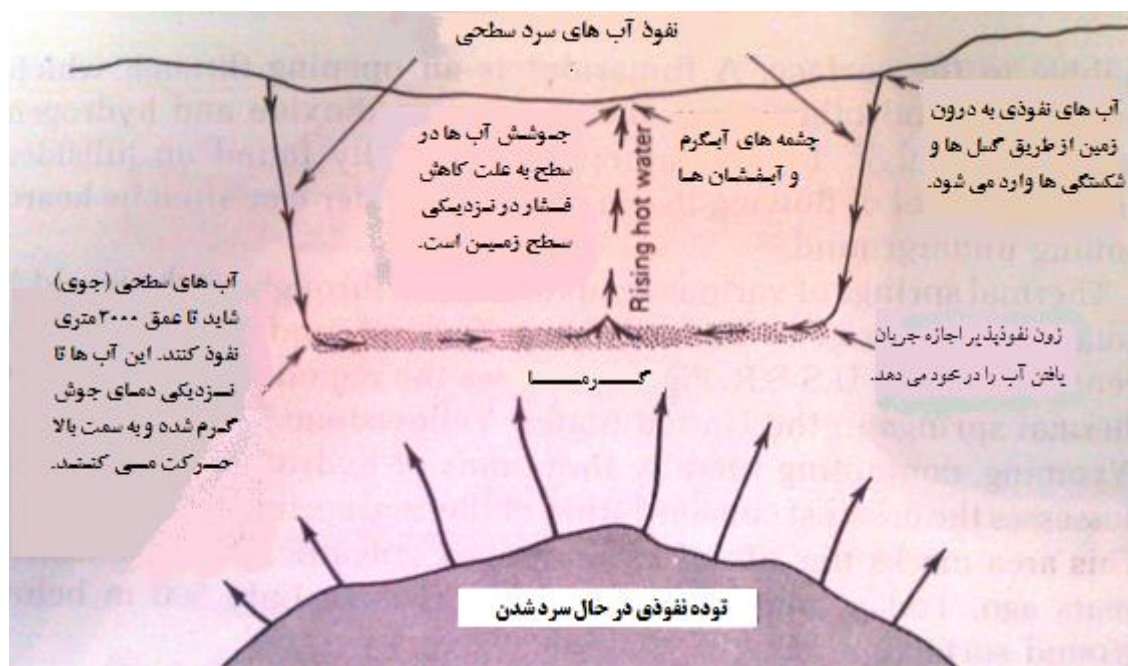
انجام گرفته شده است و این امر باعث ذوب شدن خود به خودی برف و یخ جاده‌های مناطق کوهستانی می‌شود (ثقفی اصل و همکاران، ۱۳۸۵).

۲- **کاربردهای غیرمستقیم انرژی زمین‌گرمایی:** منظور از استفاده غیرمستقیم، تبدیل انرژی حرارتی درون زمین به انرژی الکتریکی است. نیروگاه‌هایی که ساخته می‌شوند بسته به نوع سیال متفاوت است، ولی سیستم کار همه آن‌ها بر اساس استفاده از انرژی حرارتی سیال درون زمین برای به چرخش در آوردن توربین و تولید برق، استوار می‌باشد. پمپ حرارتی در زمستان عکس یخچال کار می‌کند و در تابستان برای سرمایش و یخ‌سازی بکار می‌رود و انرژی مورد نیاز خود را از حرارت داخل زمین می‌گیرد (ثقفی اصل و همکاران، ۱۳۸۵).

۱-۷- چشمه‌های آبگرم^۱

یکی از نمادهای شاخص انرژی زمین‌گرمایی، ظهور چشمه‌های آبگرم است. چشمه‌های آبگرم آب‌هایی را تخلیه می‌کنند که دمای آن‌ها از میانگین دمای محیط حدود ۱۰ درجه بیشتر باشد. این قبیل چشمه‌ها معمولاً در نواحی که سنگ‌های آتشفشانی جوان وجود دارند (مناطق با گرا دیان زمین‌گرمایی بالا) ظاهر می‌شوند. البته بایستی سنگ‌های تراوا برای نفوذ آب‌های جوی به داخل زمین وجود داشته باشند تا آب‌های نفوذی ضمن نفوذ در مجاورت با سنگ‌های داغ، به آب‌های گرم یا داغ تبدیل شوند (Todd, 1980). شکل (۱-۲) مکانیزم تشکیل چشمه‌های آبگرم را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

^۱ - Hot Springs



شکل (۱-۲): مکانیزم تشکیل چشمه های آبگرم (Todd, 1980).

آیفشان ها^۱ در حقیقت چشمه های آبگرم تناوبی هستند که در اثر نیروی بخار بسیار داغ، در داخل کانال های باریک زیر سطحی حاصل می شوند. آب های سطحی از طریق مجاری عمودی و عمیق به داخل زمین نفوذ می کنند و تا نقطه جوش داغ می شوند. با افزایش فشار، بخار آب به طرف بالا حرکت و منجر به رها شدن مقداری آب در سطح زمین می شود. این عمل موجب کاهش فشار هیدروستاتیک شده که در نتیجه حرکت رو به بالا، آب های خیلی داغ عمیق تر شتاب گرفته و به داخل بخار تزریق می شوند. سپس آیفشان برای یک زمان کوتاهی به مرحله فوران کامل می رسد تا فشار موجود از بین برود، مجدداً این فرآیند برای فوران بعدی تکرار می شود.

گل فشان ها شکل دیگری از چشمه ها هستند که زمانی ایجاد می شوند که مقادیر محدودی آب موجود است. در چنین مناطقی آب با رس مخلوط شده و همراه با مقداری آب و به صورت حباب هایی به سطح زمین راه پیدا می کنند.

چشمه‌هایی که دمای بالاتر از میانگین دمای سالانه هوای^۱ محیط ندارند از منافذ و شکستگی‌های بسیار کم عمق سرچشمه گرفته‌اند، این در حالیست که چشمه‌های با دمای بیشتر از میانگین متوسط سالانه هوا اغلب توسط سنگ‌های داغ نزدیک سطح زمین یا جریان‌های سیال مرتبط با سنگ‌های عمیق گرم می‌شوند. به ازای هر کیلومتر درون زمین دما ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد، از این رو دمای جریان آب در عمق بیشتر از ۳۰۰ متر حداقل ۱۰ درجه سانتی‌گراد از میانگین متوسط سالانه هوا بیشتر است و همین موضوع نشان دهنده منشأ عمقی آن است (Witcher, 1981).

یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌های چشمه‌های آبگرم، طبقه‌بندی آن‌ها بر مبنای درجه حرارت آب می‌باشد. برای مثال ویچر (۱۹۸۱) چشمه‌های آبگرم را بر اساس درجه حرارت آن‌ها به دو دسته تقسیم کرده است (Witcher, 1981) (جدول ۱-۱).

جدول (۱-۱): طبقه‌بندی چشمه‌های آبگرم بر اساس درجه حرارت آب (Witcher, 1981).

درجه حرارت	نام
۱۰ درجه سانتی‌گراد بزرگتر از MAT	چشمه گرم
۱۵ درجه سانتی‌گراد بزرگتر از MAT	چشمه داغ

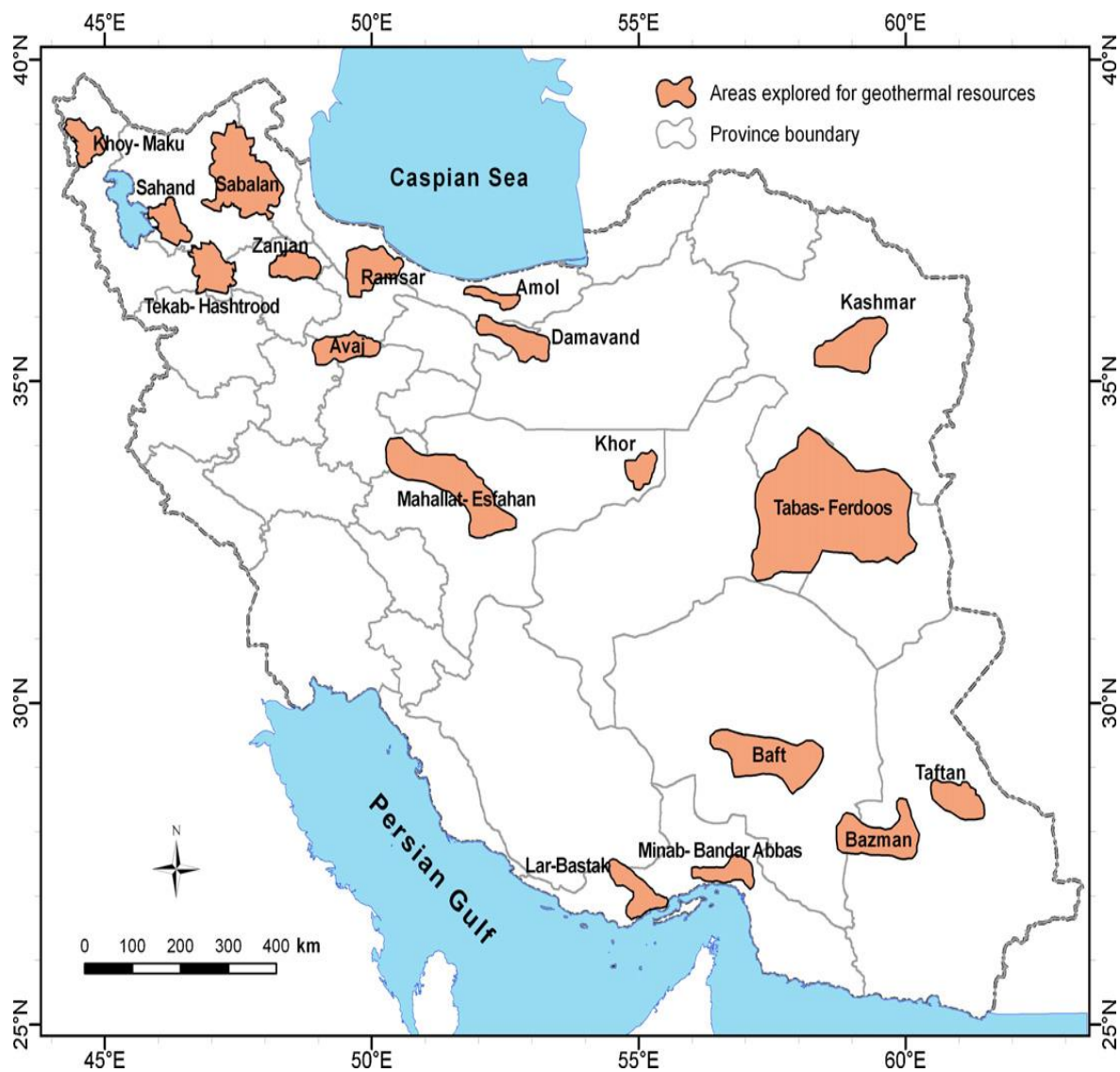
۸-۱- پتانسیل بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در ایران و مناطق مستعد

کشور ایران به لحاظ زمین‌شناسی موقعیت ویژه‌ای به خود اختصاص داده است. با نگاهی به تاریخ زمین‌شناسی ایران مشاهده می‌شود که در زمان پرکامبرین (بیش از ۵۷۰ میلیون سال پیش) ایران دارای پی‌سنگ یک پارچه‌ای بوده است، اما در اواخر پرکامبرین پی‌سنگ یکپارچه ایران تحت تأثیر نیروهای کششی شکسته شده و به زون‌های کوچکتری تقسیم شده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۳). از زمان پالئوزوئیک (در حدود ۵۷۰ میلیون سال پیش) تاکنون، پوسته زمین ایران متحمل فرآیندهای متعددی شده است. به طور نمونه در زمان تریاس (در حدود ۲۱۰ میلیون سال پیش) در محل تراست زاگرس

^۱ - MAT = Mean Annual Air Temperature

اقیانوس جدیدی بنام نئوتتیس تشکیل می‌گردد که زون زاگرس ایران با زون البرز و ایران مرکزی از هم جدا می‌سازد و در اواخر کرتاسه (در حدود ۷۰ میلیون سال پیش) این اقیانوس بسته می‌شود و مجدداً پوسته ایران به حالت یکپارچه نزدیک می‌شود. تاریخ زمین‌شناسی ایران نشان می‌دهد که طی این دوران پوسته ایران تحت تأثیر فرآیندهای خشکی‌زایی و کوهزایی به زیر آب فرورفته و مجدداً خارج شده است و تحت تأثیر شکستگی‌ها، گسل‌ها و آتشفشان‌های بی‌شماری قرار گرفته است. موقعیت قرارگیری ایران در مرزهای تکتونیکی از نیروی عظیم نهفته در کالبد ایران حکایت دارد. فشار صفحه قاره‌ای عربستان و صفحه اقیانوس هند از سوی دیگر باعث تغییر شکل‌های وسیعی در ایران شده است. منطقه زاگرس چین‌خورده و راندگی آن شواهد سطحی عظیم این نیروها هستند. قرار گرفتن در کمربند تکتونیکی حاشیه صفحات باعث شده است که گستره ایران از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری بسیار فعال باشد. حضور در کمربند زلزله و آتشفشانی دنیا، پتانسیل‌های زمین‌گرمایی کشور را قطعی می‌سازد. فعالیت‌های آتشفشانی، ماگماتیسم و مرور شواهد و ظهور چشمه‌های آبگرم، گل‌فشان‌ها، خروج گازها و بررسی مناطق دگرگونی مؤید این امر است.

همانطور که ذکر شد انرژی زمین‌گرمایی با توجه به شرایط بحرانی محیط زیست در دنیا و کاربردهای بی‌شمار آن از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا استفاده از آن نیز اندیشه‌ای نوع نیست و تاکنون تلاش‌های زیادی برای دستیابی و استفاده از این انرژی شده است. یافتن نقاط با پتانسیل بالا در ایران از سال ۱۳۵۴ با همکاری وزارت نیرو و مهندسین مشاور ایتالیایی (ENEL) آغاز گردید و نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد که مناطق سبلان، دماوند، خوی، ماکو، سهند و تفتان جهت بهره‌برداری از انرژی زمین-گرمایی مناسب می‌باشد (شکل ۱-۳). در همین راستا برنامه اکتشاف، مشتمل بر بررسی‌های زمین-شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمیایی برنامه‌ریزی گردید و بالاخره نصب اولین نیروگاه ۵۵ مگاواتی زمین-گرمایی در سال ۱۳۷۴ در ناحیه مشکین شهر آغاز گردید (Barbier, 1977).



شکل (۱-۳): مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در ایران (Yousefi et al, 2010).

۹-۱- اهداف تحقیق

یافتن مناطق مستعد، پس از یک بررسی کلی و با حذف مناطق کم اهمیت در مراحل اکتشافی پی در پی صورت می گیرد. در حقیقت عملیات اکتشاف منابع زمین گرمایی با اتمام هر مرحله اکتشافی، محدوده مورد اکتشاف کوچک تر شده و عملیات اکتشافی مرحله بعد از مناطق دارای اهمیت بیشتر صورت می پذیرد. با توجه به احتمال وجود پتانسیل بالای زمین گرمایی در استان آذربایجان شرقی و اردبیل در این پژوهش سعی بر این است تا با بررسی رفتار برخی از عناصر کمیاب و نادر خاکی با اهمیت در

چشمه‌های آبگرم و مقایسه آن با آب‌های سطحی در کنار استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و نتایج آنالیز خاک و سنگ، بتوان ارتباط انواع چشمه‌های آبگرم با مخزن زیر سطحی و در نهایت شناسایی مناطق با اهمیت به لحاظ پتانسیل زمین‌گرمایی را صورت داد.

۱۰-۱- روش‌شناسی و محتوای پایان‌نامه

بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعات هیدروژئوشیمیایی و نمونه‌برداری‌های لیتوژئوشیمیایی انجام شده در برخی از نواحی استان آذربایجان شرقی و نمونه‌های هیدروژئوشیمیایی اردبیل (شامل مناطق با اهمیت اکتشافی و جهت مقایسه مناطق فاقد ارزش اکتشافی) به بررسی و ارزیابی اختصاصات ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و نادر خاکی پرداخته شد. برای این منظور ابتدا اطلاعات موجود در مناطق مذکور هر کدام بطور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ارتباط آن‌ها با دما بررسی گردید. در این تحلیل نتیجه تخمین دمای مخزن احتمالی در این مناطق مدنظر قرار گرفت. در همین راستا از روش‌های تحلیل تک متغیره و تفسیر نمودارهای دوتایی عناصر برای بررسی پارامترهای مرتبط کمک گرفته شد (بر روی داده‌های هیدروژئوشیمی). همچنین بر اساس رفتار غیر طبیعی عناصر کمیاب به تحلیل اطلاعات لیتوژئوشیمیایی موجود در مناطق مذکور پرداخته شد. ضرورت دارد که بر اساس معیارهای ارزیابی رفتار عناصر کمیاب و نادر خاکی در آب‌ها، سنگ‌ها و خاک در مناطق با اهمیت اکتشافی و مقایسه آن با مناطق فاقد ارزش، به شناسایی پارامترهای شاخص دست یافت. در نهایت با تلفیق مطالعات زمین‌شناسی و کلیه مطالعات ژئوشیمیایی بدست آمده، ارتباط بین سنگ و سیال مورد مطالعه گرفت. در فصل دوم مرور مطالعات گذشته و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل سوم ابتدا محیط‌های نمونه‌برداری معرفی و در ادامه مطالعات تک متغیره برای نمونه‌های سنگ، خاک و آب صورت گرفته و طبق نتایج اولیه آن عناصر با اهمیت مشخص شده است، سپس در ادامه در فصل چهارم تمرکز مطالعات روی این عناصر در آب، سنگ و خاک قرار گرفته است و نتایج بدست آمده در فصل پنجم ارائه شده است.

فصل دوم

مرور مطالعات گذشته و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

۲-۱- مرور مطالعات گذشته

چشمه‌های آبگرم در مناطق ژئوترمال از ابتدا مورد توجه بوده‌اند بگونه‌ای که هاگو (۱۹۱۱) منشأ آب‌های حرارتی پارک ملی یلواستون آمریکا^۱ را مورد مطالعه قرار داد (Hague, 1911). الیس و ماهون (۱۹۶۴) طی مطالعه‌ای تجربی و شبیه‌سازی ارتباط بین سنگ و آب‌های حرارتی، تحرک برخی از عناصر از جمله As, Cl و B را در آب‌های حرارتی مورد بررسی قرار دادند و رفتار خاص این عناصر در سیستم‌های حرارتی را بیان کردند (Ellis and Mahon, 1964). فورنیر و تراسدل (۱۹۷۰) از سیلیس موجود در آب چشمه‌های پارک ملی یلواستون آمریکا برای تعیین دمای زیر سطحی استفاده کرد. همچنین از نسبت $Cl/(HCO_3 + CO_3)$ برای آزمایش اختلاط آب‌های عمیق و کم عمق استفاده کرد (Fournier and Truesdell, 1970). تونامی (۱۹۷۰) اینگونه اعتقاد داشت که اکتشاف مناطق زمین‌گرمایی نیاز به نتایج تجربی بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی سطحی دارد. وی داده‌های ژئوشیمیایی را حامل اطلاعاتی از آبخوان، الگوی چرخش سیال و شرایط ترمودینامیکی عمق می‌دانست (Tonami, 1970). آرنورسن (۱۹۷۰) غلظت Cl و B را در سیالات هیدروترمال ایسلند^۲ مورد بررسی قرار داد، و همبستگی این دو عنصر را در آب‌های حرارتی نشان داد. از سوی دیگر همبستگی منفی بین Si و Na/K را در آب‌های حرارتی ایسلند مطالعه کرد (Amorsson (a), 1970). آرنوسن (۱۹۷۰) پراکندگی عناصر کمیاب از قبیل Co, Zn, Cu, Cr, Ni, Ga, Si, Ge, Fe, Ti, Al, Mo و V را در آب‌های حرارتی ایسلند مورد بررسی قرار داد، و افزایش میزان عناصر کمیاب از قبیل Mo, Si, Ge, Ga و V را نشان داد (Amorsson (b), 1970). کالسمن و لاندرس (۱۹۷۸) غلظت جیوه (به عنوان عنصر آنومال) در خاک منطقه زمین‌گرمایی در اثر فعالیت‌های ثانویه در دره کالدرا کالیفرنیا^۳ را مورد بررسی قرار دادند (Klusman and Landerss, 1978).

۱ - Yellowstone National Park U.S.A

۲ - Iceland

۳ - Caldera Valley California

میچارد و همکاران (۱۹۸۰) غلظت برخی از عناصر کمیاب در چشمه‌های آبگرم پیرنس^۱ را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بیشتر عناصر دارای غلظت چندان بالایی نیستند از این رو دو گروه از عناصر را برای ادامه مطالعات برگزیدند. ۱- آلکالی یون‌های کمیاب (Li, Rb, Cs) ۲- برخی از فلزات (Mo, As, W) (Michard et al, 1980). مطالعات ال هاناوی (۱۹۸۱) نشان داد که آب‌هایی که از سطح زمین به داخل زمین نفوذ می‌کنند به علت حرارت و فشار بالا و احتمالاً زمان تماس طولانی واکنش‌های زیادی با سنگ میزبان انجام می‌دهند. به این ترتیب عناصر زیادی از سنگ میزبان به صورت محلول وارد آب می‌شوند که مقدار و نوع آن‌ها بستگی به جنس سنگ‌های میزبان دارد. به همین علت آب‌های زمین‌گرمایی می‌توانند ترکیب متفاوتی با سایر آب‌های زیرسطحی داشته باشد (El Hanawi, 1981). کریستنسن و همکاران (۱۹۸۳) علاوه بر بررسی عناصری همچون As, Sb, Be, Li, Co, W, Ba و Cu، در چشمه‌های آبگرم رزولت^۲ در ایالت یوتا در آمریکا با حفر گمانه‌های اکتشافی مدل سه بعدی از مخزن حرارتی این ناحیه ترسیم نمود. همبستگی مثبت As - Sb و بالا بودن غلظت عناصری چون Li, Be و W قابل توجه است (Cheristensen et al, 1983). استوفر و تامپسون (۱۹۸۴) همبستگی دو عنصر As و Sb در آب‌های حرارتی منطقه ژئوترمال پارک ملی یلواستون آمریکا را مورد بررسی قرار داد و همبستگی مثبت این دو عنصر با هم و با دما را نشان دادند (Stauffer and Thompson, 1984). بینگو و همکاران (۱۹۸۶) عناصری مانند Hg, As, Sb, Bi و B را در نمونه‌های خاک برخی از مناطق زمین‌گرمایی در چین مورد بررسی قرار داد و آن‌ها را به عنوان ردیاب ژئوشیمیایی خاک مناطق زمین‌گرمایی معرفی کردند (Bingqiu et al, 1986). لسکینسکی و همکاران (۱۹۸۷) جیوه را به عنوان یکی از عناصر با اهمیت در نمونه‌های خاک منطقه حرارتی رینکون لا ویجا^۳ در کشور کاستاریکا معرفی کرد (Lescinsky et al, 1987).

۱ - Pyrenees

۲ - Roosvelt

۳ - Rincon La Vieja

بینگو و هو (۱۹۹۵) در مطالعات ژئوشیمیایی که به منظور تعیین عناصر ردیاب در اکتشاف مناطق زمین گرمایی در چین انجام دادند. به صورت همزمان خاک، سنگ‌های دگرسان شده و سالم و رسوبات چشمه‌های آبگرم را مورد بررسی قرار داد. در نمونه‌های خاک غلظت عناصری چون Hg, Bi و As بالا بود و تغییرات غلظت این عناصر با تغییرات دما رابطه مستقیم داشت. عناصری چون Be, Bi, Hg, Sb و As در سنگ‌های دگرسان شده نسبت به سنگ‌های دگرسان نشده غلظت بالاتری نشان می‌دهند. عناصری چون Ti, Sb, Hg, Fe, Bi, Be, Ba و As در رسوبات اطراف چشمه‌های آبگرم و سرد غلظت بالایی دارند (Bingqiu and Hui, 1995). مارینی (۲۰۰۰) در مورد همبستگی B و Cl صحبت کرد و آب‌های در حال جوش را حاوی مقدار بالای B و Cl و آب‌های سرد را حاوی مقادیر کمتری از این دو دانست (Marini, 2000).

مولر (۲۰۰۰) و (۲۰۰۵) عناصر نادر خاکی و ایتیریم را در آب‌های حرارتی مورد بررسی قرار داد و سه عنصر Eu, Ce و Y را به عنوان عناصر با اهمیت معرفی کرد (Moller, 2000, 2005). هانیان (۲۰۰۵) در بررسی عناصر نادر خاکی در منطقه آتشفشانی تائوپو نیوزلند^۱ آنومالی مثبت Eu را در آب‌های حرارتی نشان داد (Hannigan, 2005). برادران کارلج (۲۰۰۹) عناصر نادر خاکی را در آب‌های حرارتی مورسکا سوبوتا اسلونی^۲ مورد بررسی قرار دادند که طی نتایج حاصله تهی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سبک و غنی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سنگین نشان داده شد. آنومالی مثبت Eu در آب‌های حرارتی این منطقه دیده می‌شود (Karlj and Karlj, 2009). یانا و همکاران (۲۰۱۲) ژئوشیمی عناصر نادر خاکی را به عنوان ابرازی در فهمیدن فعل و انفعالات سنگ - آب می‌داند. بعد از نرمال‌سازی نتایج چشمه‌های آبگرم منطقه گانگدونگ^۳ چین با PAAS^۴ غنی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سنگین نشان داده شد، این در حالی است که در نمونه‌های سنگ غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک دیده می‌شود. در نمونه‌های

۱ - Taupo Newzealand

۲ - Murska Sobota Slovenia

۳ - Guangdong

۴ - Post Archean Australian Shale

آبگرم این منطقه غنی شدگی Eu و به صورت ضعیف Ce دیده می‌شود که Ce در ارتباط با pH و Eu به احتمال زیاد در ارتباط با کانی‌های غنی از Eu هستند (Yuana et al, 2012). گوراو و همکاران (۲۰۱۵) B, Ba, Br, Cs, F, Li, Rb, Si, Sr و REE را در منطقه زمین‌گرمایی کوست^۱ مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه همبستگی بین Sr-Ca و Ca-Ba نشان داده شد. همچنین آنومالی مثبت Eu را مربوط به سیالات با دمای بالاتر از ۲۵۰ درجه سانتی گراد دانستند (Gurav et al, 2015). با توجه به مطالعات صورت گرفته، مطالعه الگوی عناصر نادر خاکی و عناصر کمیاب در مناطق زمین-گرمایی دارای اهمیت است. از سوی دیگر در مطالعات صورت گرفته در دنیا، نبود مطالعه همه جانبه (سنگ - خاک - رسوب و آب چشمه) احساس می‌شود. از این رو در منطقه زمین‌گرمایی استان آذربایجان شرقی عناصر کمیاب و نادر خاکی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در برخی موارد از برخی از چشمه‌های استان اردبیل نیز استفاده شده است.

۲-۲- زمین‌شناسی استان آذربایجان شرقی

این منطقه از ایران، حوادث زیادی را پشت سر گذاشته که آثار آن از پرکامبرین (زمین‌های دگرگونی میانه) تا به امروز (ولکانیسم سبلان و سهند) قابل مشاهده است. از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی و بر اساس تقسیم‌بندی‌های انجام شده استان آذربایجان شرقی از دو بخش ساختاری تشکیل شده است. بخش غربی و جنوب غربی آن دنباله پلاتفرم پالئوزوئیک ایران مرکزی و البرز غربی است. این بخش شامل کوه‌های بزقوش - سهند و ارتفاعات شمال تبریز (کوه‌های میشو و مرو) و ارتفاعات غرب جلفا است. بخش شمال شرق آذربایجان ظاهراً فاقد رخساره‌های پلاتفرمی پالئوزوئیک شبیه سایر قسمت‌های ایران بوده و رخساره‌های فیلش مزوزوئیک در آن گستردگی زیادی داشته و در بخشی نیز رخساره رسوبات ترشیر از ویژگی خاصی برخوردار است.

در سنوزویک، تنش‌های ناشی از دو رخداد کوهزایی آلپ میانی و پایانی، موجب ماگمازایی شدید در گستره‌های پهناوری از ایران شده به گونه‌ای که ماگماتیسم ترشیری با بیش از چند هزار متر مکعب حجم، بیشترین سنگ‌های ماگمایی ایران را تشکیل می‌دهند. از این رو، سنوزویک ایران را «دوران ماگماتیسم» می‌نامند. شدیدترین فعالیت‌های آتشفشانی در اوایل ترشیری، به ویژه ائوسن، اتفاق افتاده است. ماگماتیسم ترشیری به دو صورت آتشفشانی و نفوذی است. نفوذی‌های این گروه به طور عمده از نوع گرانیتوئیدی و تکاپوهای خروجی نیز به هر دو صورت گدازه‌ای و آذرآواری می‌باشد. آذرآواری‌های ترشیری گاه منشأ مستقیم ماگمایی دارند و گاه بر اثر فرسایش، حمل و رسوب‌گذاری بعدی (اپی‌کلاستیک) نهشته شده‌اند.

در استان آذربایجان شرقی به ویژه در نواحی کلیبر و سراب، توده‌های نفوذی ائوسن - الیگوسن بیشتر از نوع سینیت‌های نفلین و لوسیت‌دار با ترکیب شیمیایی قلیایی حاوی آلومینیم هستند و مقدار پتاسیم آن‌ها بیش از سدیم می‌باشد که از آن جمله می‌توان به سینیت پسودولوسیت‌دار رزگاه (اهر)، سینیت آنالیسیم‌دار باشکند (شمال میانه) اشاره کرد. افزون بر توده‌های فوق، توده‌های دیگری با ترکیب گرانیتی، گرانودیوریتی، مونزونیتی و گابرویی در استان پراکنده هستند.

در منطقه اهر دو سوم رخنمون‌های سنگی از نوع سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی دوران سوم است که بخش بیشتر آن‌ها به سن پالئوژن، به ویژه ائوسن هستند. از بررسی این رخنمون‌ها چنین دریافت می‌شود که تکاپوهای آتشفشانی متفاوتی بر حسب مکان و زمان صورت گرفته است. برای نمونه در جنوب باختری این ناحیه، فعالیت‌های آذرین از پالئوسن آغاز شده در حالی که در مناطق مرکزی تکاپوهای آتشفشانی بیشتر از ائوسن پیشین رخ داده و یا در شمال منطقه رسوب‌های آواری با خاستگاه آتشفشانی، به سن پس از ائوسن پیشین، برونزد دارند. مجموعه رسوبی - آتشفشانی پالئوسن - ائوسن زیرین (پیش از لوتسین) منطقه اهر را «سازند مجیدآباد» می‌گویند. سازند مجیدآباد، خود با سنگ‌های آتشفشانی لوتسین پیشین - ائوسن بالایی پوشیده می‌شوند (قابل قیاس با گدازه‌های هم‌ارز سازند کرج).

بنابراین، این سنگ‌های آتشفشانی در یک زمان کوتاه و بیشتر در زمان ائوسن زیرین - میانی، شکل گرفته‌اند (شکل ۱-۲).

در منطقه لاهرود تکاپوهای آتشفشانی ائوسن از نوع تفریت، تراکی آندزیت، هیالوکلاستیک، برش آتشفشانی، گدازه‌های بالشی با ترکیب آندزیتی - تفریتی است. در ضمن ماسه‌سنگ و مارن را می‌توان به همراه گدازه‌های آندزیت پورفیری، آندزیت بازالت، داسیت، ایگنمبریت و ریوداسیت دید. در جنوب خاوری تبریز (ناحیه قره‌چمن - ترکمن‌چای)، سنگ‌های ائوسن در دو پهنه جداگانه برونزد دارند. در پهنه قره‌چمن، سنگ‌های آذرین با ترکیب آندزیت، ایگنمبریت، آندزیت بازالت است که میان‌لایه‌های ناچیز رسوبی دارد. در باریکه سراب - بُزقوش، ائوسن با سری‌های مارنی گچ‌دار و نومولیت‌دار آغاز و با سنگ‌آهک‌های ماسه‌دار (به سن ائوسن زیرین) و سپس روانه‌های آندزیتی - بازالتی و گدازه‌های اسیدی ادامه می‌یابد (شکل ۱-۲).

در آذربایجان شرقی، مانند ایران مرکزی، ماگماتیسم پلیوسن به صورت جریان گدازه و یا توده‌های کوچک گنبدی است که یا سنگ‌های کهن‌تر از پلیوسن را می‌پوشانند و یا درون لایه‌های سُرخ نئوژن جایگزین شده‌اند. گدازه‌های آندزیتی شمال خاوری میانه و یا گنبدیهای آتشفشانی خروجی نواحی اهر و خواجه (خاور تبریز) از آن جمله است که بیشتر ترکیب اسیدی تا حدواسط دارند و از نوع سنگ‌های فوق اشباع از سیلیس و آلومین هستند. در منطقه سهند، افزون بر سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی، که در برپایی ساختار آتشفشان چینه‌ای اولیه سهند نقش داشته‌اند، سنگ‌های داسیتی نیز فراوان است (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲) (شکل ۱-۲).

۲-۱-۲- ولکانیسم و توده‌های نفوذی

سنگ‌های آتشفشانی در ایران شامل توالی ائوسن، میوسن بالایی و پلیوسن - کواترن هستند که اکثراً در نواحی جنوبی دریای خزر و به صورت تجمعات و سنگ‌های آتشفشانی در شرق دریاچه ارومیه، در منطقه اهر - ارسباران و کمربند آتشفشانی مرکز ایران، وجود دارند. رخنمون‌هایی از تراکی آندزیت و

تراکیت‌ها (گاه حاوی سانیدین و آنالسیم) و سنگ‌های بازانیت با خواص شوشونیتی، متعلق به دوران ائوسن، در زون آذربایجان - البرز - سیزوار، به خصوص در کمربند ولکانیکی اهر - ارسباران در آذربایجان و نیز در جنوب غرب شهر تبریز به چشم می‌خورد. آتشفشان سهند در جنوب تبریز حاوی توف‌های برشی شوشونیتی متعلق به ائوسن زیرین، تراکی آندزیت‌ها و تراکیت‌های حاوی آنالسیم می‌باشد. فعالیت‌های آتشفشانی این منطقه به طور متناوب در اوایل ائوسن، میوسن و در دوران چهارم شکل گرفته‌اند.

۲-۲-۲- آتشفشانی ترشیری

در منطقه‌ی اهر دو سوم رخنمون‌های سنگی از نوع سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی دوران سوم است که بخش بیشتر آن‌ها به سن پالئوژن، به ویژه ائوسن هستند. از بررسی این رخنمون‌ها چنین دریافت می‌شود که تکاپوهای آتشفشانی متفاوتی بر حسب مکان و زمان صورت گرفته است. برای نمونه در جنوب غربی این ناحیه، فعالیت‌های آذرین از پالئوسن آغاز شده در حالی که در مناطق مرکزی تکاپوهای آتشفشانی بیشتر از ائوسن پیشین رخ داده و یا در شمال منطقه رسوب‌های آواری با خاستگاه آتشفشانی، به سن پس از ائوسن پیشین برونزد دارند.

در جنوب خاوری تبریز (ناحیه‌ی قره چمن - ترکمن چای)، سنگ‌های ائوسن در دو پهنه‌ی جداگانه برونزد دارند. در پهنه قره چمن، سنگ‌های آذرین با ترکیب آندزیت، ایگنمبریت، آندزیت بازالت است که میان لایه‌های ناچیز رسوبی دارد. در باریکه‌ی سراب - بزقوش، ائوسن با ردیف مارنی گچ‌دار و نومولیت‌دار و تا سنگ آهک‌های ماسه‌دار (به سن ائوسن زیرین) و سپس روانه‌های آندزیتی - بازالتی و گدازه‌های اسیدی ادامه می‌یابد.

۲-۲-۳- آتشفشانی ائوسن - الیگوسن

آتشفشانی‌های ائوسن - الیگوسن شامل ریولیت (انزلی - میانه)، داسیت (میانه)، آندزیت (تبریز) و تراکی آندزیت، لاتیت و بازالت (میانه) است. این سنگ‌ها فوق اشباع از سیلیس، با گرایش متفاوت پتاسیمی یا سدیمی بوده و می‌توان منشأ پوسته‌ای را برای پاره‌ای از آن‌ها پذیرفت. افزون بر سنگ‌های اسیدی یاد شده، سنگ‌های بازالتی با گرایش سدیمی نیز وجود دارد که خود منشأی برای آتشفشانی‌های حدواسط - اسیدی (تراکی آندزیت، فنولیتی - تراکیتی) بوده‌اند.

۲-۲-۴- آتشفشانی پلیوسن

در آذربایجان شرقی مانند ایران مرکزی، ماگماتیسم پلیوسن به صورت جریان گدازه و یا توده‌های کوچک گنبدی است که با سنگ‌های کهن‌تر از پلیوسن را می‌پوشانند و یا درون لایه‌های سرخ نئوژن جایگزین شده‌اند. گدازه‌های آندزیتی شمال خاوری میانه و یا گنبدی‌های آتشفشانی خروجی نواحی اهر و خواجه (خاور تبریز) از آن جمله است که بیشتر ترکیب اسیدی تا حد واسط دارند و از نوع سنگ‌های فوق اشباع از سیلیس و آلومین هستند. در منطقه سهند افزون بر سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی، که در برپایی ساختار آتشفشان چینه‌ای اولیه‌ی سهند نقش داشته‌اند، سنگ‌های داسیتی نیز فراوان است.

۲-۲-۵- آتشفشانی کواترنری

در طی کواترنر، آتشفشانی‌هایی در ایران وجود داشته که امروزه قلل آن‌ها ارتفاعات مهمی را تشکیل داده‌اند. در حال حاضر برخی از آن‌ها در مرحله‌ی گوگردزایی بوده و از دهانه‌ی آن‌ها بخار آب و گازهای گوگردی خارج می‌شود. بر اساس داده‌های موجود برخی از آتشفشان‌ها حتی از قدیم نیز فعال بوده‌اند، ولی مخروط اصلی آن‌ها در کواترنر به وجود آمده است. سهند از جمله آتشفشانی‌هایی است که از کواترنر فعال بوده است. نوع و ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی کواترنری نشانگر آن است که منشأ بازالت‌ها

از گوشته است که گاه در اثر پدیده‌ی تفریق بخشی و یا ذوب پوسته، سنگ‌های تراکی بازالت، تراکی آندزیت تا تراکیتی رابه وجود آورده‌اند.

۲-۲-۶- آتشفشان سهند

آتشفشان سهند در ۴۰ کیلومتری جنوب تبریز قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۳۶۹۵ متر است. سهند مخروط بسیار پهن و گسترده‌ای از تناوب منظم گدازه و خاکستر است که چینه بندی منظم دارد و گستره‌ای حدود ۴۵۰۰ کیلومتر مربع را زیر پوشش دارد.

آتشفشان سهند بیشتر از نوع گدازه‌های ریولیتی، داسیتی و آندزیتی است که در بین آن‌ها توف‌ها و خاکسترهای فراوان دیده می‌شود. وجود خاکستر با قطعات پامیس در فواصل بسیار دور از قله (مراغه، میانه، بستان آباد) نشان می‌دهد که فوران‌های انفجاری سهند بسیار شدید بوده است.

سهند توده‌ی آذرین خروجی است که به صورت کلاهی بر روی پایه‌ای از سنگ‌های رسوبی به سن‌های مختلف قرار گرفته است. ضخامت مواد آتشفشانی بیش از ۸۰۰ متر برآورد شده است و در یک نگاه کلی، مواد آتشفشانی تشکیل دهنده‌ی سهند به ترتیب از پایین به بالا کنگلومرای آتشفشانی، افق‌های پامیس‌دار و گدازه‌های آندزیتی، تناوبی از لایه‌های آگلومرای، روانه‌های برشی و لاهار و گدازه‌های داسیتی تشکیل شده است. بدین ترتیب با توجه به وضع چینه شناسی، سهند را می‌توان نوعی کلاسیک از یک آتشفشان چینه‌ای دانست (آقانباتی، ۱۳۸۳). بر اساس داده‌های جدید، بر این باور است که (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲):

* در سهند تغییرات و تحولات ماگمایی در طول زمان صورت گرفته و این تحولات ناشی از تفریق ماگمای اصلی بر اثر نیروی گرانش می‌باشد. به گونه‌ای که در محفظه‌ای ماگمایی، از ماده مذاب اولیه با ترکیب آندزیتی، سنگ‌های اسیدی شامل داسیت و ریوداسیت به وجود آمده است.

* با توجه به ترکیب شیمیایی سنگ‌ها به نظر می‌رسد که ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌ها از ذوب بخشی پوسته زیرین حاصل شده باشند.

۲-۲-۷ گسل تبریز

تکتونیک فعال شمال غرب ایران، در برگیرنده آرایه‌ای از گسل‌های راست‌گرد و امتداد لغز، با روند شمال غرب جنوب شرق می‌باشد. اصلی‌ترین گسل این منطقه در استان آذربایجان شرقی گسل تبریز نام دارد. این گسل دارای حالت ترکیبی می‌باشد، بدین معنا که خود از به هم پیوستن چند گسل دیگر تشکیل شده است. به همین دلیل دارای تغییر روند فراوانی در طول مسیر خود بوده و امتداد آن پس از عبور از خوی و ماکو به طرف غرب، به طور واضح مشخص نیست و به نظر می‌رسد پس از آن به کوه آرارات در ترکیه مربوط شود.

آخرین حرکت این گسل از نوع راست‌گرد است و طول آن از جنوب ابهر تا کوه آرارات بیش از ۶۰۰ کیلومتر است. به نظر می‌رسد که حرکات و جابجایی این گسل در فوران‌های آتشفشانی پلیو - کواترنر سهند دخالت داشته و پیامد آن ایجاد چشمه‌های آب گرم بستان آباد و فعال شدن شکستگی‌های اطراف است. در شمال خوی، گسل تبریز با گسل زرینه رود به هم می‌پیوندند و تا ماکو ادامه می‌یابد (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۳- نشانه‌های حضور پتانسیل زمین‌گرمایی در آذربایجان شرقی

مطالعات زمین‌شناسی منابع زمین‌گرمایی در دنیا نشان داده است که وجود منابع این انرژی به عوامل زیر ارتباط دارد:

- ساختارهای زمین‌شناسی، به ویژه گسل‌ها
- چشمه‌های آب گرم

- آتش فشان‌ها، به ویژه آتش فشان‌های جوان
- دهانه‌های آتش فشانی (کراتر)
- کالدرهای آتش فشانی
- گنبد‌های آتش فشانی
- مناطقی که دچار دگرسانی هیدروترمال شده‌اند

وجود ولکانیک‌ها^۱ و توده‌های نفوذی جوان و شواهد ساختاری آن که کراترها یا دهانه‌های آتشفشانی^۲ و یا گل‌فشان‌ها^۳ می‌باشند به عنوان بخشی از شواهد زمین‌شناسی محسوب می‌گردند. وجود دو دهانه آتشفشانی سهند و سبلان در بین واحدهای آذرین جوان در دو استان همجوار اردبیل و آذربایجان شرقی یکی از شواهد زمین‌شناسی موجود در منطقه هستند. لازم به ذکر است که در دهانه آتشفشانی سبلان در استان اردبیل واحدهای آذرین جوان بوجود آورنده این کراتر در بخشی از برکه مشکین‌شهر و اهر (که در استان آذربایجان شرقی نیز گسترش یافته است) قابل ملاحظه می‌باشند. کراتر سهند در استان آذربایجان شرقی و مجموعه‌ای از واحدهای آذرین جوان به صورت حلقوی در اطراف این دهانه آتشفشانی گسترش یافته‌اند. به لحاظ سنی و با استناد به اطلاعات زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ استان، واحدهای آذرین اطراف این دو دهانه آتشفشانی مربوط به کواترنر و اواخر ترشیری می‌باشند. لازم به ذکر است که در استان آذربایجان شرقی شواهدی از گل‌فشان‌ها مشاهده نگردیده است. در بخش‌های جنوب ایران شواهد گل‌فشان‌ها بیشتر مشاهده شده است.

گسل‌ها^۴ و مناطق خردشده به عنوان یکی دیگر از شواهدی هستند که در جریان سیالات و تماس با منابع زمین‌گرمایی (در منابع زمین‌گرمایی تر یا مرطوب) نقش موثری دارند. وجود گسل‌ها می‌توانند به عنوان یک مسیر برای حرکات رو به بالای سیالات هیدروترمالی و به سطح رساندن اثرات آن‌ها در یک

۱ - Volcanic Rocks

۲ - Volcanic Craters

۳ - Volcanic Muds

۴ - Faults

منبع زمین گرمایی پنهانی (تشکیل منطقه بندی های دگرسانی) محسوب گردد. بر اساس گردآوری اطلاعات صورت گرفته، وضعیت گسترش گسل های قطعی (خطوط پیوسته) و احتمالی (خط چین) استان آذربایجان شرقی مطابق شکل (۱-۲) می باشد. با توجه به این شکل، در بخش شمالی سه پهنه یک گسل اصلی با روند شمال غربی - جنوب شرقی ملاحظه می گردد. در اطراف دهانه سه پهنه نیز گسل های فرعی در جهات مختلف مشخص گردیده اند.

وجود چشمه های آبگرم به عنوان یکی از شواهدی که دلالت بر حضور یک منبع گرمایی پنهانی کم عمق در منطقه است محسوب می گردد. جریان آب های سطحی و زیرزمینی که در تماس با منبع گرمایی پنهانی بوده بعد از گرم شدن و تبدیل به بخار می تواند از طریق مجاری گسل ها خود را به سطح برساند و به صورت چشمه های آبگرم و یا آبفشان ها در سطح زمین ظاهر گردند. چنانچه دمای توده آذرین زیر سطحی بالا بوده و عمق آن کم باشد و یا در طی مسیر افت حرارتی آن پایین باشد، بخارت آبگرم خود را به شکل آبفشان به سطح خواهند می رسانند. ولی با پایین بودن دمای توده آذرین یا عمق زیاد آن و یا اختلاط آب های گرم شده با جریانات آب های سرد می تواند دمای آب کاهش یافته و سبب گردد که جریان آبگرم خود را به سطح برساند. در این استان چشمه های آبگرم متعددی از قبیل آبیش احمد در منطقه کلبر، مامان در منطقه میانه، ایستی سو و منشگه در منطقه قره آغاج، غله زار در منطقه آذرشهر و غیره به چشم می خورد که دمای برخی از آن ها از ۵۰ درجه سانتی گراد نیز تجاوز می کند.

وجود مناطق دگرسانی^۱ سطحی موقعیت و توزیع سطحی مناطق دگرسانی می‌تواند در شناسایی و پی‌چویی نواحی فعال ژئوترمالی راهنمای مناسبی محسوب گردد، زیرا مناطق دگرسانی ممکن است در ارتباط نزدیکی با مسیر حرکت رو به بالای^۲ سیستم زمین‌گرمایی در عمق باشند. به عبارت دیگر منابع ژئوترمالی درون و اطراف مناطق دگرسانی محتمل‌تر از مناطق غیردگرسان شده است. در طی فرآیند دگرسانی هیدروترمالی، بر اثر واکنش سیالات هیدروترمالی با سنگ‌های مسیر حرکت و مجاور آن تغییرات کانی‌شناسی رخ خواهد داد. تشکیل کانی‌های ثانویه در سیستم ژئوترمالی بر اساس شرایط شیمیایی / فیزیکی سیستم کنترل می‌گردد. بر اساس نتایج کارهای قبلی از جمله Utami (1999) حضور دگرسانی‌های گرمایی در اطراف بعضی منابع زمین‌گرمایی به اثبات رسیده است. بر اساس مطالعات صحرایی صورت گرفته در استان آذربایجان شرقی در مناطق سراب، آبیش‌احمد و چهاراویماق آثار دگرسانی‌های هیدروترمالی در مجاورت با چشمه‌های آبگرم بوده است شکل‌های (۲-۲) و (۳-۲).



شکل (۲-۲): دگرسانی در منطقه کلیبر (قوامی‌ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).

۱ - Alteration Zones

۲ - Upflow



شکل (۳-۲): دگرسانی در منطقه قره‌آغاج (قوامی‌ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).

فصل سوم

معرفی داده‌های مورد استفاده و آمار تک متغیره

۳-۱- چشمه‌های آبگرم آذربایجان شرقی

همانطور که پیشتر اشاره شد چشمه‌های آبگرم از جمله شواهد سطحی هستند که وجود یک منبع گرمایی زیر سطحی را تأیید می‌نمایند. از آنجا که شاخصه‌ی یک مخزن زمین‌گرمایی، تراوایی و تخلخل ناچیز می‌باشد، راهیابی سیالات هیدروترمال به سطح زمین مستلزم وجود شکستگی‌هایی در سنگ مخزن می‌باشد. به همین دلیل، چشمه‌های آبگرم به طور معمول با فاصله از سنگ‌های آذرین و در سنگ‌های رسوبی، آبرفت‌ها و سنگ‌های آذرآواری و در فواصل دور از کنتاکت‌های آذرین شکل می‌گیرد. استان آذربایجان شرقی دارای چشمه‌های آبگرم متعددی است که برخی از آن‌ها را به اختصار توضیح می‌دهیم:

- **چشمه‌های آبگرم منطقه عجب‌شیر:** در منطقه عجب‌شیر سه چشمه آبگرم شورسو،

ساری سو و قره‌سو مورد مطالعه قرار گرفته است که این چشمه‌های کارستی از شکاف سنگ‌های آهکی کرتاسه از زمین خارج می‌شوند. در اطراف چشمه، نهشته‌های گل کلمی تراورتن رسوب کرده است. دما در چشمه‌های این منطقه بالا نیست و میانگینی در حدود ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد دارند (شکل ۳-۱).

- **چشمه‌های آبگرم منطقه آذرشهر:** در منطقه آذرشهر پنج چشمه شورسو آبگرم و

آب‌سرد، تاپ تاپان و کلوانق ۱ و ۲ مورد مطالعه قرار گرفته است. چشمه شورسو در کنار روستای غله‌زار قرار دارد این چشمه‌ها تراورتن‌ساز هستند بگونه‌ای که می‌توان در اطراف آن تراورتن‌های قرمز رنگی را مشاهده کرد (۳-۲). در این منطقه معدن تراورتن سنگ آب در حال استخراج است. چشمه تاپ تاپان در نزدیک روستای نادین‌لو قرار دارد در اطراف این چشمه، نهشته‌های متورق تراورتن و رسوبات اکسید آهن راسب شده است (شکل ۳-۳). تراورتن در اطراف چشمه‌های کلوانق نیز دیده می‌شود (شکل ۳-۴). میانگین دمای چشمه‌ها در این منطقه حدود ۲۰/۱ درجه سانتی‌گراد است.



شکل (۱-۳): چشمه آبگرم ساری سو در منطقه عجب شیر که حضور اکسیدهای آهن در بستر آن به وضوح دیده می شود (قوامی ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل (۲-۳): بستر چشمه شور سو غله زار (قوامی ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل (۳-۳): چشمه تاپ تاپان و رسوبات اکسید آهنی که در بستر آن دیده می شود (قوامی ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل (۳-۴): واحدهای تراورتنی اطراف چشمه کلوانق (قوامی ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).

- چشمه‌های آبگرم منطقه سراب: در این منطقه ۹ چشمه اسفروشان، امام قلی، الله حق، ایستی سو شالقون، اردها ۱ و ۲، میرمعصوم، جلدباخان و شکردره مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و برای مقایسه از آبراهه امام قلی و اردها نمونه‌گیری به عمل آمد. واحد سنگی در این منطقه اغلب بازالت تا بازالت‌های دگرسان شده است و می‌توان در این ناحیه گسترش دگرسانی هیدروترمال به صورت کائولینیت و مونت موریلونیت را دید. میانگین دما در منطقه سراب ۳۳/۹ درجه سانتی‌گراد است.

- چشمه‌های آبگرم منطقه بستان آباد: دو چشمه آبسرد و آبگرم بستان آباد مورد مطالعه قرار گرفته است چشمه‌ی آبگرم بستان آباد با دمای ۴۱ درجه‌ی سانتی‌گراد در جنوب شرق بستان آباد و در جنوب خروجی بستان آباد به طرف سراب واقع شده است. عامل تشکیل چشمه می‌تواند گسل تبریز باشد (شکل ۳-۵). در این منطقه در حوالی چشمه سنگ‌های تراورتن در کنار سنگ‌های آلتزه دیده می‌شود (شکل ۳-۶).



شکل (۳-۵): چشمه آبگرم بستان آباد (قوامی‌ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل (۳-۶): محل تماس سنگ‌های دگرسان شده و آهکی در منطقه بستان آباد (قوامی‌ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).

- **چشمه آبگرم جلفا:** در منطقه جلفا از دو چشمه یلین‌سو و دره دیز نمونه‌برداری به عمل آمده است. این چشمه‌ها در مسیر جلفا-خوی در حدود ۲۰ کیلومتری شهرستان جلفا در باختر جاده در دامنه کوه از شکاف سنگ‌های آهکی از زمین خارج می‌شود (شکل ۳-۷). دمای چشمه‌های در این منطقه به طور میانگین ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد است.
- **چشمه‌های آبگرم منطقه کلیبر:** در این منطقه دو چشمه آبیش احمد و یلسوئی قلعه‌کندی مورد مطالعه قرار گرفته است، که چشمه یلسوئی در شمال غرب چشمه حمام واقع شده و از شکاف سنگ‌های آذرین ائوسن خارج می‌شود (شکل ۳-۸). دمای حدود ۴۵ درجه سانتی‌گراد دارد. چشمه آبیش احمد در مسیر جاده‌ی کلیبر به آبیش احمد و در شرق جاده، از شکاف سنگ‌های آتشفشانی ائوسن از زمین خارج می‌شود. دمای این چشمه در

حدود ۵۳/۵ درجه سانتی گراد است (شکل ۳-۹). چشمه‌های این منطقه بیشترین دما را در میان چشمه‌های استان آذربایجان شرقی دارا هستند.



شکل (۳-۷): واحد آهکی کنار چشمه یلین سو (قوامی‌ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).

- چشمه‌های آبگرم منطقه میانه: در این منطقه، دو چشمه مامان ۱ و ۲ مورد مطالعه قرار گرفته است. میانگین دما در این منطقه ۳۰ درجه سانتی گراد است.
- چشمه‌های آبگرم منطقه ليقوان: در این منطقه دو چشمه ایستی سو ۱ و ۲ با میانگین دمای ۲۹/۸ درجه سانتی گراد مورد مطالعه قرار گرفته است. واحدهای ولکانیکی در اطراف این چشمه‌ها به چشم می‌خورد.
- چشمه‌های آبگرم منطقه مراغه: در این منطقه پنج چشمه آکوزبوغازی ۱ و ۲، شورسو ۱ و ۲ و ساری سو با میانگین دمایی ۲۱ درجه سانتی گراد مورد مطالعه قرار گرفته است.

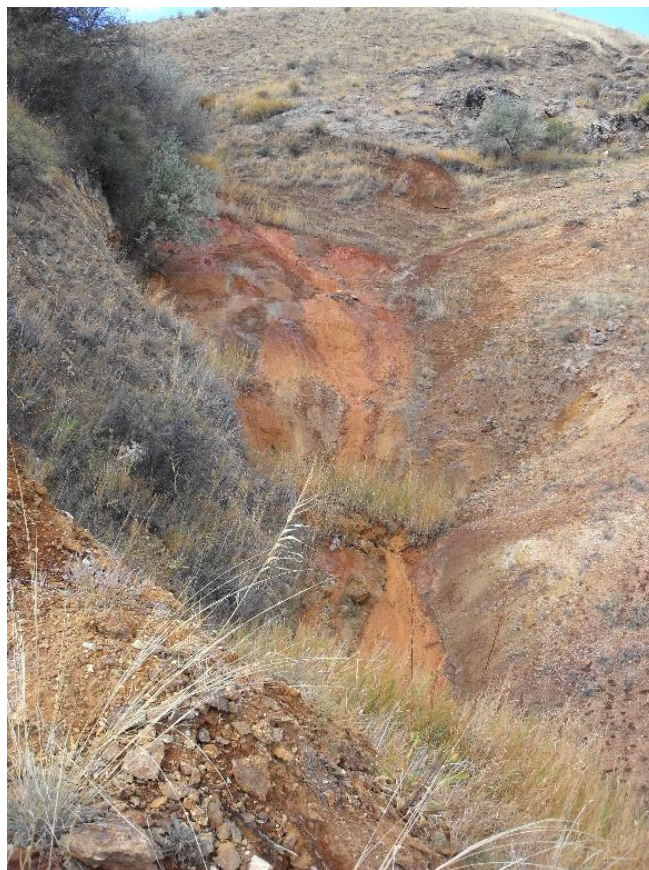


شکل (۸-۳): محل خروج آب از چشمه یلسوئی قلعه کندی (قوامی ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل (۹-۳): چشمه آبیش احمد در منطقه کلیبر (قوامی ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).

- چشمه‌های آبگرم منطقه هشتروود: دو چشمه گوگردق و قطورسوئی در این منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. میانگین دمای چشمه‌ها در این منطقه $34/7$ درجه سانتی‌گراد است. در اطراف چشمه قطورسوئی دگرسانی آرژیلیکی دیده می‌شود (شکل ۳-۱۰).
- چشمه‌های آبگرم منطقه قره آغاج: در این منطقه چهار چشمه ایستی سو ۱ و ۲ و ۳ و منشگه چهاراویماق مورد مطالعه قرار گرفته است. میانگین دمای چشمه‌ها در این منطقه بالاست و حدود $48/9$ درجه سانتی‌گراد است. دگرسانی آرژیلیکی در این منطقه به شدت گسترش یافته است بگونه‌ای که تمامی نمونه‌های سنگی برداشته شده دگرسان شده‌اند (شکل ۳-۱۱).



شکل (۳-۱۰): آلتراسیون اطراف چشمه قطورسوئی در منطقه هشتروود (قوامی‌ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل (۱۱-۳): آلتراسیون آرژیلیکی منطقه قره‌آغاج (قوامی‌ریایی و همکاران، ۱۳۹۲).

۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب چشمه‌ها

طی عملیات صحرایی که در استان آذربایجان شرقی صورت پذیرفته است، برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های آبگرم در این استان در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. این پارامترها شامل هدایت الکتریکی، درجه حرارت آب، pH، گازهای محلول در آب (دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن) و دبی آب می‌باشد. که مقادیر اندازه‌گیری برای این پارامترها در جدول (۱-۳) ارائه شده است.

جدول (۱-۳): پارامترهای فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های آبگرم آذربایجان شرقی اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری (کرمی و همکاران، ۱۳۹۲).

ردیف	نام ناحیه	نام چشمه	دبی (l/s)	درجه حرارت آب (°C)	هدایت الکتریکی (S/cmμ)	pH	دی‌اکسید کربن محلول (mg/l)	سولفید هیدروژن (mg/l)
۱	بستان آباد	بستان آباد گرم	6	40.1	5750	6.12	352	2.72
۲		بستان آباد سرد	0.03	14.5	5400	6.7	132	0
۳	سراب	اسفروشان	1.7	35.9	601	9.59	0	5.44
۴		امام‌قلی	5	26.6	395	9.3	0	0
۵		آبراهه امام‌قلی	90	9.2	107	7.52	0	0
۶		الله حق	0.6	40.4	454	9.81	0	6.12
۷		ایستی‌سو شالقون	8	32.8	160	10.36	0	4.08
۸		آبراهه	9	11.9	202	7.77	0	0
۹		اردها ۱	5	34.8	285	10.3	0	2.72
۱۰		اردها ۲	1.5	32.8	329	10.25	0	2.72
۱۱		چشمه سرد	0.2	14.5	315	7.52	0	0
۱۲		میرمعصوم	4.5	30.6	357	10.3	0	2.72
۱۳		جلدباخان	1	32.8	223	10.65	0	3.74
۱۴		شکردره	2	38.2	177	10.37	0	2.04
۱۵	آذرشهر	شورسو ۱	0.2	25.9	5230	6.57	1056	4.08
۱۶		شورسو ۲	0.1	16.7	4040	6.7	352	2.04
۱۷		تاپ‌تاپان	3	22.4	4060	6.3	1408	1.7
۱۸		کلوانق ۱	5	18.7	4470	6.43	1408	2.72
۱۹		کلوانق ۴	0.8	16.7	4290	6.72	1452	1.36
۲۰	عجب شیر	شورسو	1.5	25.7	2150	6.13	1144	1.36
۲۱		ساری‌سو	20	14.2	786	6.35	158.4	1.02
۲۲		قره‌سو	8	14	643	6.47	70.4	0.68
۲۳	مراغه	اکوزبوغازی ۱	4	27.5	2830	6.6	528	1.02
۲۴		اکوزبوغازی ۲	0.05	25.3	3030	6.3	704	0.68
۲۵		شورسو ۱	1.5	16.4	2087	5.9	880	0.544
۲۶		شورسو ۲	0.7	19.5	2660	6.08	1056	0.408
۲۷		ساری‌سو	0.05	16.5	4370	6.76	968	0.34
۲۸	کلیبر	یلسوئی	1.5	44.8	830	10.2	0	24.48
۲۹		آبش احمد	32	53.5	780	10.38	0	122.4

ادامه جدول (۳-۱).

ردیف	نام ناحیه	نام چشمه	دبی (l/s)	درجه حرارت آب (C°)	هدایت الکتریکی (S/cmμ)	pH	دی اکسید کربن محلول (mg/l)	سولفید هیدروژن (mg/l)
۳۰	جلفا	یلین سو	4	19.9	185	6.11	616	2.04
۳۱		دره دیز ۱	1.5	28.8	1804	6.17	440	2.72
۳۲	لیقوان	ایستی سو ۱	0.2	28.5	7110	7.06	352	2.04
۳۳		ایستی سو ۲	0.5	31	6030	6.32	334.4	2.72
۳۴	هشترود	گوگردق	4	34.4	31100	5.57	836	3.4
۳۵		قطورسوئی	0.5	34.9	29800	5.58	818.4	3.06
۳۶	قره آغاج	ایستی سو ۱	12	52.1	2180	6.48	492.8	3.4
۳۷		ایستی سو ۲	0.1	44.5	2150	6.43	492.8	3.06
۳۸		ایستی سو ۳	5	46.2	2110	6.42	492.8	3.4
۳۹		منشگه	2.5	52.8	1640	6.14	660	10.88
۴۰	میانه	مامان ۱	22.5	30.1	26800	6.99	26.4	1.36
۴۱		مامان ۲	21.7	29.8	23500	6.7	26.4	1.36

• درجه حرارت آب: یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی آب در چشمه‌های آبگرم،

درجه حرارت آب می‌باشد. طبقه بندی ویچر (۱۹۸۱) در مورد چشمه‌های آذربایجان شرقی

اعمال و نتیجه در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

جدول (۳-۲): طبقه‌بندی چشمه‌های آذربایجان شرقی با توجه به طبقه بندی ویچر (۱۹۸۱).

ردیف	نام ناحیه	نام چشمه	میانگین درجه حرارت سالانه ناحیه	درجه حرارت آب (C)	نوع چشمه
۱	بستان آباد	بستان آباد	۸/۴	۴۰/۱	چشمه داغ
۲	سراب	اسب فروشان	۸/۶	۳۵/۹	چشمه داغ
۳		امام قلی		۲۶/۶	چشمه داغ
۴		الله حق		۴۰/۴	چشمه داغ

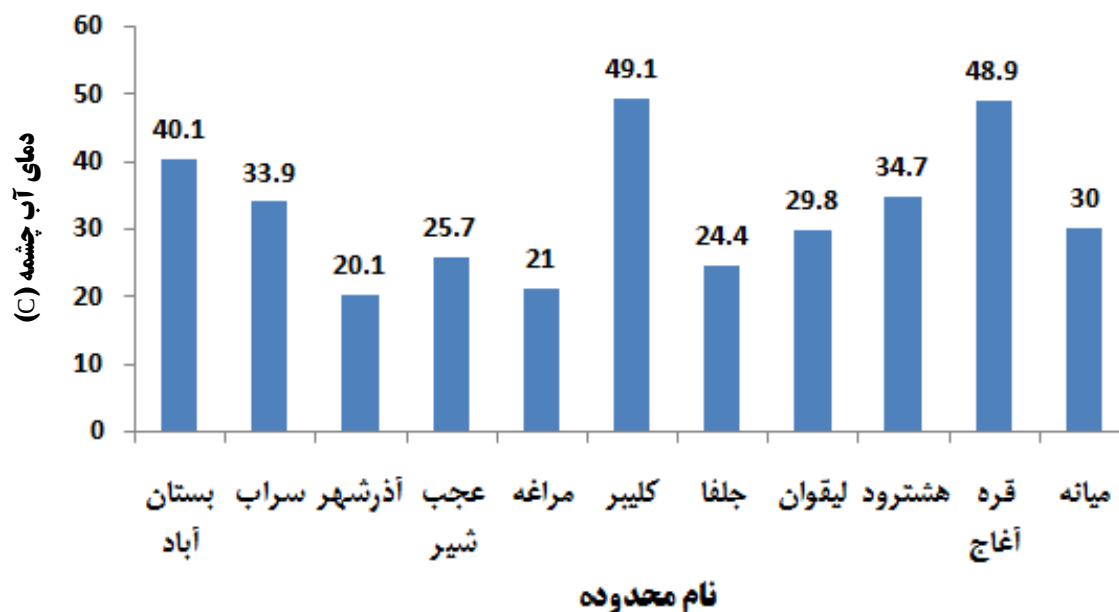
ادامه جدول (۳-۲).

ردیف	نام ناحیه	نام چشمه	میانگین درجه حرارت سالانه ناحیه	درجه حرارت آب (C)	نوع چشمه
۵	سراب	ایستی سو شالقون	۸/۶	۳۲/۸	چشمه داغ
۶		اردها ۱		۳۴/۸	چشمه داغ
۷		اردها ۲		۳۲/۸	چشمه داغ
۸		میرمعصوم		۳۰/۶	چشمه داغ
۹		جلدباخوان		۳۲/۸	چشمه داغ
۱۰		شکر دره		۳۸/۲	چشمه داغ
۱۱	آذرشهر	شورسو ۱	۱۲/۸	۲۵/۹	چشمه گرم
۱۲		شورسو ۲		۱۶/۷	چشمه گرم
۱۳		تاپ تاپان		۲۲/۴	چشمه گرم
۱۴		کلوانق ۱		۱۸/۷	چشمه گرم
۱۵		کلوانق ۴		۱۶/۷	چشمه گرم
۱۶	عجب شیر	شورسو	۱۳/۲	۲۵/۷	چشمه گرم
۱۷		ساری سو		۱۴/۲	چشمه گرم
۱۸		قره سو		۱۴	چشمه گرم
۱۹	مراغه	اکوزبوغازی ۱	۱۲/۹	۲۷/۵	چشمه گرم
۲۰		اکوزبوغازی ۲		۲۵/۳	چشمه گرم
۲۱		شورسو ۱		۱۶/۴	چشمه گرم
۲۲		شورسو ۲		۱۹/۵	چشمه گرم
۲۳		ساری سو		۱۶/۵	چشمه گرم

ادامه جدول (۳-۲).

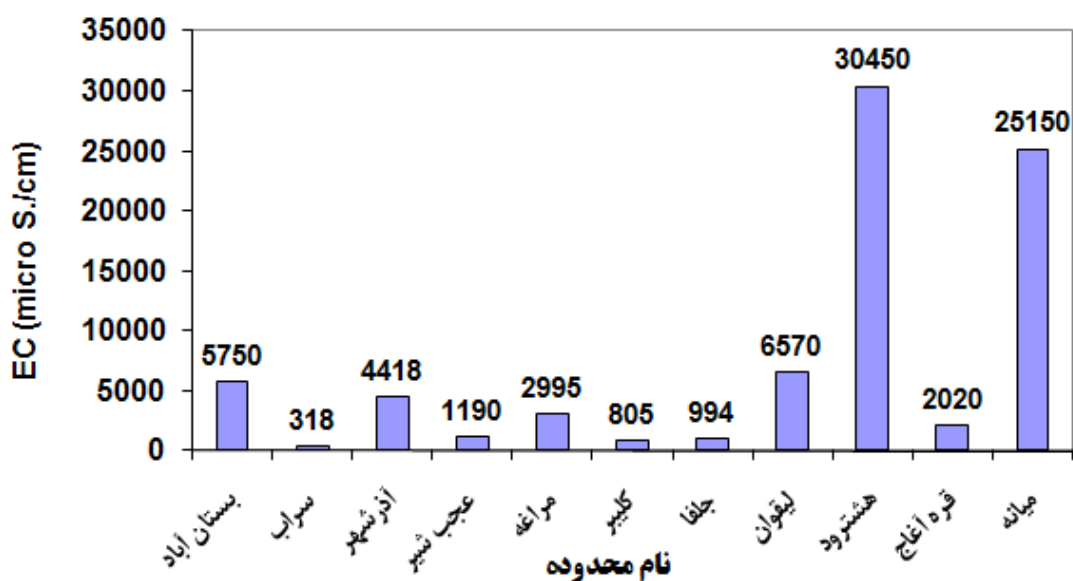
ردیف	نام ناحیه	نام چشمه	میانگین درجه حرارت سالانه ناحیه	درجه حرارت آب (C)	نوع چشمه
۲۶	جلفا	یلین سو	۱۴/۶	۱۹/۹	چشمه گرم
۲۷		دره دیز ۱		۲۸/۸	چشمه گرم
۲۸	لیقوان	ایستی سو ۱	۹/۸	۲۸/۵	چشمه داغ
۲۹		ایستی سو ۲		۳۱	چشمه داغ
۳۰	هشترود	گوگردق	۱۲	۳۴/۴	چشمه داغ
۳۱		قطورسوئی		۳۴/۹	چشمه داغ
۳۲	قره آغاج	ایستی سو ۱	۱۰/۵	۵۲/۱	چشمه داغ
۳۳		ایستی سو ۲		۴۴/۵	چشمه داغ
۳۴		ایستی سو ۳		۴۶/۲	چشمه داغ
۳۵		منشگه		۵۲/۸	چشمه داغ
۳۶	میانه	مامان ۱	۱۳/۷	۳۰/۱	چشمه داغ
۳۷		مامان ۲		۲۹/۸	چشمه داغ

شکل (۳-۱۲) میانگین درجه حرارت آب چشمه‌های آبگرم آذربایجان شرقی را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بالاترین درجه حرارت آب به ترتیب مربوط به نواحی کلیبر، بستان آباد و قره‌آغاج می‌باشد و کمترین درجه حرارت آب به ترتیب مربوط به نواحی آذرشهر، مراغه، جلفا و عجب‌شیر می‌شود.



شکل (۳-۱۲): میانگین دمای چشمه‌های نواحی مختلف آذربایجان شرقی (کرمی و همکاران، ۱۳۹۲).

- **هدایت الکتریکی:** هدایت الکتریکی آب بیانگر درجه شوری آب است که پارامتر مهم کیفی نماینده کل املاح محلول در آب می‌باشد. هر چه مقدار املاح در آب بیشتر باشد، هدایت الکتریکی آب هم بیشتر خواهد بود و بالعکس. در مورد چشمه‌های آبگرم بسته به این که آب نفوذی به داخل زمین به بخار تبدیل شده باشد و یا در کل مسیر ورود آن به داخل زمین و خروج آن از زمین به صورت مایع باقی مانده باشد و هم چنین قابلیت انحلال-پذیری سنگ‌های موجود در مسیر حرکت آب و سایر فرآیندها، می‌تواند متغیر باشد. در آذربایجان شرقی کمترین مقدار هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به سراب، کلیبر و جلفا می‌باشد (۳-۱۳).

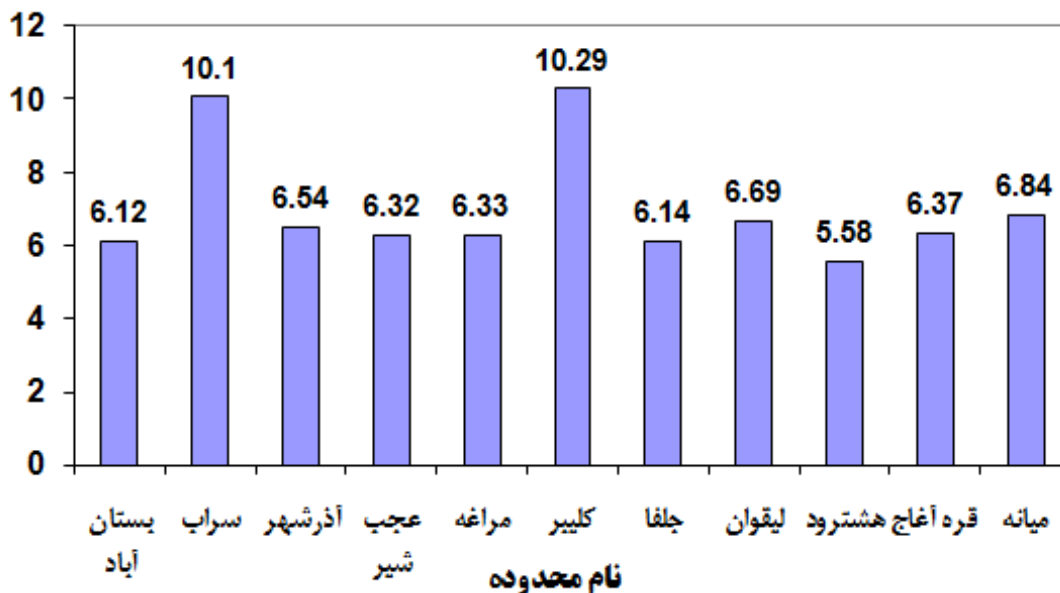


شکل (۳-۱۳): میانگین مقادیر هدایت الکتریکی چشمه‌ها در نواحی مختلف استان آذربایجان شرقی (کرمی و همکاران، ۱۳۹۲).

- **pH**: یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها (به ویژه چشمه‌های آبگرم) مقدار pH است. دامنه تغییرات pH در چشمه‌های سرد نسبتاً کم بوده و معمولاً بین ۷ تا ۹ متغیر است. در خصوص چشمه‌های آبگرم دامنه تغییرات pH بسیار زیاد است و بسته به فرآیندهای مهم تأثیرگذار و غلظت گازهای محلول می‌تواند بین حدود ۲ تا ۱۱ متغیر باشد. میانگین مقادیر pH برای نواحی مختلف استان بین ۵/۵۸ تا ۱۰/۲۹ است که بیشترین مقادیر برای کلیبر و سراب و کمترین آن برای هشتروند و بستان آباد است (شکل ۳-۱۴).

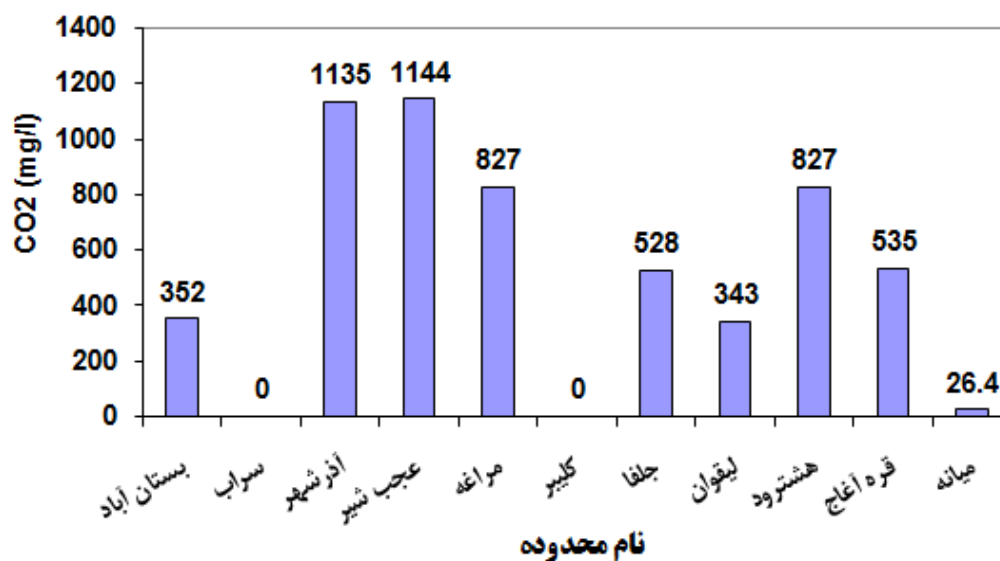
- **دی‌اکسید کربن**: دی‌اکسید کربن یکی از پارامترهای شیمیایی مهم آب قلمداد می‌شود. دی‌اکسید کربن محلول، نیروی محرکه شیمیایی آب در پدیده انحلال سنگ‌های کربناته است. مقدار این گاز محلول در چشمه‌های سرد بسته به منشاء چشمه از حدود صفر تا ۱۰ میلی گرم در لیتر متغیر است. در چشمه‌های آبگرم و یا چشمه‌هایی که با پدیده‌های هیدروترمال مرتبط می‌باشند، دامنه تغییرات این گاز از حدود صفر تا حدود بیش از ۵۰۰

میلی گرم در لیتر متغیر است. همانطور که در شکل (۳-۱۵) مشاهده می‌شود مقادیر دی-اکسیدکربن محلول در آب چشمه‌های آذربایجان شرقی از حدود صفر تا ۱۱۴۴ میلی گرم در لیتر متغیر است.



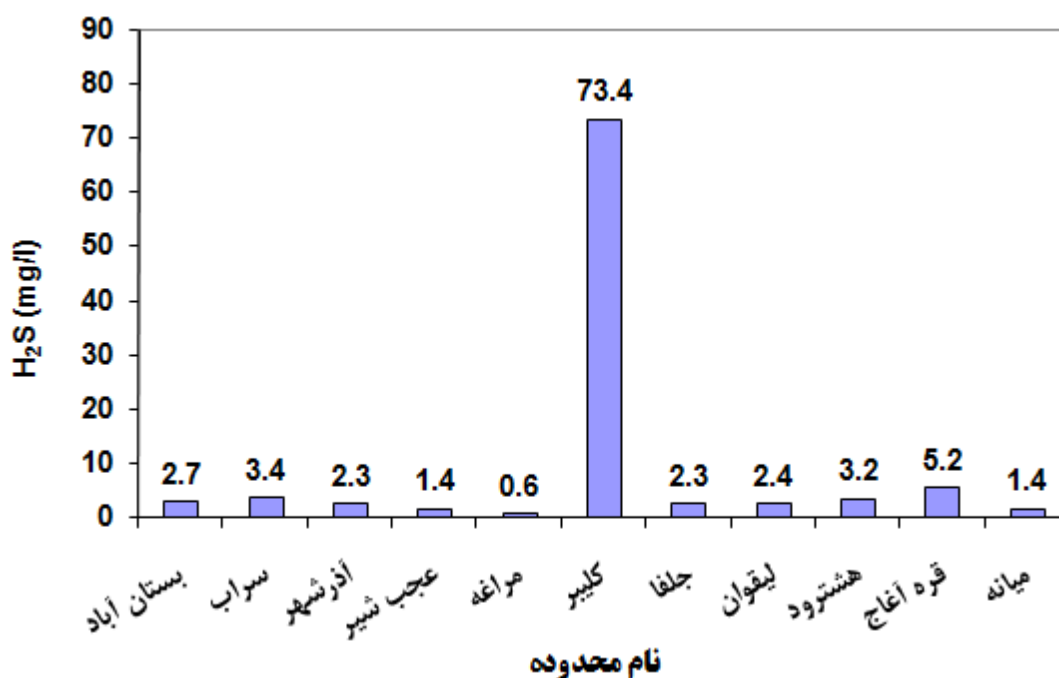
شکل (۳-۱۴): میانگین pH در چشمه‌های استان آذربایجان شرقی (کرمی و همکاران، ۱۳۹۲).

علاوه بر این، ملاحظه می‌شود مقادیر این گاز برای نواحی سراب و کلیبر صفر و در نواحی آذرشهر و عجب‌شیر به حدود بیش از ۱۱۰۰ میلی گرم در لیتر است.



شکل (۳-۱۵): میانگین دی‌اکسیدکربن محلول در آب چشمه‌های آبگرم استان آذربایجان شرقی (کرمی و همکاران، ۱۳۹۲).

- **سولفید هیدروژن محلول:** یکی دیگر از گازهای محلول که در برخی از چشمه‌های آبگرم ممکن است مقادیر نسبتاً زیادی را شامل شود، سولفید هیدروژن در آب است. همانطور که در شکل (۳-۱۶) مشاهده می‌شود مقدار این گاز در بیشتر چشمه‌های آذربایجان شرقی ناچیز است (به استثنای منطقه کلیبر) و بین ۰/۶ تا ۵/۲ میلی گرم در لیتر متغیر است.



شکل (۳-۱۶): مقادیر سولفید هیدروژن در چشمه‌های استان آذربایجان شرقی (کرمی و همکاران، ۱۳۹۲).

- **دبی چشمه:** یکی از ویژگی‌های مهم کلیه چشمه‌ها، دبی یا آبدهی آن‌ها است. در مورد چشمه‌های آبگرم نیز مطالعه دبی آن‌ها حائز اهمیت است و عمدتاً تابع عواملی از قبیل تراوایی عمقی سنگ‌های منطقه، عمق منبع زمین‌گرمایی، حجم آب‌های نفوذی به داخل زمین و غیره می‌باشد. بیشترین دبی در چشمه‌های این استان، مربوط به چشمه کلیبر با ۳۲ لیتر بر ثانیه و کمترین آن مربوط به چشمه‌های کوچک در دره آکوزبوغازی مراغه با ۰/۱ لیتر بر ثانیه است. به طور کلی با توجه به شرایط جوی در فصول متفاوت سال تغییرات دبی در تمامی چشمه‌ها دیده می‌شود.

۳-۳- معرفی داده‌های هیدروژئوشیمیایی مورد استفاده

در این مطالعه ۱۱ منطقه مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی شامل نواحی زیر است:

- ۱- بستان آباد ۲- سراب ۳- آذرشهر ۴- عجب‌شیر ۵- مراغه ۶- کلیبر ۷- جلفا ۸- لیقوان ۹- هشت‌رود ۱۰- قره‌آغاچ ۱۱- میانه

در این مناطق از ۳۶ چشمه آبگرم نمونه‌برداری صورت گرفت، علاوه بر چشمه‌های آبگرم از برخی رودخانه‌ها و چشمه‌های آب سرد جهت مقایسه نتایج نمونه برداری صورت گرفته است (جدول ۳-۱). نمونه‌ها از نوع آب، خاک، سنگ و رسوب بستر چشمه است.

نمونه‌های آب برای ۷۰ عنصر آنالیز شده است در حالیکه نمونه‌های خاک، رسوب و سنگ برای ۳۵ عنصر مورد آنالیز قرار گرفته است.

۳-۴- بررسی اولیه داده‌های مورد استفاده (آماري تک متغیره)

قبل از شروع مطالعه آماده‌سازی داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از این مراحل نحوه برخورد با داده‌های سنسورد است، داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که در بین آن‌ها به علت بالا بودن حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری تعدادی داده به صورت مقادیر کوچکتر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شود. وجود چنین اعدادی در بین یک سری داده می‌تواند بررسی آماری را دچار اختلال کند زیرا: (۱) روش‌های آماری نیاز به مجموعه‌ای از داده‌های غیر سنسورد دارد. (۲) در مواردی که سنسورهای نسبی صورت می‌گیرد مانند جداسازی آنومالی از زمینه، وجود داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود (حسنی‌پاک و قیاس‌الدین، ۱۳۸۴). برای تخمین مقادیر سنسورد روش‌های متعددی وجود دارد که در این مطالعه برای جایگزینی این اعداد از روش جایگزینی ساده استفاده شده است. با توجه به بررسی صورت گرفته مقادیر برخی از عناصر در نمونه‌های آب چشمه‌ها به طور کامل سنسورد بوده است که این عناصر از ادامه روند مطالعات کنار گذاشته می‌شود (جدول ۳-۳).

جدول (۳-۳): عناصر با مقادیر خارج از حد تشخیص دستگاه.

Ag	Dy	Eu	Hf	Ho
In	Lu	Pr	Ru	Sm
Ta	Tb	Ti	Tm	Yb

از سوی دیگر مطابق جدول (۳-۴) تعدادی از عناصر بیش از ۸۰ درصد از مقادیرشان سنسورد است، اما به علت اهمیت حتی یک داده در نمونه‌های مربوط به چشمه‌های آبگرم، مقادیر سنسورد آن‌ها جایگزین شده و در ادامه روند مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جدول (۳-۴): عناصری که ۸۰ درصد از مقادیرشان سنسورد است.

Au	Er	Gd	La
Nb	Nd	Pd	Re
Sc	Te	Th	

مقادیر سنسورد برای عناصر مورد مطالعه مطابق جدول (۳-۵) جایگزین شده است.

جدول (۳-۵): جایگزینی مقادیر خارج از ردیف به روش جایگزینی ساده.

عناصر	واحد	تعداد داده های آنالیز شده	حد تشخیص دستگاه	تعداد داده های خارج از حد تشخیص	درصد داده های خارج از حد تشخیص (%)	مقدار جایگزین شده برای داده های سنسورد
Al	ppb	41	1	0	0	-
As	ppb	41	0.5	0	0	-
Au	ppb	41	0.05	38	92.68	0.0375
B	ppb	41	5	0	0	-
Ba	ppb	41	0.05	0	0	-
Be	ppb	41	0.05	30	73.17	0.0375
Bi	ppb	41	0.05	0	0	-
Br	ppb	41	5	0	0	-
Ca	ppm	41	0.05	0	0	-
Ce	ppb	41	0.01	23	56.09	0.0075
Cl	ppm	41	1	0	0	-
Co	ppb	41	0.02	12	29.26	0.015
Cr	ppb	41	0.5	0	0	-
Cs	ppb	41	0.01	5	12.19	0.0075

ادامه جدول (۳-۵).

عناصر	واحد	تعداد داده های آنالیز شده	حد تشخیص دستگاه	تعداد داده های خارج از حد تشخیص	درصد داده های خارج از حد تشخیص (%)	مقدار جایگزین شده برای داده های سنسورد
Cu	ppb	41	0.1	0	0	-
Er	ppb	41	0.01	39	95.12	0.0075
Fe	ppb	41	10	22	53.65	7.5
Ga	ppb	41	0.05	29	70.73	0.0375
Gd	ppb	41	0.01	39	95.12	0.0075
Ge	ppb	41	0.05	1	2.43	0.0375
Hg	ppb	41	0.1	5	12.19	0.075
K	ppm	41	0.05	0	0	-
La	ppb	41	0.01	40	97.56	0.0075
Li	ppb	41	0.1	2	4.87	0.075
Mg	ppm	41	0.05	5	12.15	0.0375
Mn	ppb	41	0.05	0	0	-
Mo	ppb	41	0.1	4	9.75	0.075
Na	ppm	41	0.05	0	0	-
Nb	ppb	41	0.01	37	90.24	0.0075
Nd	ppb	41	0.01	39	95.12	0.0075
Ni	ppb	41	0.2	8	19.51	0.15
P	ppb	41	10	17	41.46	7.5
Pb	ppb	41	0.1	0	0	-
Pd	ppb	41	0.2	40	97.56	0.15
Pt	ppb	41	0.01	32	78.04	0.0075
Rb	ppb	41	0.01	0	0	-
Re	ppb	41	0.01	38	92.68	0.0075
Rh	ppb	41	0.01	22	53.65	0.0075
S	ppm	41	1	0	0	-
Sb	ppb	41	0.05	0	0	-
Sc	ppb	41	1	36	87.80	0.75
Se	ppb	41	0.5	14	34.14	0.375
Si	ppb	41	40	0	0	-
Sn	ppb	41	0.05	13	31.70	0.0375
Sr	ppb	41	0.01	0	0	-
Te	ppb	41	0.05	33	80.48	0.0375
Th	ppb	41	0.05	35	85.36	0.0375

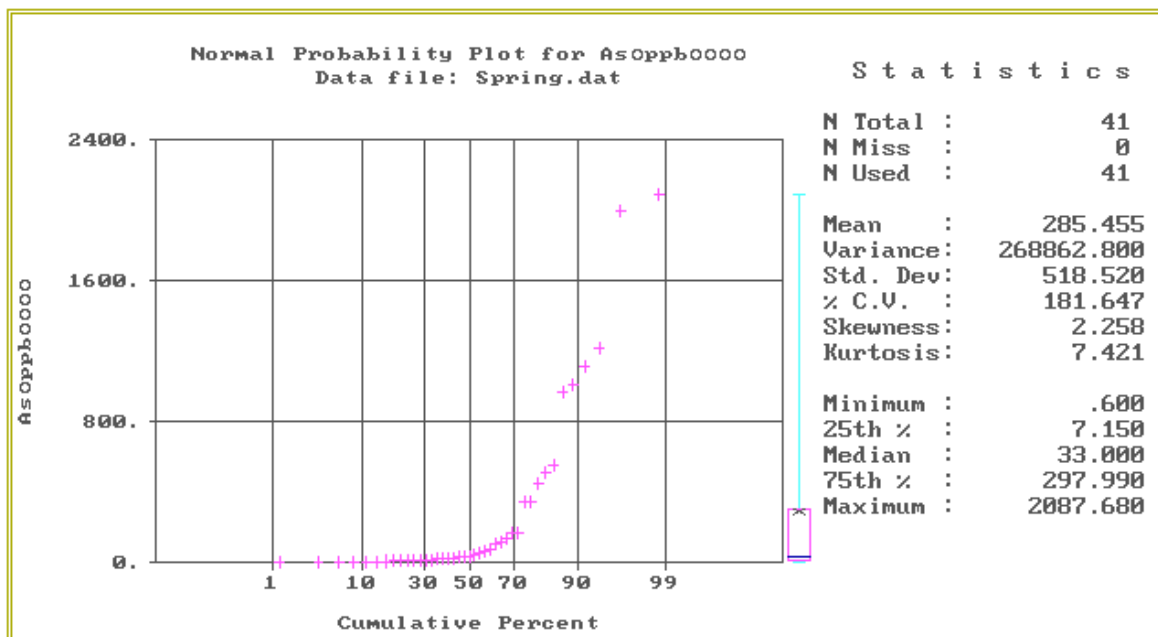
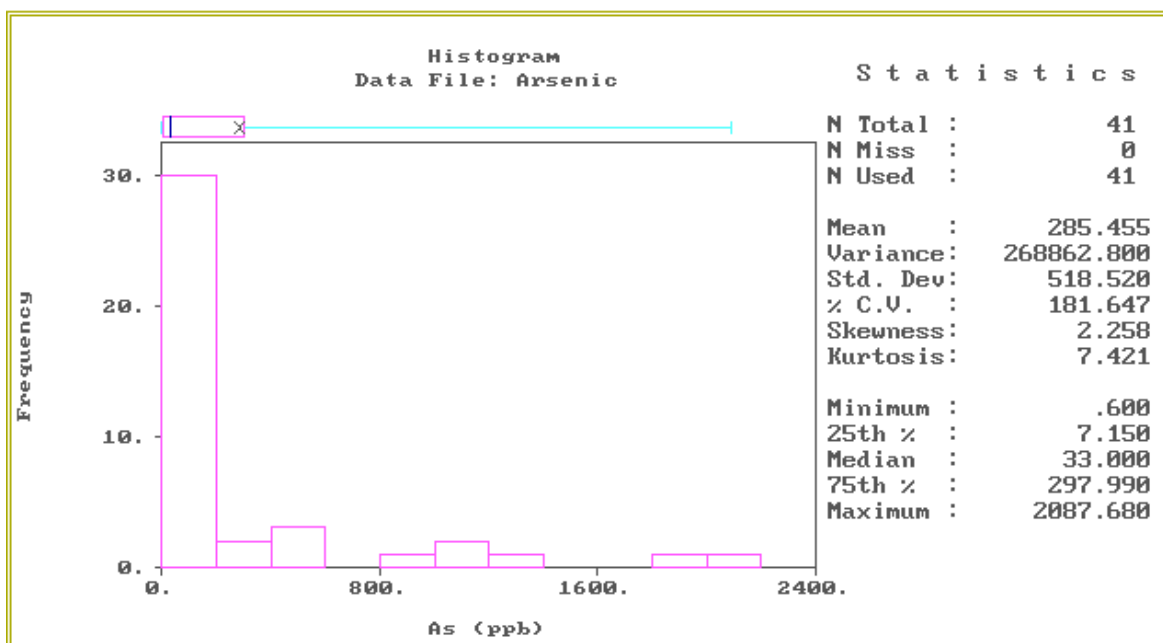
ادامه جدول (۳-۵).

عناصر	واحد	تعداد داده های آنالیز شده	حد تشخیص دستگاه	تعداد داده های خارج از حد تشخیص	درصد داده های خارج از حد تشخیص (%)	مقدار جایگزین شده برای داده های سنسورد
Tl	ppb	41	0.01	24	58.53	0.0075
U	ppb	41	0.02	5	12.19	0.015
V	ppb	41	0.2	6	14.63	0.15
W	ppb	41	0.02	15	36.58	0.015
Y	ppb	41	0.01	22	53.65	0.0075
Zn	ppb	41	0.5	0	0	-
Zr	ppb	41	0.02	22	53.65	0.015

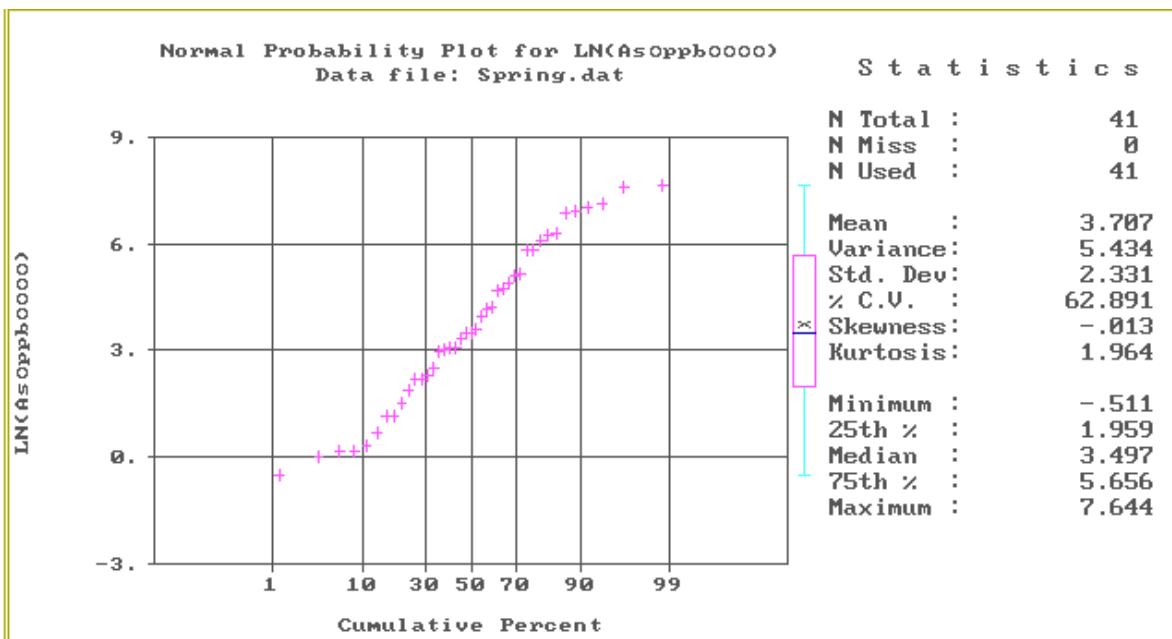
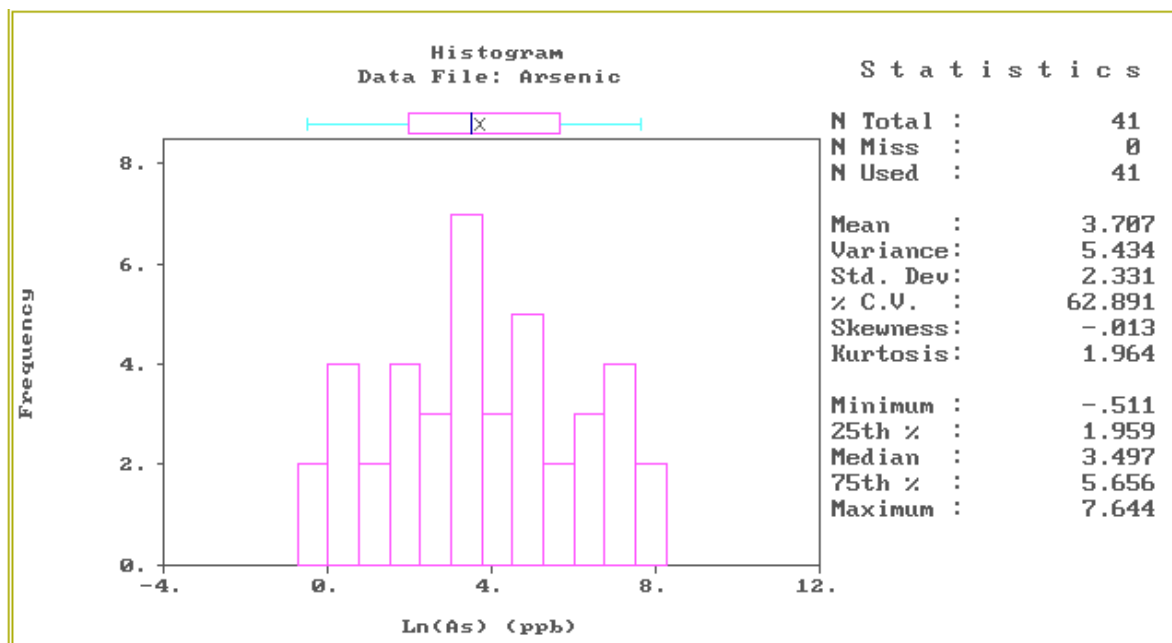
پارامترهای آماری داده‌های خام، همانند میانگین، میانه، مد، واریانس، چولگی و کشیدگی عناصر در جدول (پ - ۱-۱) در پیوست آورده شده است. اختلاف مقادیر میانه و میانگین گویای عدم تقارن نمودار توزیع داده‌های مربوطه می‌باشد. مقادیر واریانس حاکی از پراکندگی تغییرات غلظت متغیر مورد نظر محدوده‌ی مطالعاتی می‌باشد. چولگی و کشیدگی نیز پارامترهای آماری هستند که درباره‌ی چگونگی توزیع داده‌ها اطلاعاتی در اختیار قرار می‌دهند. میزان عدم تقارن یا چولگی توزیع به معنی این است که توزیع داده‌ها به چه میزان از حالت نرمال انحراف یافته‌اند.

با توجه به این که تعداد متغیرها ۵۵ عدد می‌باشد، بنابراین برای پی بردن به عناصر مهم از مطالعات گذشته و تحلیل‌های آماری داده‌های استان آذربایجان شرقی استفاده می‌شود.

ترسیم هیستوگرام فراوانی و نمودار احتمال داده‌های هر متغیر، از نمودارهای مورد استفاده در تحلیل آماری تک متغیره می‌باشند. بر اساس هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال و لگاریتمی داده‌ها As، این عنصر رفتار لگاریتمی از خود نشان می‌دهد و غلظت بالای آرسنیک در برخی چشمه‌ها دیده می‌شود (شکل ۳-۱۷ و ۳-۱۸).



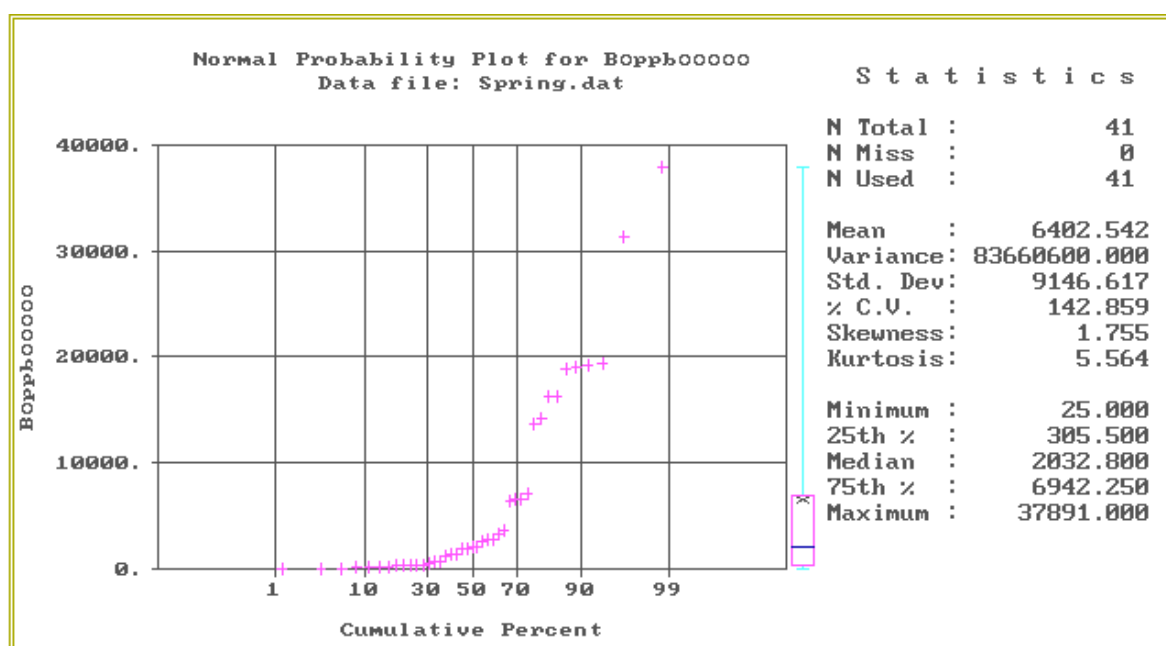
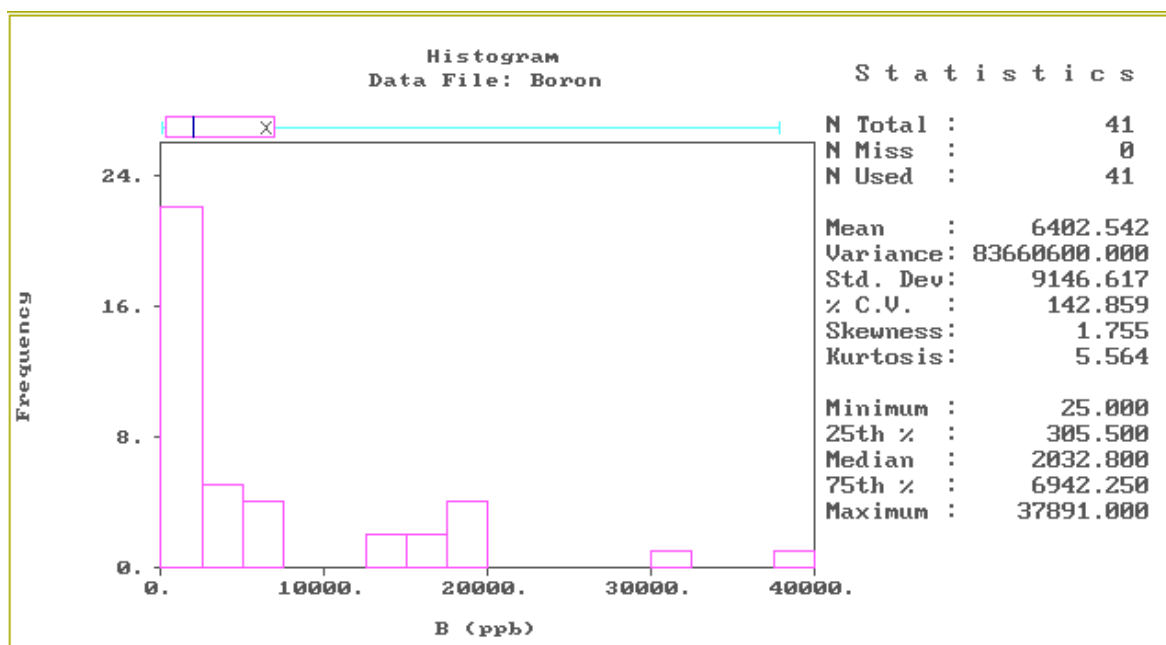
شکل (۱۷-۳): هیستوگرام و نمودار احتمال AS.



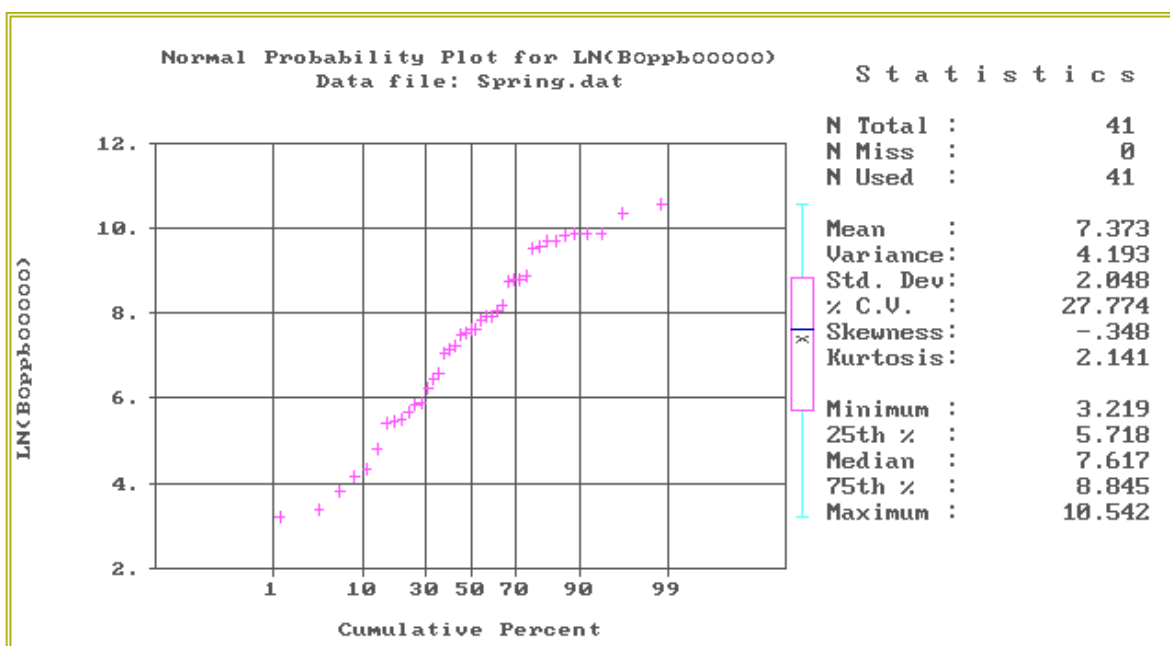
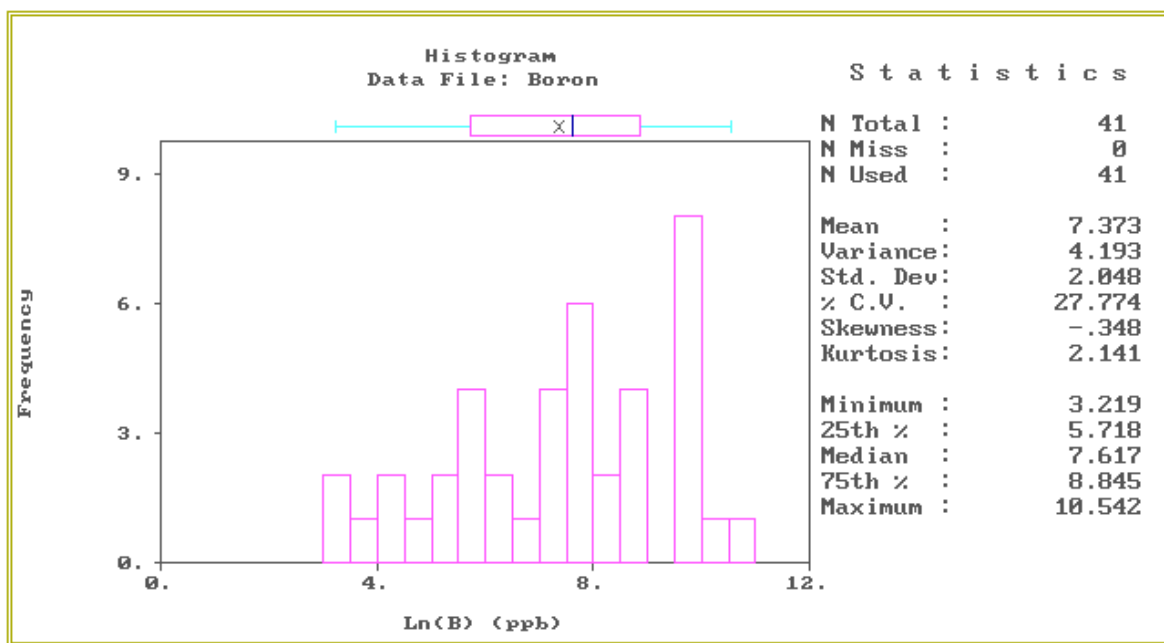
شکل (۳-۱۸): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال As.

هیستوگرام و نمودار احتمال بور نشان دهنده عدم نرمال بودن داده‌های مربوط به این عنصر است، که

لگاریتم‌گیری این داده‌ها را نرمال می‌کند (شکل ۳-۱۸ و ۳-۱۹).

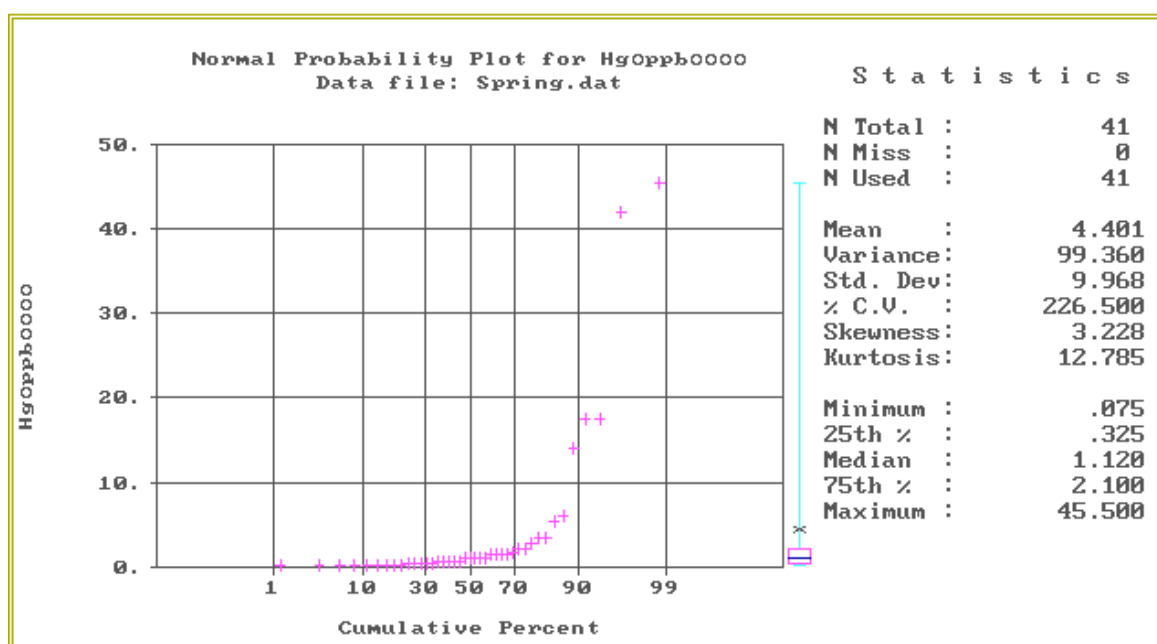
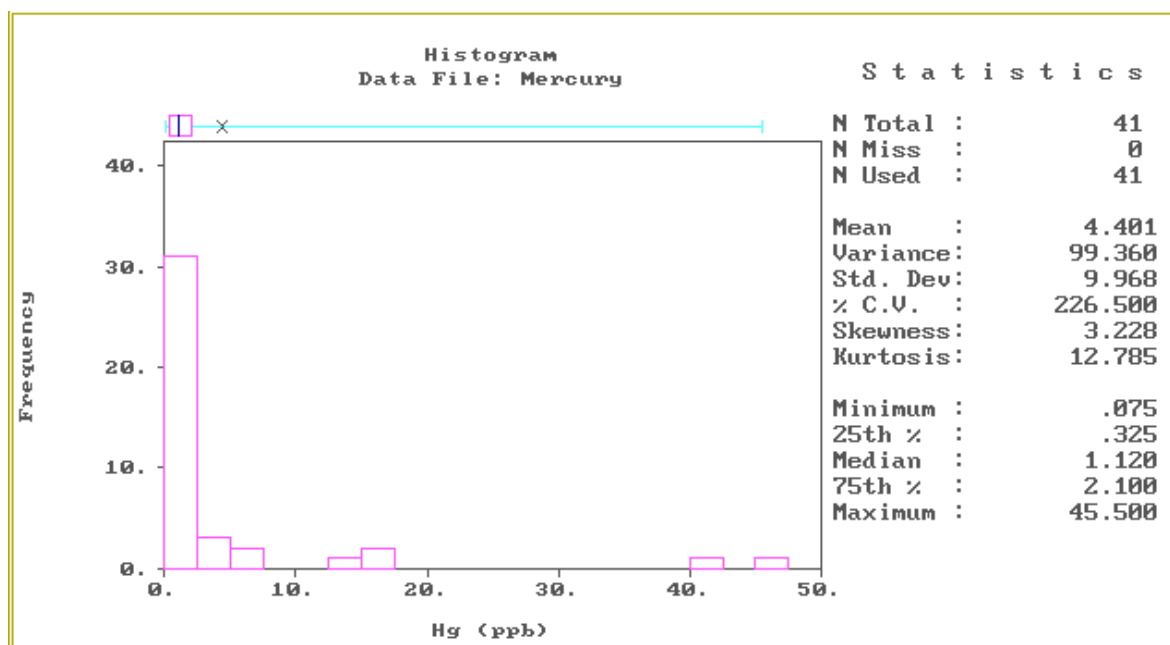


شکل (۱۹-۳): هیستوگرام و نمودار احتمال B.

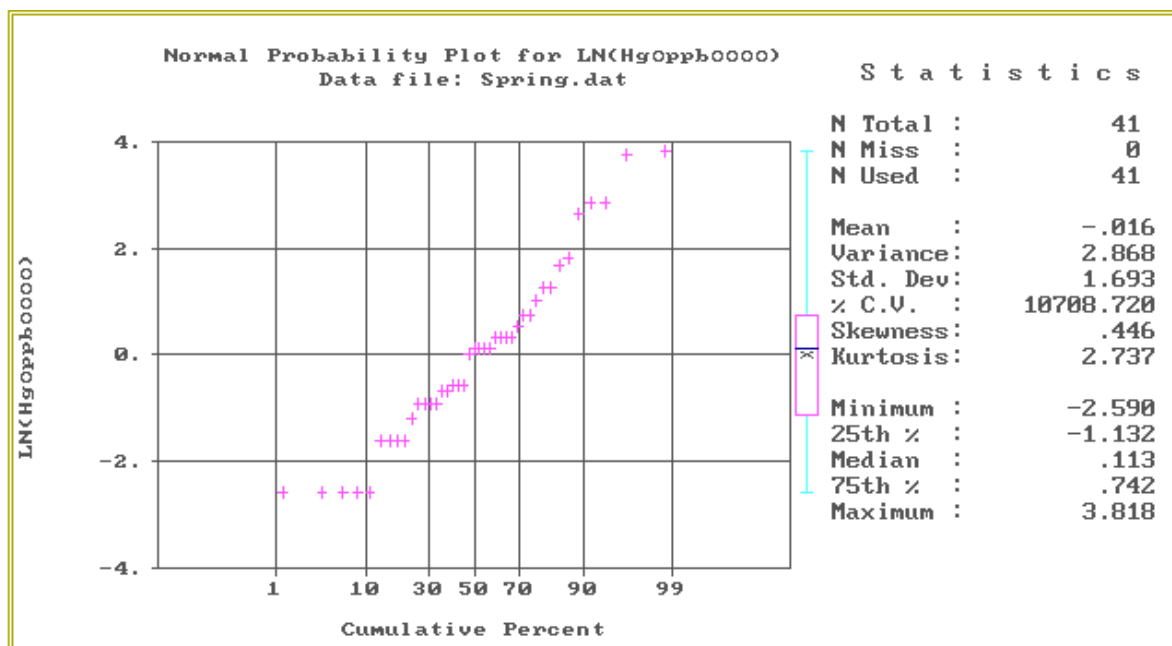
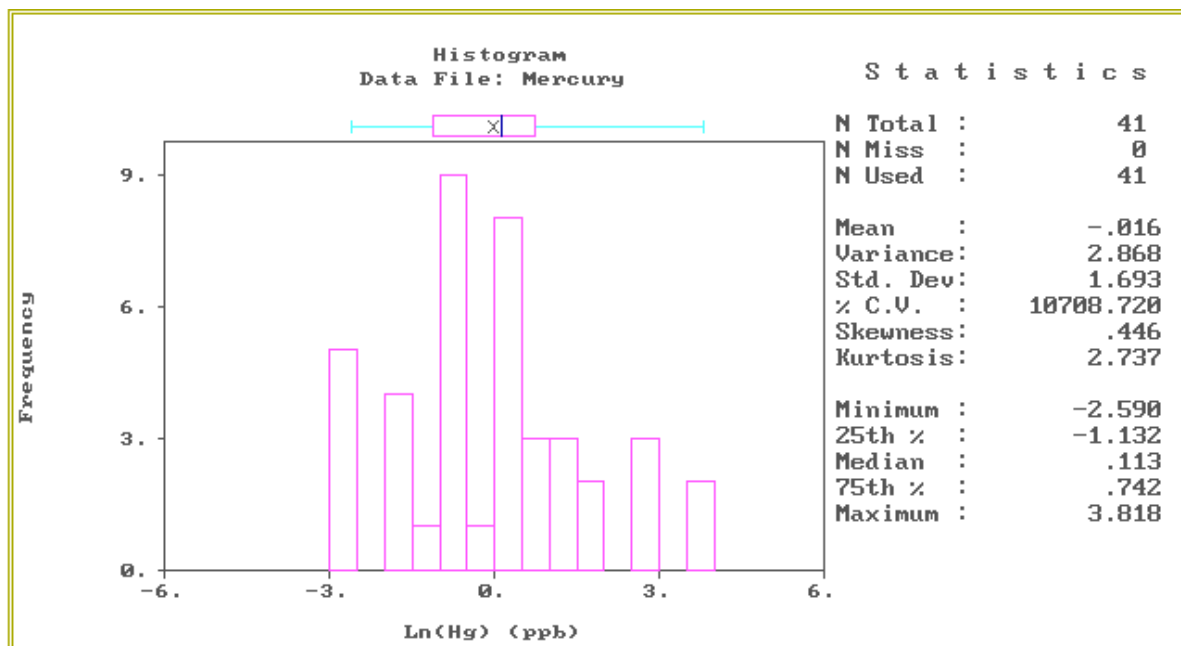


شکل (۳-۲۰): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال B.

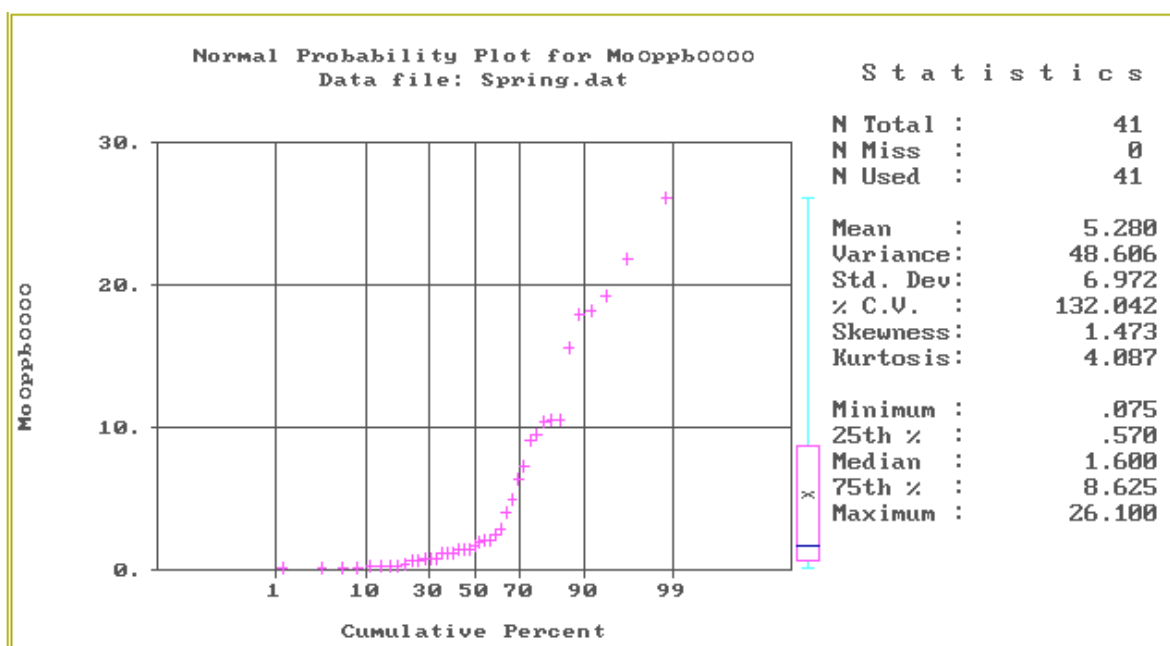
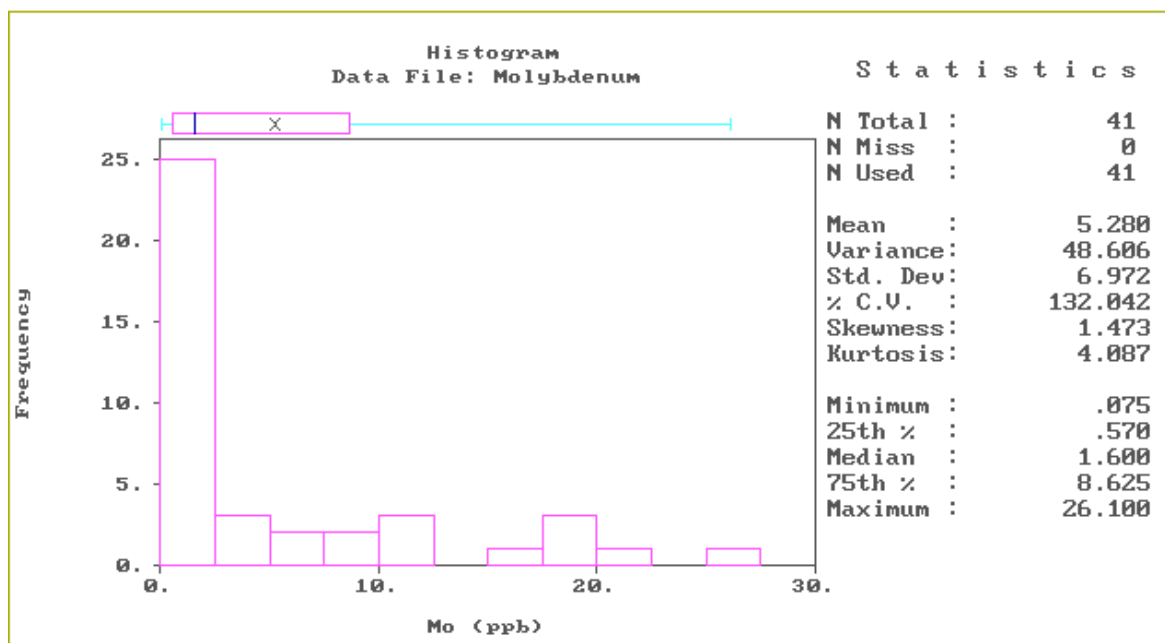
جیوه (۳-۲۱)، مولیبدن (۳-۲۳) و کلر (۳-۲۵) نیز رفتار لاگ نرمال از خود نشان می‌دهند.



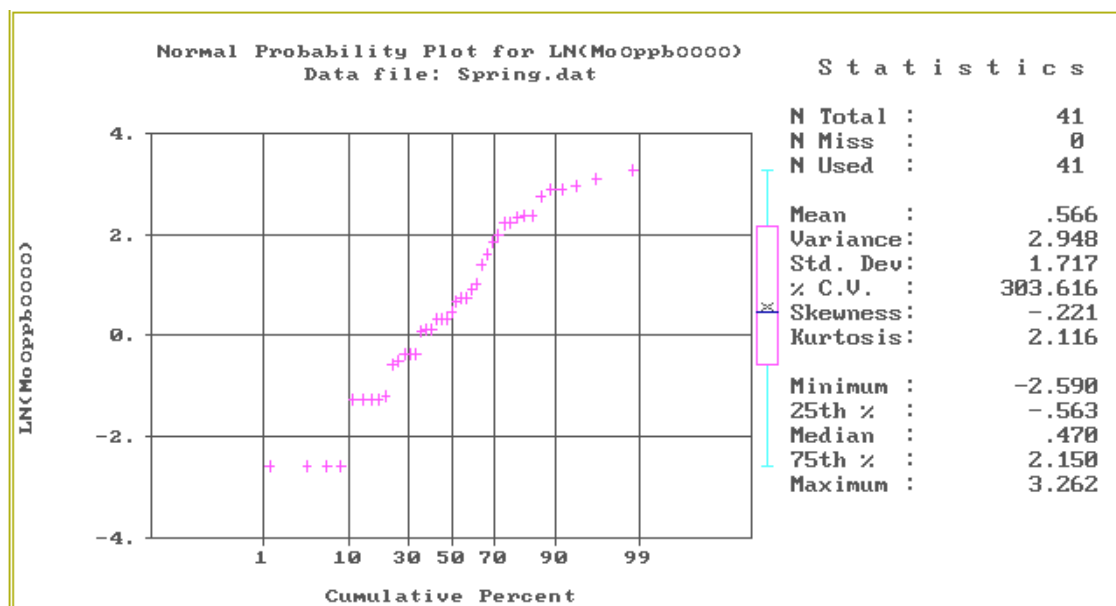
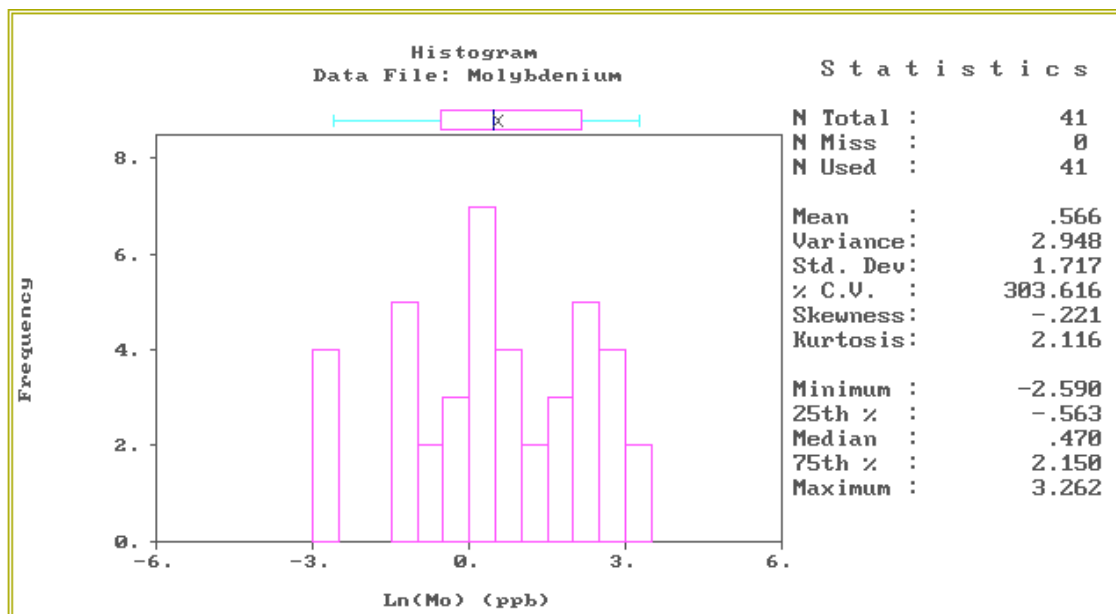
شکل (۳-۲۱): هیستوگرام و نمودار احتمال Hg.



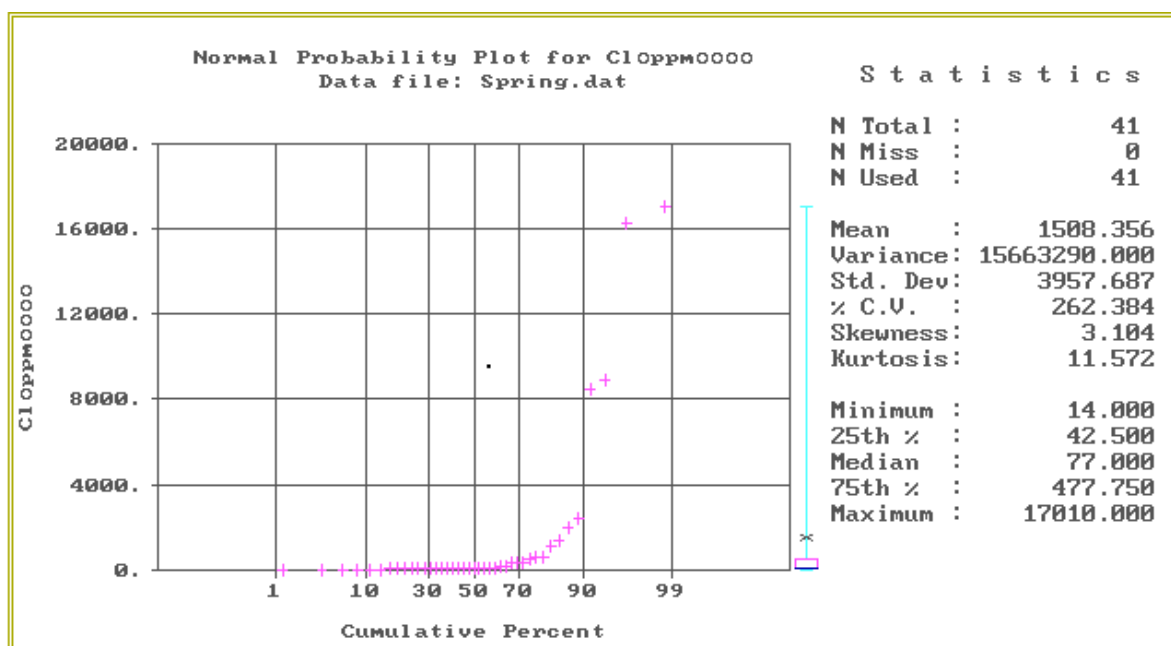
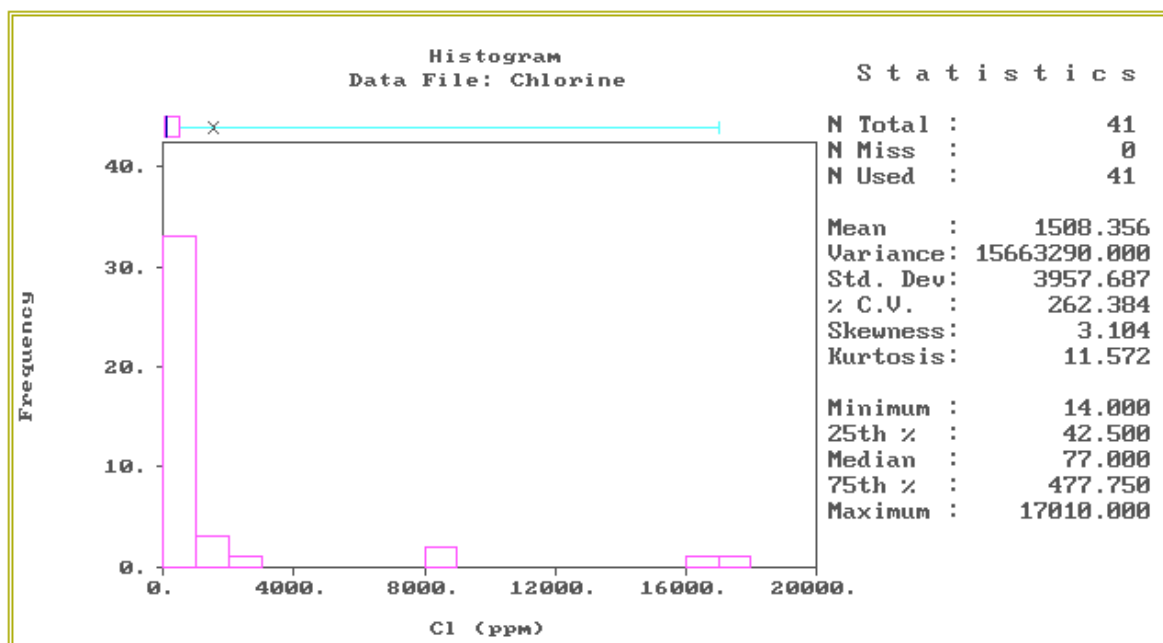
شکل (۲-۲): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال Hg



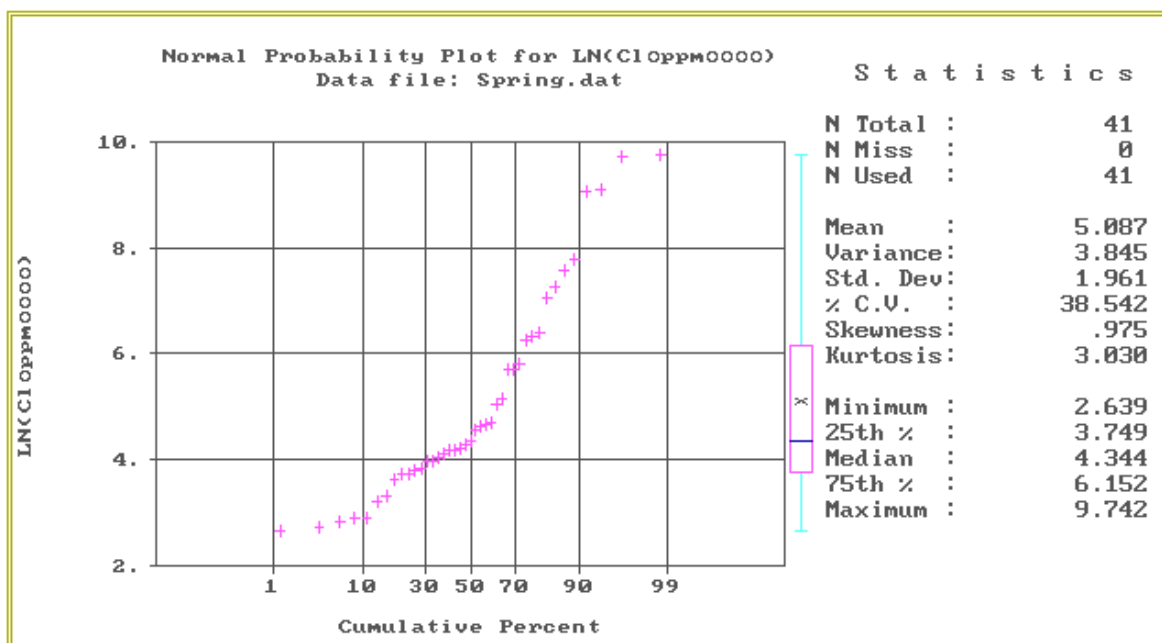
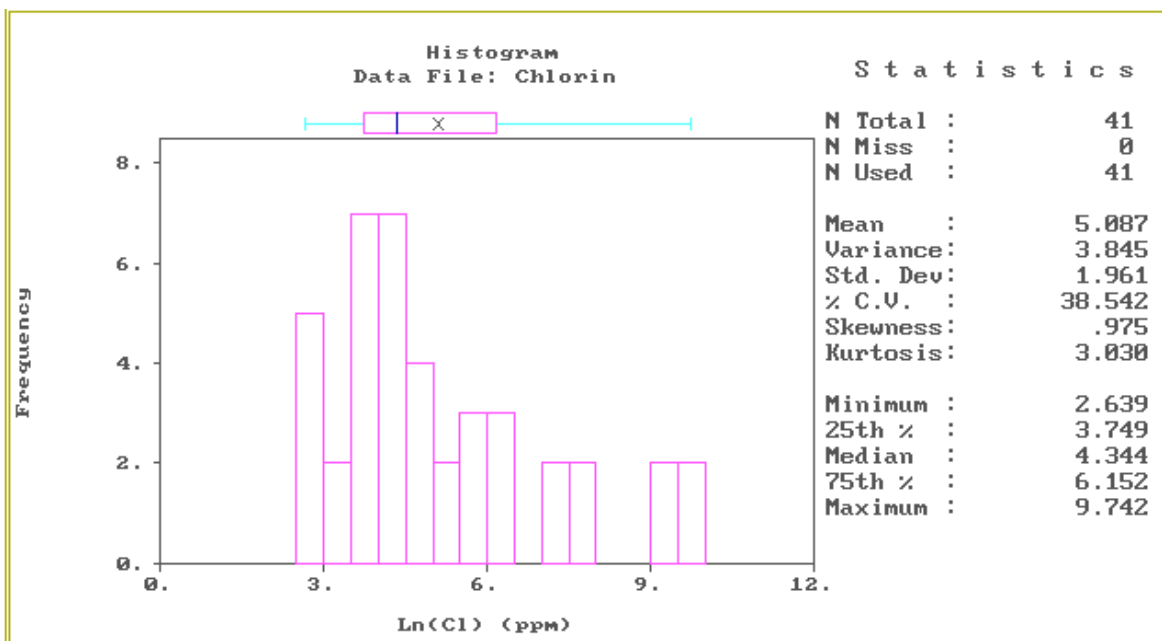
شکل (۳-۳): هیستوگرام و نمودار احتمال Mo.



شکل (۳-۲۴): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال Mo.



شکل (۳-۲۵): هیستوگرام و نمودار احتمال Cl.



شکل (۳-۲۶): هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال Cl.

بررسی عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی غلظت پایین بسیاری از عناصر را نشان می‌دهند. همانطور که در جدول (۳-۵) مشاهده می‌شود، برخی از عناصر در بسیاری از نمونه‌های اندازه‌گیری شده خارج از ردیف هستند. با این وجود به علت اهمیت حتی یک مقدار در نمونه‌های آب چشمه‌های آبگرم عناصری با درصد مقادیر خارج از ردیف بالا نیز از مطالعات حذف نشده‌اند و برای

مطالعه و مقایسه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این راستا مطالعات آماری تک متغیره صورت پذیرفت. نمودار هیستوگرام و احتمال برخی از عناصر روند لاگ‌نرمال نشان می‌دهند که این موضوع دخالت فرآیندهای ثانویه در غلظت آن‌ها را نشان می‌دهد. وجود تعداد پارامترهای زیاد برای بررسی و طولانی بودن زمان مطالعات، بررسی تمامی عناصر را از حوصله این مطالعه خارج می‌کند. از این رو مطابق مطالعات گذشته و بررسی‌های اولیه، عناصر با درجه اهمیت بیشتر در مناطق زمین‌گرمایی شناسایی شد و برای ادامه روند مطالعه انتخاب گردید. عناصری چون As، B، Cl، Ge و Ga در کنار مجموعه عناصر نادر خاکی برای مطالعه بیشتر انتخاب شدند.

فصل چهارم

مطالعه عناصر کمیاب و نادر خاکی با اهمیت در مناطق زمین گرمایی

۴-۱- عناصر نادر خاکی

۴-۱-۱- معرفی عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی (REEs) شامل ۱۵ عنصر لانتانیدها، ایتریم و اسکاندیم است. علت این نام‌گذاری آن است که در قرن ۱۸ و ۱۹ بصورت اکسیدهای نادر شناخته می‌شدند و خالص‌سازی آن‌ها به علت عدم توسعه فرآیندهای جداسازی سخت بوده است. لانتانیدها به دو گروه تقسیم می‌شوند که از لانتانیوم تا گادولینیوم عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) از تربیوم تا ایتریم است، گرچه ایتریم سبک‌ترین عنصر خاکی است اما به علت شباهت به عناصر نادر خاکی سنگین در این گروه تقسیم‌بندی می‌شود (Castor and Hedrick, 2003) (شکل ۴-۱).

														3 IIIB 21 Sc 44.956
														39 Y 88.906
57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
LREE								HREE						

شکل (۴-۱): عناصر نادر خاکی (لانتانیدها).

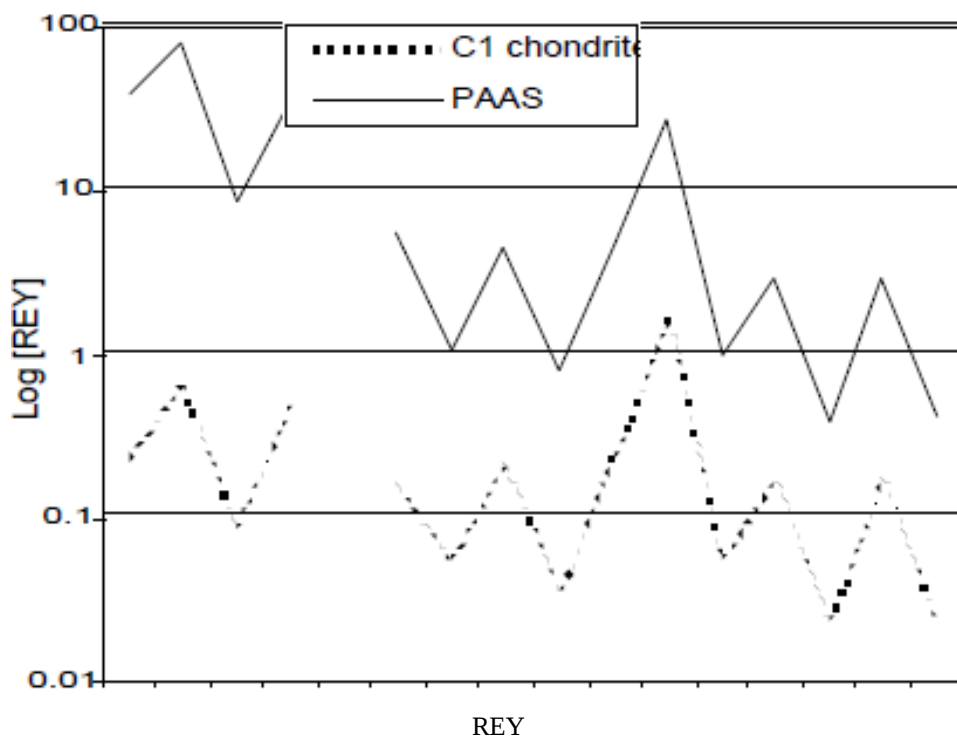
این مجموعه به دلایل زیر در طبیعت منحصر به فرد است:

- فراوانی پایین آن‌ها در طبیعت.
- شعاع یونی از La به سمت Lu که نتیجه افزایش الکترون‌های اوربیتال 4f بوده و به انقباض لانتانیدها معروف است.
- با اکثر کانی‌ها راسب می‌شوند جز برخی از عناصر اصلی که شعاع یونی خیلی کمی دارند مثل Fe^{2+} و Mg^{2+} .

- آن‌ها به ندرت در یک کانی قابل مشاهده هستند جز فلزات نادر پگماتیت‌ها و کانی‌های هیدروترمال مرتبط با کربناتیت‌ها (Moller, 2005).

۴-۱-۲- نمایش عناصر نادر خاکی

رسم نمودار عناصر نادر خاکی به ترتیب عدد اتمی باعث نمایش زیگزاگی و دندان اره‌ای آن می‌شود (شکل ۴-۲). برای مطالعه الگوی عناصر نادر خاکی استفاده از این نمودارها مفید نمی‌باشد زیرا نمی‌توان روند آنومالی احتمالی عناصر را در آن مشاهده کرد. از این رو کوریل و همکاران طی مطالعه‌ای در سال ۱۹۶۳ نرمال کردن عناصر نادر خاکی با برخی استانداردها را برای رفع این مشکل پیشنهاد کرد (Coreyell et al., 1963). مقادیر عناصر نادر خاکی در کندریت، شیل‌های استرالیایی پست آرکئن (PAAS) (McLennan, 1985) و پوسته بالایی قاره‌ای (UCC) (Taylor and McLennan, 1985) برای نرمال‌سازی عناصر نادر خاکی استفاده می‌شود. مقادیر عناصر نادر خاکی برای کندریت و پوسته بالایی قاره‌ای در جدول (۴-۱) ارائه شده است (Anders and Grevesse, 1989).

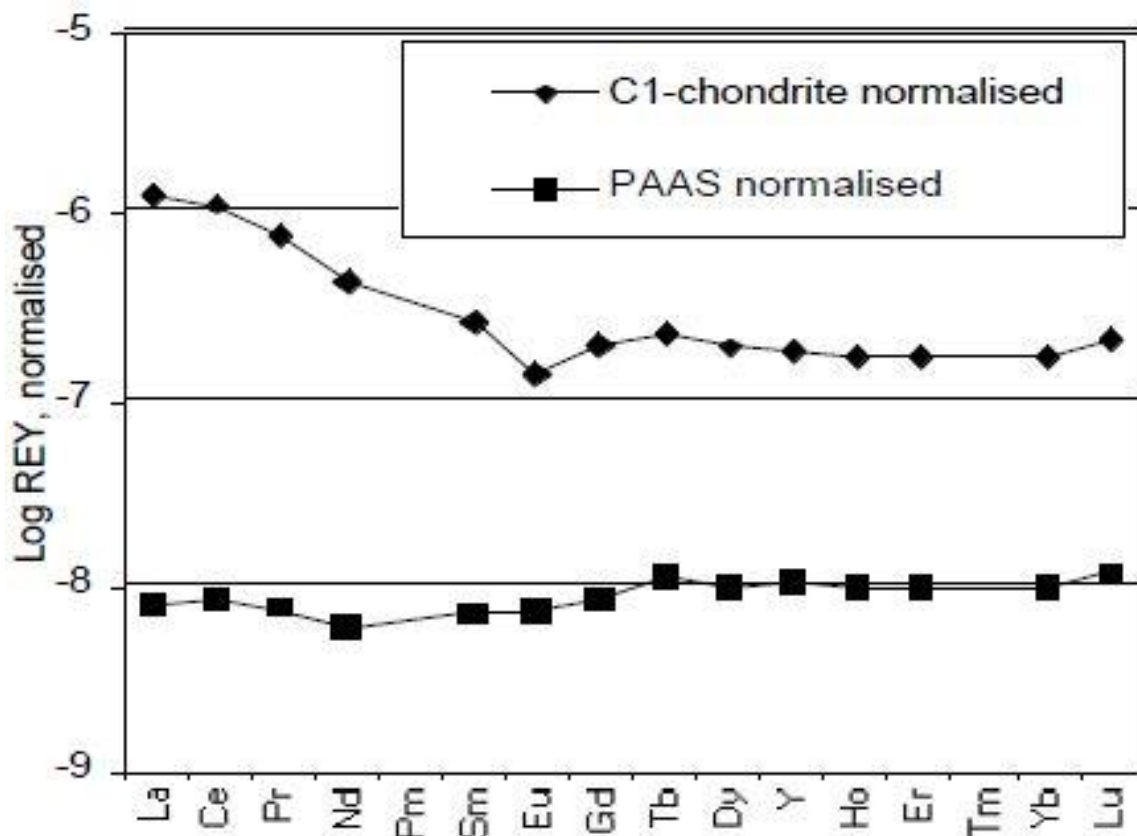


شکل (۴-۲): حالت زیگزاگی فراوانی عناصر نادر خاکی نرمال نشده (Moller, 2005).

مولر (۲۰۰۵) همچنین بیان می‌کند که نرمال کردن فراوانی را تغییر نمی‌دهد، و تنها روند تغییرات به صورت تهی‌شدگی و غنی‌شدگی را به طور واضح‌تری نمایش می‌دهد. البته زمانی که عناصر نادر خاکی با مواد مختلف نرمال می‌شوند الگوهای مختلفی از خود نشان می‌دهند (شکل ۴-۳). اگر تمام آب‌ها را با توجه به یک مرجع نرمال کنیم، نمودارهای بدست آمده مقایسه داده‌های متناظر را آسان‌تر می‌کند (Moller, 2005).

جدول (۴-۱): فراوانی عناصر نادر خاکی در کندریت و پوسته بالایی قاره‌ای (Castor and Hedrick, 2003).

عناصر	نشانه اختصاری	عدد اتمی	فراوانی در پوسته بالایی (ppm)	فراوانی در کندریت (ppm)
ایتیم	Y	۳۹	۲۲	ناچیز
لانتانیم	La	۵۷	۳۰	۰/۳۴
سرم	Ce	۵۸	۶۴	۰/۹۱
پرازئودیمیم	Pr	۵۹	۷/۱	۰/۱۲۱
نئودیمیم	Nd	۶۰	۲۶	۰/۶۴
پرومیدیم	Pm	۶۱	ناچیز	ناچیز
ساماریم	Sm	۶۲	۴/۵	۰/۱۹۵
یورپیم	Eu	۶۳	۰/۸۸	۰/۰۷۳
گادولینیم	Gd	۶۴	۳/۸	۰/۲۶
تربیم	Tb	۶۵	۰/۶۴	۰/۰۴۷
دسپروسیم	Dy	۶۶	۳/۵	۰/۳
هلمیم	Ho	۶۷	۰/۸	۰/۰۷۸
اریم	Er	۶۸	۲/۳	۰/۲
دولیم	Tm	۶۹	۰/۳۳	۰/۰۳۲
ایتربیم	Yb	۷۰	۲/۲	۰/۲۲
لتیتیم	Lu	۷۱	۰/۳۲	۰/۰۳۴



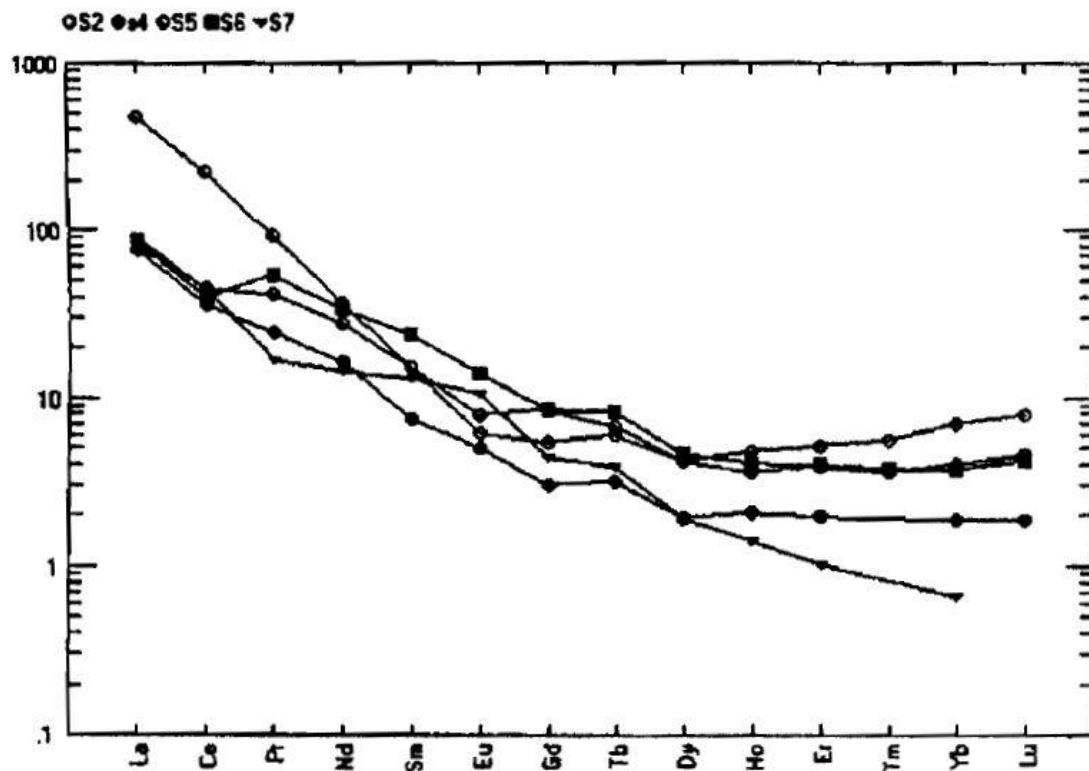
شکل (۳-۴): نرمال کردن سیالات حرارتی در منطقه زمین گرمایی کزیلدی نسبت به کندریت و PAAS (Moller, 2005).

۴-۱-۳- اهمیت مجموعه عناصر نادر خاکی

سری عناصر نادر خاکی و ایتیریم را مولر (۲۰۰۵) به عنوان یک ابزار مفید در ردیابی منشأ سیالات می‌داند، که در درک هر سیستم سنگ-سیال اساسی است و در آب‌های زمین گرمایی در فهمیدن فعل و انفعالات آب-سنگ در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Moller, 2005). عناصر نادر خاکی در بیشتر مطالعات فرآیندهای زمین‌شناسی از قبیل ارزیابی پوسته زمین، فرآیندهای هوازدگی و فعل و انفعالات سنگ - آب استفاده می‌شود (Kralj and Kralj, 2009). بیشتر توجه روی ژئوشیمی عناصر نادر خاکی رودخانه، دریاچه، دریا و آب زیرزمینی است در تعداد کمی از مطالعات روی چشمه‌های آبگرم تمرکز شده است (Yuanan et al., 2012).

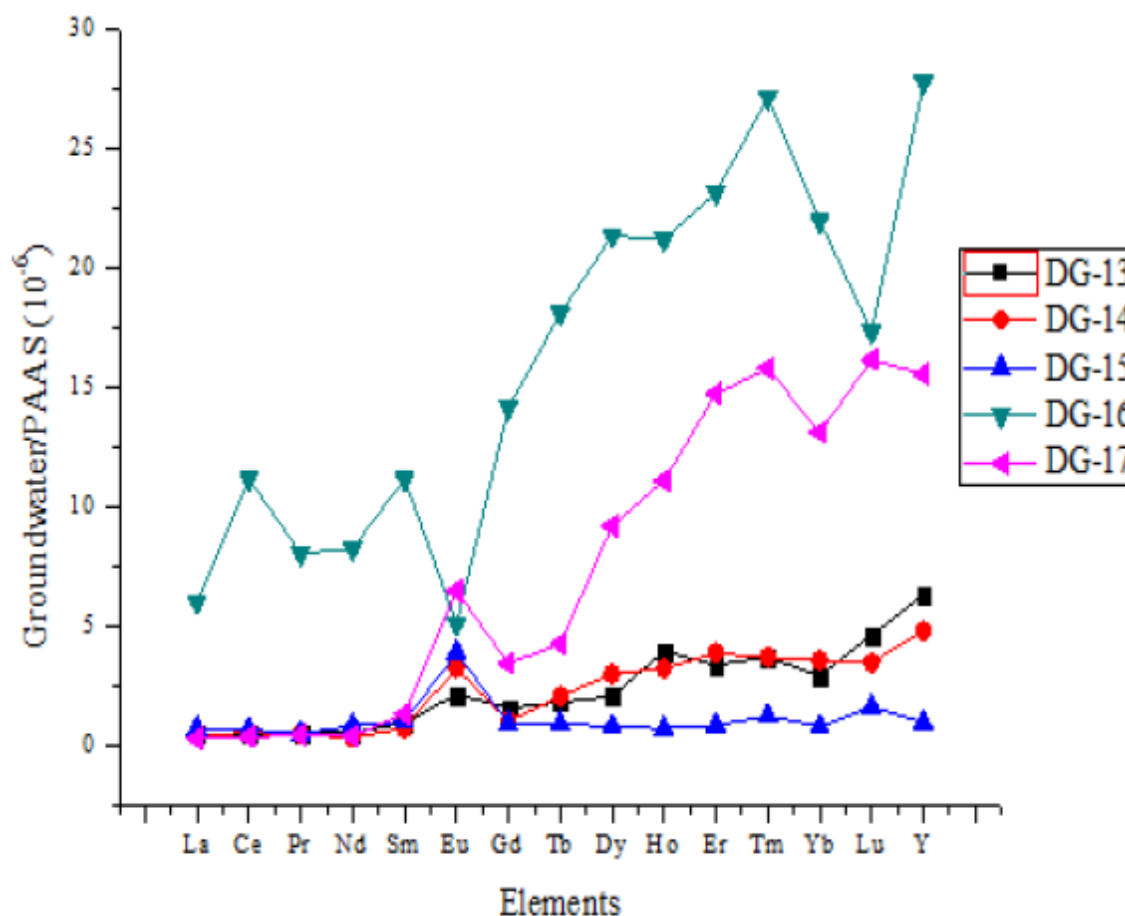
از این رو با توجه به مطالعات صورت گرفته تفاوت غلظت عناصر نادر خاکی در آب‌های مختلف و نمونه‌های دگرسان شده اطراف مناطق زمین گرمایی ابزاری مفید در بررسی این مناطق است.

عناصر نادر خاکی اغلب بصورت گروهی مورد بررسی قرار می‌گیرند. بررسی رفتار این عناصر کمک شایانی در مطالعه فرآیندهای ثانویه می‌کند. عناصر نادر خاکی در مناطق هیدروترمال با توجه به شدت دگرسانی الگوهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در مناطق با آلتراسیون آرژیلیک حدواسط به علت دمای پایین و بالا بودن مقادیر pH عناصر نادر خاکی تحرک خاصی نشان نمی‌دهند، این در حالی است که در مناطق آرژیلیک پیشرفته عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین غنی‌شدگی نشان نمی‌دهند (شکل ۴-۴)، زیرا کانی‌های آلونیت و ژاروسیت می‌توانند میزبان عناصر نادر خاکی سبک باشند (پارساپور و همکاران، ۱۳۸۲). از این رو سیالات مرتبط با این واحدهای سنگی در اغلب موارد غنی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سنگین و تهی‌شدگی در عناصر نادر خاکی سبک از خود نشان می‌دهند.

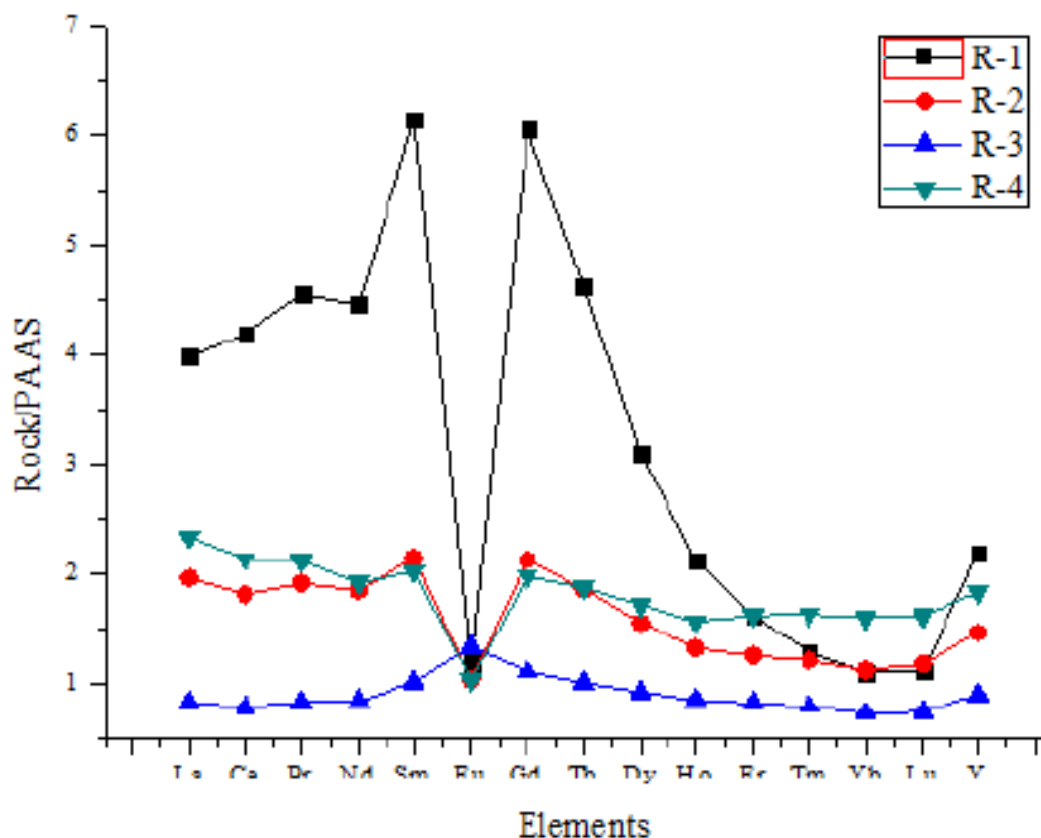


شکل (۴-۴): غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت عناصر نادر خاکی سنگین در نمونه‌های خاک آلتراسیون هیدروترمال (پارساپور و همکاران، ۱۳۸۲).

بررسی مقادیر عناصر نادر خاکی در چشمه‌های آبگرم و نمونه‌های سنگی مرتبط با آن‌ها در منطقه زمین‌گرمایی گوانگ دونگ^۱ چین غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین و تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک را نشان می‌دهد (شکل ۴-۵)، الگوی این عناصر در نمونه‌های سنگی این منطقه تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین و غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک را نشان می‌دهد (شکل ۴-۶) (Yunan et al, 2012).



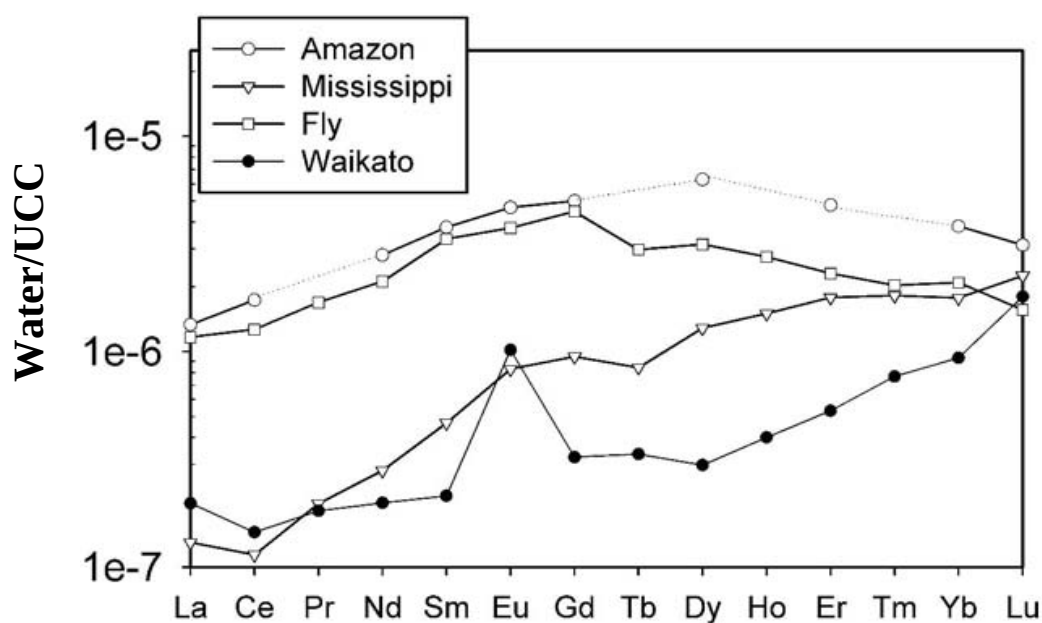
شکل (۴-۵): عناصر نادر خاکی در چشمه‌های گوانگ دونگ (Yunan et al, 2012).



شکل (۴-۶): غلظت عناصر نادر خاکی در نمونه‌های سنگی منطقه گونگ‌دونگ (Yunan et al, 2012).

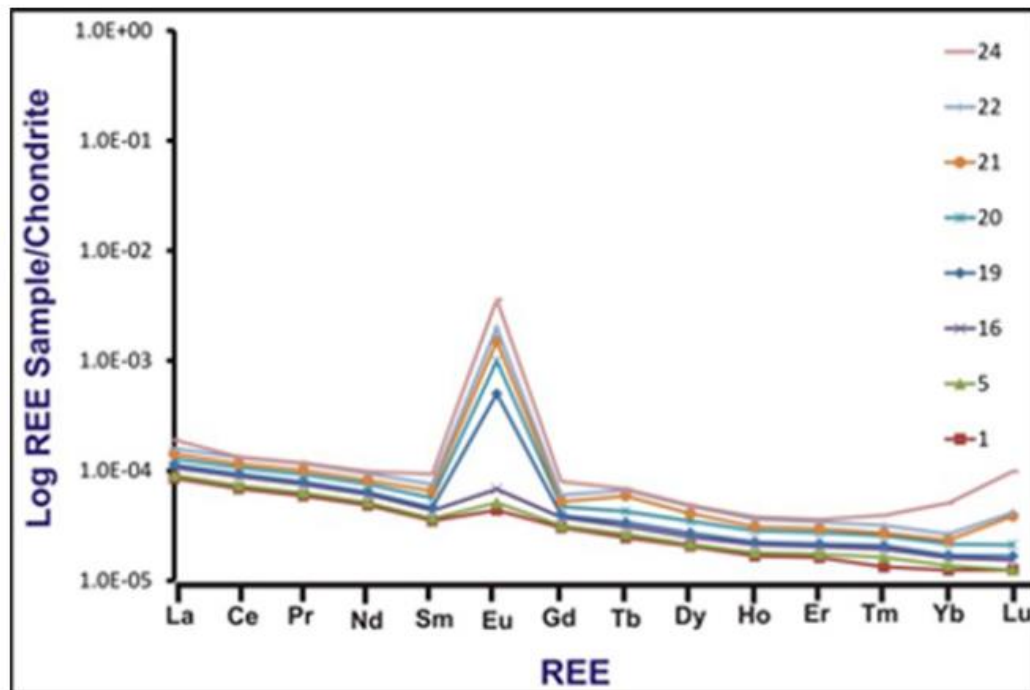
در میان عناصر نادر خاکی یوروپیم نسبت به دما رفتاری منحصر به فرد از خود نشان می‌دهد که همین امر موجب اهمیت این عنصر در مطالعه سیالات زمین‌گرمایی شده است (Moller, 2000). جرم مولی این عنصر ۱۵۱/۹۶۴ گرم بر مول است. بیشتر بصورت یون‌های Eu^{2+} و Eu^{3+} وجود دارد که شعاع یونی Eu^{2+} ۰/۱۳۹ نانومتر است، که در مقایسه با Eu^{3+} که شعاعش ۰/۱۲۱ نانومتر است، بزرگتر است (Shannon, 1976). به همین دلیل Eu^{2+} در کانی‌های کلسیم‌دار مانند بقیه عناصر نادر خاکی شرکت نمی‌کند. چون سنگ‌ها به ندرت شامل یون‌هایی با شعاع بزرگ هستند، Eu^{2+} جذب سنگ نمی‌شود و همین دلیلی است که در سیال باقی مانده و غنی می‌شود یا توسط کانی‌های سطحی جذب می‌شود (Moller, 2000). حد شکست یوروپیم به مقداری از این عنصر گفته می‌شود که با عبور آب از کنار سنگ در آن حل می‌شود که معمولاً در دمای پایین یوروپیم آزاد شده سه ظرفیتی است (Moller et al, 1993). یوروپیم در سیال دو نوع آنومالی ایجاد می‌کند: ۱- موروئی ۲- اکتسابی. ویژگی‌های موروئی

ویژگی‌هایی هستند که از سنگ منشأ گرفته شده‌اند و بنابراین به طبیعت سنگ شسته شده برمی‌گردند (مانند آنومالی منفی Eu در آب‌های نشأت گرفته از سنگ‌های فلسیک). از سوی دیگر ویژگی‌های اکتسابی در طی مهاجرت سیال به علت فرآیندهای جذب سطحی در کانی‌های سطحی که در خلل و فرج سنگ منشأ هستند بوجود می‌آیند. از این رو آنومالی Eu در طی مهاجرت در دمای بالا به صورت آنومالی اکتسابی است، این در حالی است که گاهی اوقات در دمای کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد Eu می‌تواند از سنگ منشأ گرفته شده باشد (Moller, 2000). همانطور که در شکل (۷-۴) دیده می‌شود میزان یوروپیم در رودخانه وایکاتو^۱ که در منطقه زمین‌گرمایی تائوپو قرار دارد نسبت به دیگر رودخانه‌های آورده شده در شکل آنومالی مثبت Eu نشان می‌دهد که این شاید به علت چشمه آبگرمی است که در بستر این رودخانه قرار دارد متفاوت است و آنومالی نشان می‌دهد (Hannigan, 2005).



شکل (۷-۴): مقادیر عناصر نادر خاکی در برخی رودخانه‌های جهان که توسط مقادیر بالایی پوسته زمین نرمال شده‌اند. Eu در رودخانه وایکاتو آنومالی مثبت از خود نشان می‌دهد (Hannigan, 2005).

بررسی عناصر نادر خاکی در چشمه‌های آبگرم منطقه زمین‌گرمایی ساحل غربی (هند) حاکی از آنومالی مثبت این عنصر است که نشان دهنده دمای بالا این منطقه زمین‌گرمایی می‌باشد (۴-۸) Gurav et al, (2015).



شکل (۴-۸): الگوی عناصر نادر خاکی در برخی چشمه‌های ایالت زمین‌گرمایی ساحل غربی هند (Gurav et al, 2015).

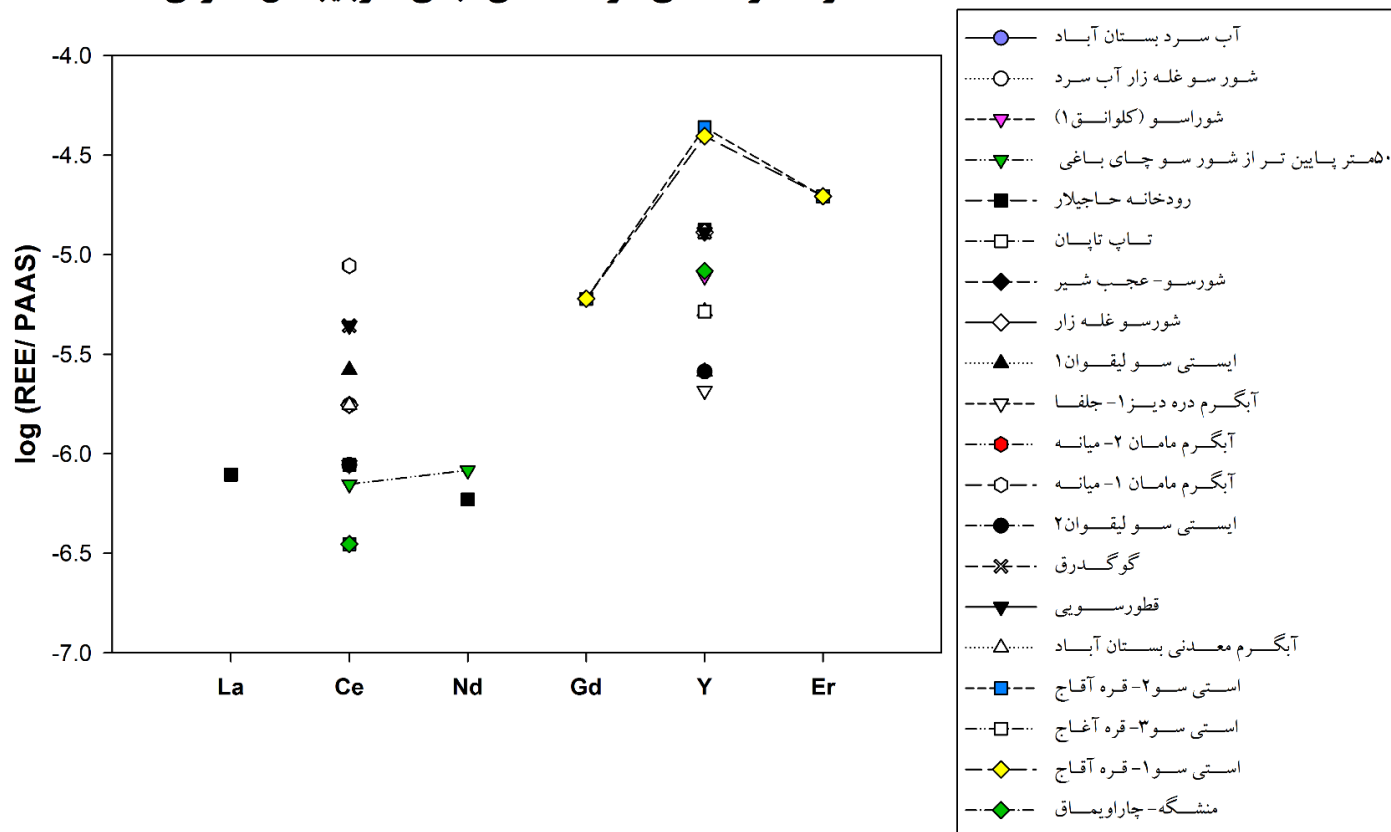
با توجه به مطالعات صورت گرفته یوروپیوم یکی از عناصر مهم از مجموعه عناصر نادر خاکی در آب‌های دما بالا می‌باشد و اغلب دارای آنومالی مثبت است اما به علت پارامترهای متفاوت مؤثر در غلظت این عنصر گاهی اوقات از خود آنومالی نشان نمی‌دهد.

یکی دیگر از عناصر نادر خاکی که رفتار منحصر به فرد از خود نشان می‌دهد سربیم است. کاهش غلظت سربیم نسبت به دیگر عناصر نادر خاکی در آب‌های غنی از اکسیژن کاملاً رایج است. از این رو آب دریاها، آب رودخانه‌های غنی از اکسیژن و آب‌های کارستی در سراسر دنیا در بیشتر موارد آنومالی منفی سربیم نشان می‌دهند. این آنومالی در آب‌هایی با pH کمتر از ۷، غنی از بی‌کربنات و Eh بالا معمول است. از سوی دیگر بیشتر آب‌های گرفته شده از سنگ‌های آذرین و دگرگونی که مقادیر کم Eh دارند، در

این با pH خنثی تا قلیایی این منطقه همخوانی دارد (شکل ۴-۱۰). مقادیر عناصر نادر خاکی با PAAS نرمال شده است.

مقدار Er فقط در دو چشمه ایستی سو ۱ و ایستی سو ۲ مربوط به منطقه قره‌آغاج که به ترتیب دمای ۵۲/۱ و ۴۴/۵ درجه سانتی گراد دارند قابل اندازه‌گیری است. در میان نمونه‌های آب گرفته شده از استان آذربایجان شرقی La فقط در نمونه آب رودخانه حاجیلار که دمای ۱۹/۹ درجه سانتی گراد دارد دیده می‌شود. عنصر Nd در نمونه‌های آب پایین‌تر از شورشو چای باغی و رودخانه حاجیلار دارای غلظت قابل ثبت است و مابقی نمونه‌ها دارای غلظت بسیار ناچیزی است. Gd فقط در دو چشمه ایستی سو ۱ و ۲ منطقه قره‌آغاج دارای غلظت قابل ثبت است. غلظت Ce دو چشمه مامان ۱ و مامان ۲ در منطقه میانه دارای بیشترین مقدار است، بعد از این دو چشمه مقادیر Ce در چشمه‌های قطورسویی و گوگردق منطقه هشت‌رود بیشتر است. مابقی عناصر نادر خاکی دارای مقادیر بسیار ناچیزی هستند. به طور کلی میزان عناصر نادر خاکی در آذربایجان شرقی بسیار پایین است که این می‌تواند با pH خنثی تا قلیایی چشمه‌های این استان همخوانی داشته باشد.

عناصر نادر خاکی نمونه های آبی آذربایجان شرقی



شکل (۴-۱۰): غلظت عناصر نادر خاکی در نمونه های آب استان آذربایجان شرقی.

۴-۱-۵- عناصر نادر خاکی در منطقه زمین گرمایی اردبیل

برای بررسی عناصر نادر خاکی در منطقه زمین گرمایی اردبیل چشمه‌های جدول (۴-۲) انتخاب گردید.

جدول (۴-۲): چشمه‌های مورد بررسی از منطقه زمین گرمایی استان اردبیل

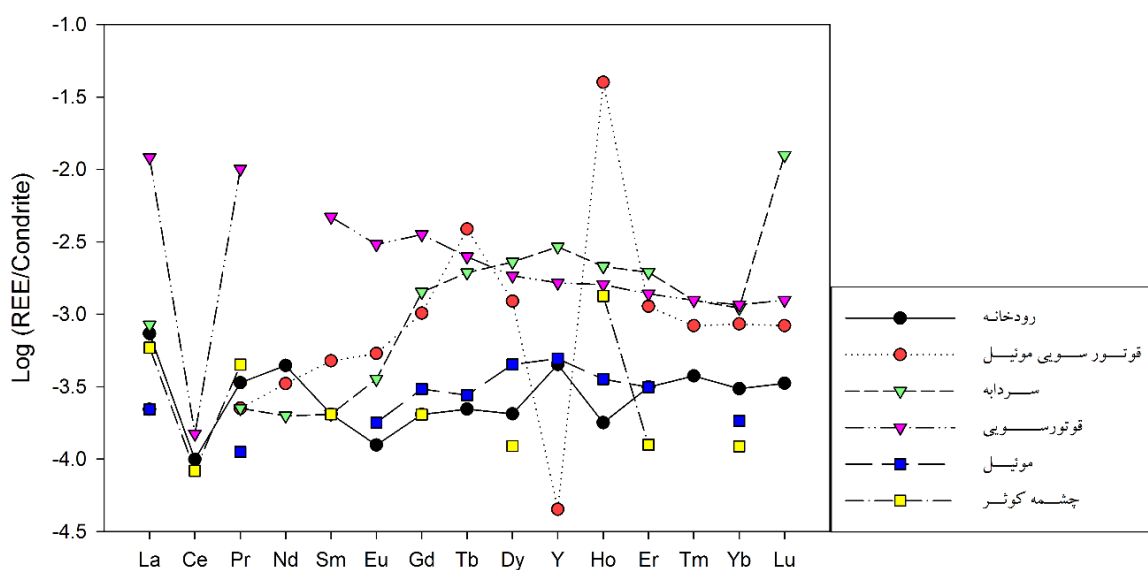
نام چشمه	دما چشمه (C)	pH
چشمه کوثر	۶۰/۳	۷/۳۵
موئیل	۴۴/۶	۶/۰۷
قوتورسوئی	۳۸/۱	۳/۲
سردابه	۳۵/۶	۵/۳۳
قوتورسوئی موئیل	۲۸/۵	۴/۵

مقادیر عناصر نادر خاکی با کندریت نرمال شد و برای مقایسه از میانگین غلظت این عناصر در آب رودخانه استفاده شده است (شکل ۴-۱۱). همانطور که در شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود روندهای متفاوتی در چشمه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. در میان چشمه‌های مورد مطالعه قوتورسوئی با $pH = 3/2$ اسیدی‌ترین آب در میان چشمه‌های مورد مطالعه را دارد و از نظر روند نیز با دیگر چشمه‌ها متفاوت است، بگونه‌ای که در آن تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین و غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک مشاهده می‌شود. از سوی دیگر آنومالی منفی برجسته سریم را می‌توان در آن دید. چشمه کوثر با pH نزدیک به خنثی (شکل ۴-۱۲)، مقادیر عناصر نادر خاکی در آن نزدیک به میانگین مقادیر این عناصر در آب رودخانه است. هر چند در میان چشمه‌های مورد بررسی بیشترین دما را نیز داراست. چشمه قوتورسوئی موئیل غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین و تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک را نشان می‌دهد، که در برخی از مناطق هیدروترمال قابل رؤیت است.

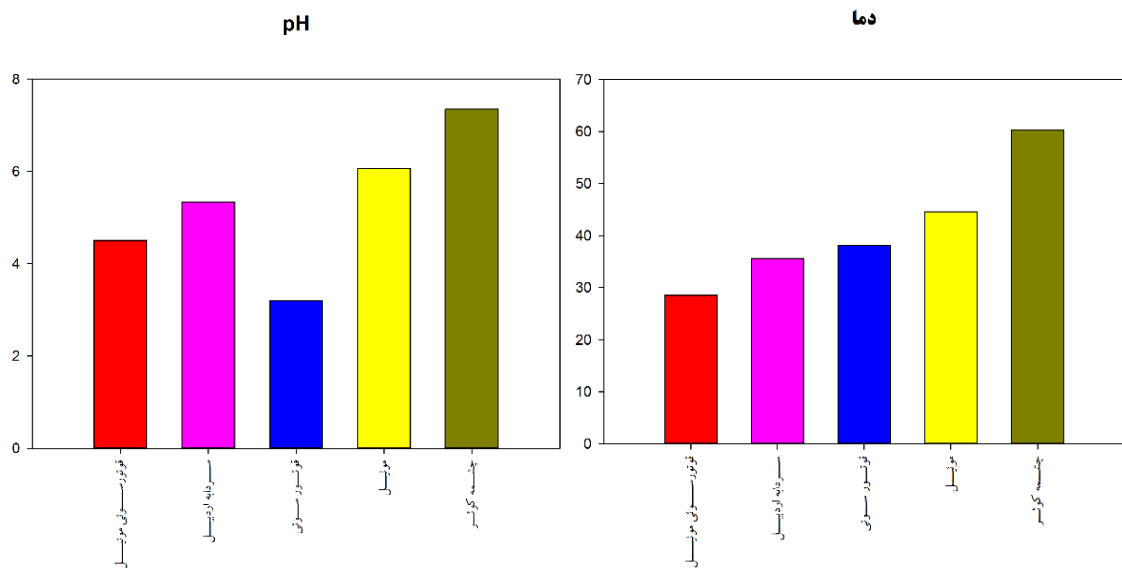
چشمه سردابه نیز روندی مانند قطورسوئی موئیل از خود نشان می‌دهد، این در حالی است که چشمه موئیل روند S از خود نشان می‌دهد.

از سوی دیگر مطابق شکل (۴-۱۱) نمونه‌های چشمه آبگرم اردبیل آنومالی منفی Ce در تمامی چشمه‌ها دیده می‌شود که همخوانی زیادی با نتایج آب رودخانه دارد و این نشان دهند سطح بالای اکسیژن در چشمه‌های آب اردبیل است. اغلب آب‌های حرارتی نشأت گرفته از سنگ‌های آذرین و دگرگونی دارای Eh پایینی هستند، بنابراین رسوبات FeOOH رخ نمی‌دهد و آنومالی سریم گسترش نمی‌یابد (Moller, 2005)، که این روند در چشمه‌های اردبیل با وجود سنگ‌های آذرین این موضوع دیده نمی‌شود.

بررسی یوروپیم در چشمه‌های این منطقه حاکی از رفتار طبیعی آن‌هاست و هیچگونه آنومالی نشان نمی‌دهند.

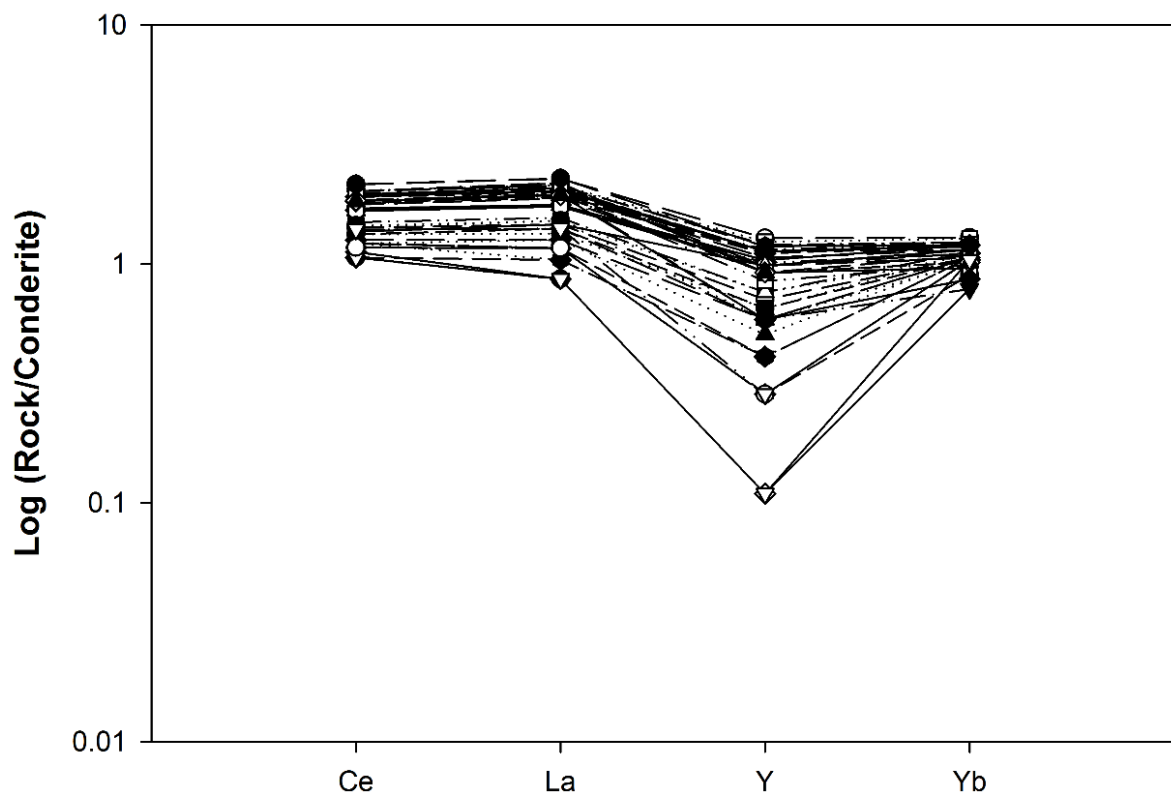


شکل (۴-۱۱): نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی در منطقه زمین گرمایی اردبیل.



شکل (۴-۱۲): نمودار دما و pH برخی چشمه‌های استان اردبیل.

بررسی چهار عنصر Yb و Y، La، Ce در نمونه‌های سنگی استان آذربایجان شرقی تا حدودی تهی شدگی عناصر نادر خاکی سنگین و غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک را نشان می‌دهد که این شاخصه مناطق هیدروترمال است (شکل ۴-۱۳).



شکل (۴-۱۳): مقدار برخی از عناصر نادر خاکی در نمونه‌های سنگی اطراف چشمه‌های آبگرم در استان آذربایجان شرقی.

۴-۲- عناصر کمیاب

وود در سال ۲۰۰۶ بررسی عناصر کمیاب موجود در سنگ و خاک را به عنوان یک راهنمای اکتشافی جهت تعیین منابع زمین‌گرمایی معرفی کرده است. از سوی دیگر بررسی عناصر کمیاب در چاه‌های زمین‌گرمایی و چشمه‌های آبگرم در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Wood, 2006) (Aiuppa et al., 2000) (Kaasalainen and Stefansson, 2012).

۴-۲-۱- آرسنیک (As)

طی آزمایشات تجربی الیس و ماهون (۱۹۶۴، ۱۹۷۷) مقدار قابل توجهی آرسنیک از آندزیت‌های کانی-سازی نشده طی لیچینگ سنگ-آب شسته می‌شود. شیرابه‌های محصول این آزمایش دارای غلظتی بیشتر از ۱/۳ گرم در تن آرسنیک هستند. شستشوی تجربی گری‌وک با آب گرم همچنین شسته شدن مقدار قابل توجهی آرسنیک همراه آنتیموان، سلنیم و گوگرد را به همراه دارد. این آزمایش تجربی در دمایی پایین‌تر از دمای سیستم زمین‌گرمایی انجام شده است.

در بیشتر سیستم‌های زمین‌گرمایی غلظت As در چشمه‌های آبگرم شبیه آب‌های مخازن عمقی‌شان است. بیشتر چشمه‌ها غلظتی در محدوده (۳ - ۰/۱) گرم در تن دارند و بیشترین غلظت مربوط به منطقه ایتاشو^۱ با ۴۸ گرم در تن است (Ellis and Mahon, 1977).

بیشتر سنگ‌های آذرین و رسوبی غیر هیدروترمالی حاوی میانگین ۱ تا ۲ گرم در تن آرسنیک هستند، در حالی که میانگین آرسنیک ۱۳ گرم در تن در شیل‌ها هستند (Baur and Onishi, 1978). از این رو مناطقی که سنگ میزبان شیل دارند از قبیل Mexico, Cerro Prieto, California, Salton Sea و New Zealand آرسنیک بیشتری در سیالات‌شان نشان می‌دهند (Ballantyne and Moore, 1988).

آرسنیک مرتبط با مناطق زمین‌گرمایی در چشمه‌های آبگرم چندین ناحیه دنیا گزارش شده است. (آمریکا، ژاپن، نیوزلند، ایسلند و فرانسه) (Welch et al., 1988).

آرسنیک به عنوان یک مولفه فعال سیستم زمین‌گرمایی شناخته می‌شود. این عنصر همراه جیوه (Hg)، آنتیموان (Sb)، سلنیم (Se)، تالیم (Tl)، برم (Br)، لیتیم (Li)، فلورید (F) و هیدروژن سولفید (H_2S) تشکیل می‌شود. این عناصر به عنوان محصول زمین‌گرمایی شناخته می‌شود (Webster-Brown, 2000). غلظت آرسنیک در سیالات حرارتی به منشأ حرارت در عمق و تحول در مسیر حرکت به سمت بالا بستگی دارد (Haeri et al., 2011).

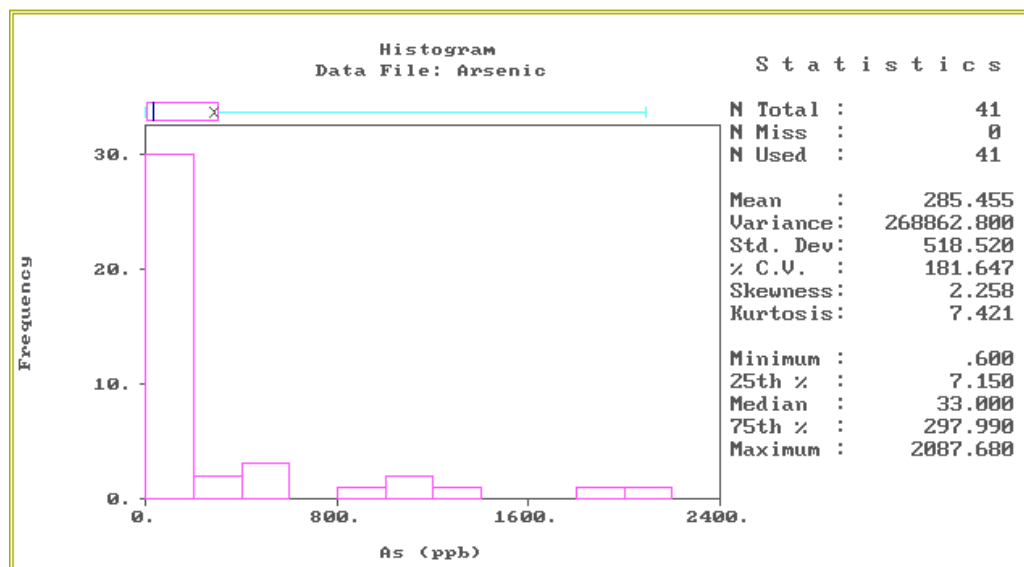
آب‌های زمین‌گرمایی مرتبط با ولکانیسم فعال و تغییر ترکیب شیمیایی‌شان در طی حرکت به سمت بالا از منشا عمقی هستند. غلظت آرسنیک در این آب‌ها اغلب بالاست (Hammarlund and Pinones, 2009).

تاکنون مطالعات کمی در مورد ژنز، گونه‌ها و تحرک آرسنیک در سیستم زمین‌گرمایی صورت پذیرفته است، همچنین دانسته‌ها در مورد فرآیندهای ژئوشیمیایی و زیست - شیمیایی که با ورود آرسنیک از منابع زمین‌گرمایی در سطح اتفاق می‌افتد اندک است (Hammarlund and Pinones, 2009).

وجود آرسنیک در سیالات زمین‌گرمایی در اواسط قرن ۱۹ میلادی به اثبات رسید. بیشتر مطالعات پیشرفته در این خصوص در پارک ملی یلواستون آمریکا که یکی از بزرگترین سیستم‌های زمین‌گرمایی دنیاست صورت پذیرفته است. در بیشتر مناطق زمین‌گرمایی دنیا غلظت آرسنیک از کمتر از ۰/۱ تا ۱۰ گرم در تن است به جز مناطقی در ایسلند و هاوایی که غلظت آرسنیک در آن‌ها کمتر از ۰/۱ گرم در تن است، که دلیل پایین بودن آرسنیک در این مناطق حضور سنگ بازالت تازه به عنوان سنگ میزبان است (Webster and Nordstrom, 2003).

۴-۲-۱-۱-آرسنیک در منطقه زمین گرمایی آذربایجان شرقی

محدوده غلظت آرسنیک در چشمه‌های آبگرم آذربایجان شرقی (۲۰۸۷/۶۸-۰/۶) میلی گرم در تن است. نمودار فراوانی آرسنیک در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی مطابق شکل (۴-۱۴) است.



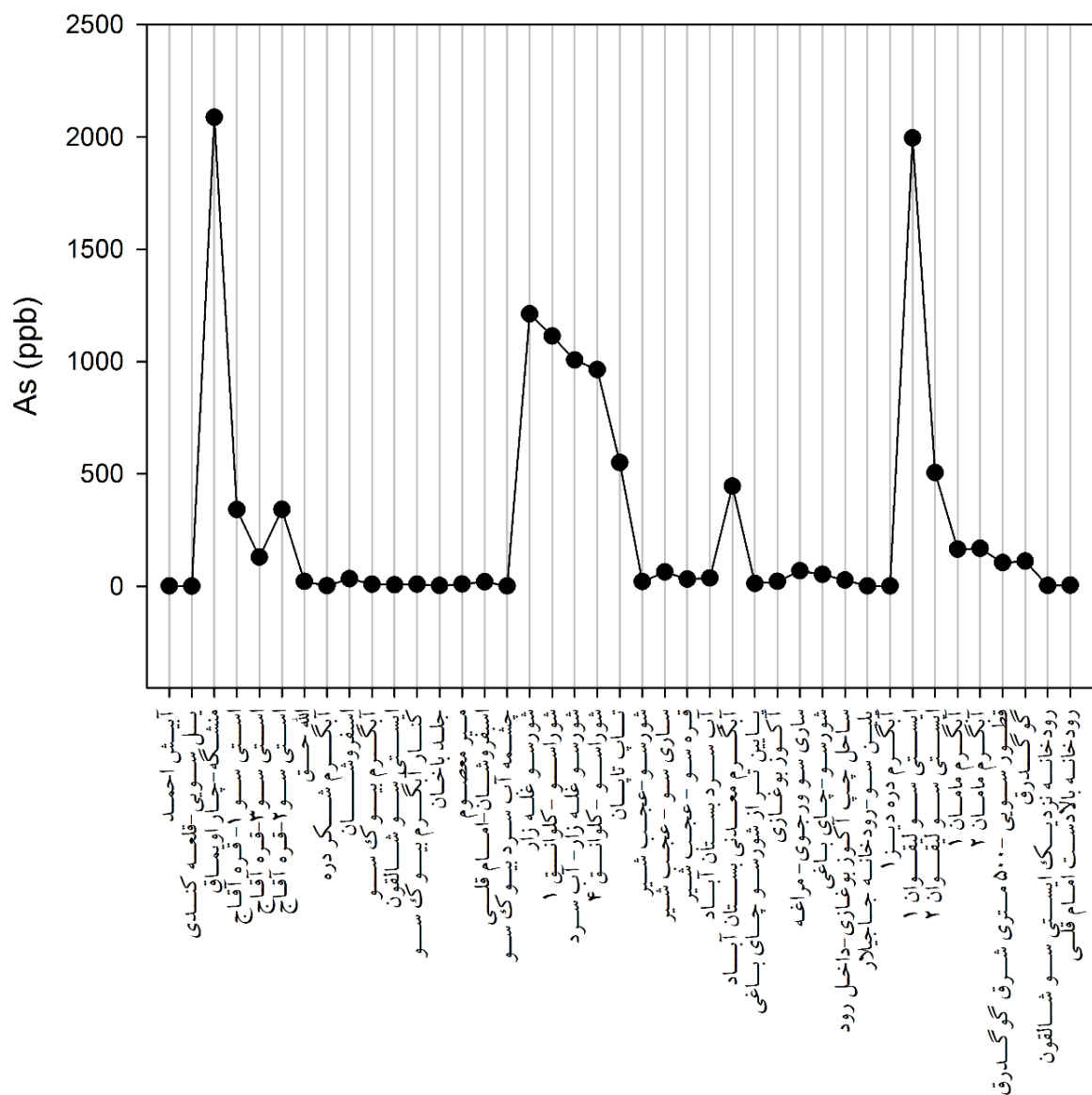
شکل (۴-۱۴): فراوانی آرسنیک نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

نتایج مطالعه آماری برای آرسنیک در جدول (۴-۳) ارائه شده است.

جدول (۴-۳): نتایج آماری تک متغیره (واحد غلظت میلی گرم در تن است).

	As
N of Cases	۴۱
Minimum	۰/۶
Maximum	۲۰۸۷/۶۸
Median	۳۳
Arithmetic Mean	۲۸۵/۴۵۵
Mode	۱/۲
Standard Deviation	۵۱۸/۵۲
Skewness (G1)	۲/۳۴۵
Kurtosis (G2)	۵/۱۷۴

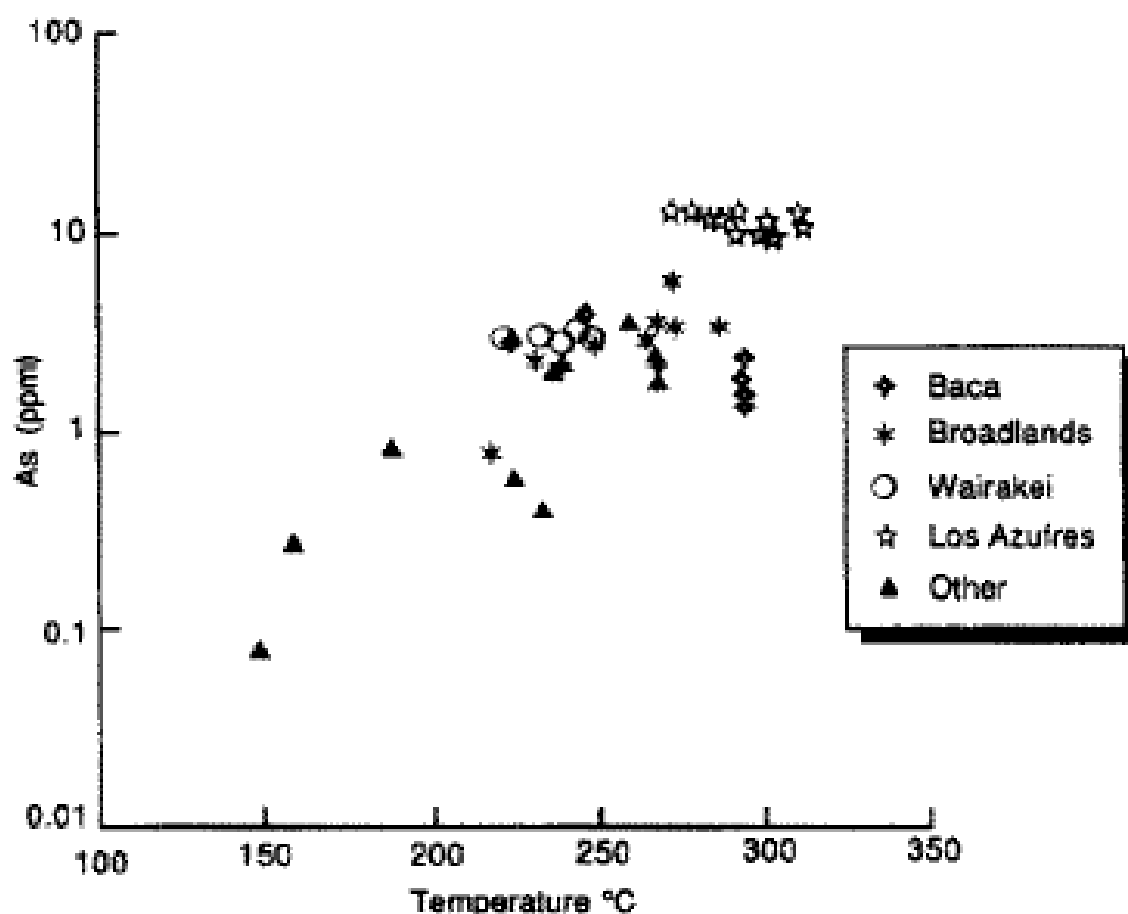
برخی از چشمه‌ها مانند آبیش احمد، میرمعصوم، شکرده، ایستی سو شالقون، بیوک سو و جلدباخان هر چند دمای تقریباً بالای در منطقه دارند اما دارای غلظت پایین آرسنیک می‌باشند که با توجه به مطالعه وبستر و نوردسترم (۲۰۰۵) می‌توان حضور بازالت به عنوان سنگ میزبان را علت این امر دانست. بررسی غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی از بالا بودن مقدار این عنصر در چشمه‌های مناطق آذرشهر، لیقوان، چشمه منشگه منطقه قره‌آغاچ و آبگرم بستان آباد دارد (۴-۱۵) Webster (and Nordestrom, 2005).



شکل (۴-۱۵): غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی.

۴-۲-۱-۲- همبستگی غلظت آرسنیک با دما

همبستگی مثبت آرسنیک و دمای سیال در اغلب مناطق فعال زمین‌گرمایی ثبت شده است (شکل ۴-۱۶). اما نکته قابل توجه این است که این همبستگی معمولاً در شوری پایین (غلظت کلر کمتر از ۳۰۰۰ گرم در تن) رخ می‌دهد.

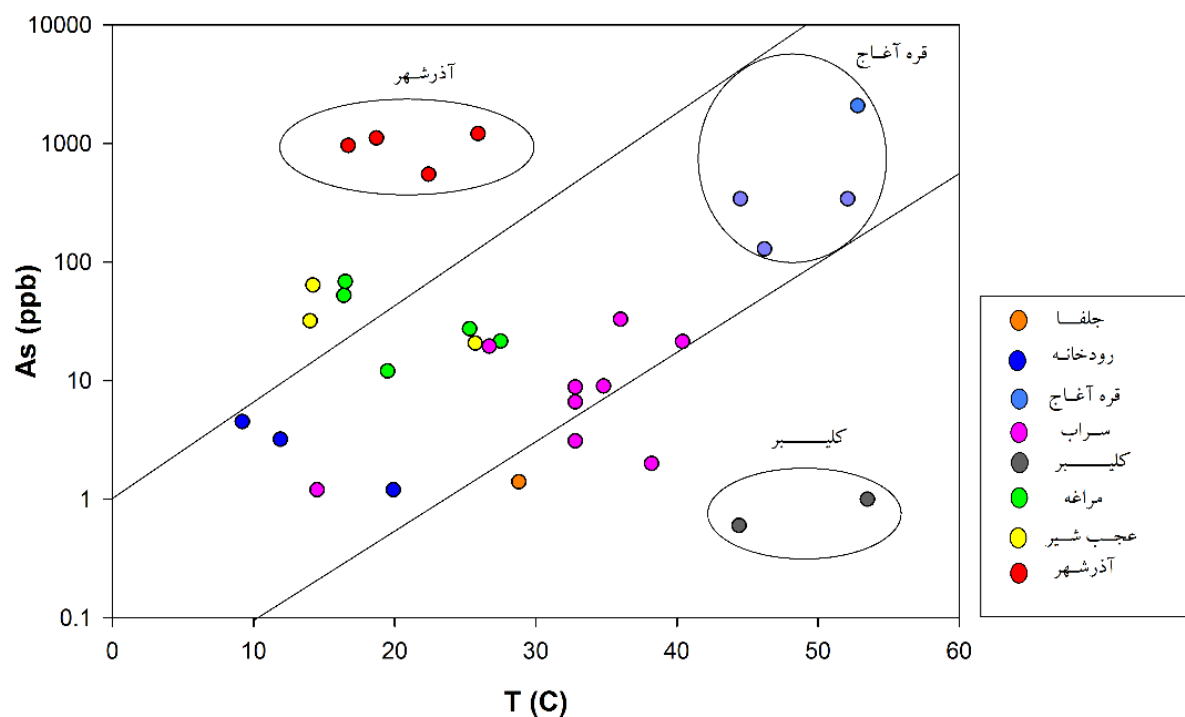


شکل (۴-۱۶): همبستگی مثبت آرسنیک در برخی از سیالات زمین‌گرمایی در مناطق مختلف با دما که حاوی NaCl

پایینی هستند (Ballantyne and Moore, 1988).

از میان چشمه‌های استان آذربایجان شرقی چشمه‌های با ترکیب کلروره سدیک برای ترسیم نمودار AS-T حذف گردید، زیرا در pH طبیعی میزان کلر در این چشمه‌ها بیشتر از دیگر چشمه‌ها است. در این راستا مقادیر مربوط به چشمه‌های آبگرم و آب سرد بستان آباد، میرمعصوم، شورسوغله‌زار آب سرد، ایستی‌سو ۱ و ۲ لیقوان، گوگردق و قطورسویی در منطقه هشت‌رود و آبگرم مامان ۱ و ۲ در منطقه میانه برای رسم

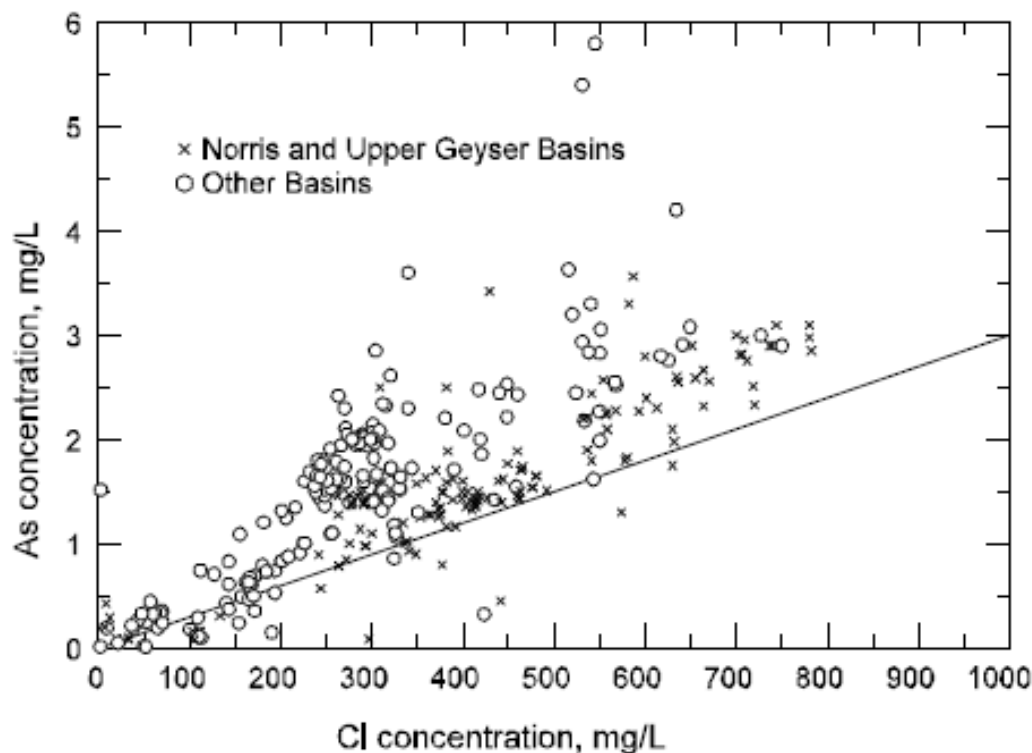
این نمودار کنار گذاشته شد. همانطور که در شکل (۴-۱۷) مشاهده می‌کنید روند همبستگی مثبت بین غلظت آرسنیک و دما در بیشتر نمونه‌های آب دیده می‌شود. اما چشمه‌های منطقه کلیبر، برخی از چشمه‌های منطقه سراب و چشمه‌های تراورتن‌ساز آذرشهر از این روند تبعیت نمی‌کنند. برای منطقه کلیبر پایین بودن میزان آرسنیک می‌تواند در ارتباط با سنگ میزبان بازالتی باشد و همین امر باعث شده است که با وجود دمای بالای آب غلظت پایین آرسنیک داشته باشند. در مقابل در چشمه‌های منطقه آذرشهر و برخی چشمه‌های مناطق مراغه و عجب‌شیر با وجود دمای پایین غلظت آرسنیک بالاست که این دمای پایین می‌تواند به علت قدیمی بودن این چشمه‌ها باشد. اما مابقی چشمه‌ها و به ویژه چشمه‌های منطقه قره‌آغاج بیشترین همبستگی را بین دما و غلظت آرسنیک نشان می‌دهند که همین عامل نشان دهنده اهمیت این منطقه به عنوان پتانسیل زمین‌گرمایی است.



شکل (۴-۱۷): پراکندگی آرسنیک نسبت به دما در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

۴-۲-۱-۳- همبستگی کلر و آرسنیک

همبستگی بین کلر و آرسنیک در بیشتر مناطق زمین‌گرمایی تأیید شده است، برای مثال پارک ملی یلواستون (شکل ۴-۱۸). نسبت Cl/As می‌تواند به عنوان ابزار ردیابی رقیق‌شدگی سیالات زمین‌گرمایی، تغلیظ یا اختلاط در منطقه زمین‌گرمایی استفاده کرد (Welch and Stollenwerk, 2003).



شکل (۴-۱۸): همبستگی کلر و آرسنیک در برخی از چشمه‌های پارک ملی یلواستون (Nordstrom et al, 2001).

اغلب مطالعات آرسنیک در آب‌های زمین‌گرمایی بر اساس رفتار متقابل Cl و As صورت می‌پذیرد (Nordstrom et al, 2001). با این وجود تفسیر نسبت Cl/As نیازمند توجه زیادی است زیرا ممکن است تابع موارد مختلف از جمله رفتار مشترک دو عنصر، منشأ مشترک یا ارتباط شیمیایی مستقیم باشد (Ballantyne and Moore, 1988). منشأ یون کلر ممکن است گاز HCl مرتبط با ماگما نفوذی، شسته شدن از سنگ میزبان یا آب دریا باشد، در حالیکه آرسنیک بطور عمده از شسته شدن سنگ میزبان آزاد می‌شود. اما هر دو عنصر در فاز سیال در طی جوشش سطحی و جدایش فاز باقی می‌مانند.

در نتیجه، غلظت As همواره در pH طبیعی در چشمه‌های کلریدی از چشمه‌های اسیدی - سولفات به بیشتر است (Welch and Stollenwerk, 2003).

در مناطق Broadlands، Wairakei، Orakeikorako و New Zealand چشمه‌هایی وجود دارد که غلظت As در آن‌ها کمتر از سیالات مخزن‌شان است، کاهش Cl در آب این چشمه‌ها نسبت به سیالات مخزن نشان دهنده رقیق‌شدگی است که می‌تواند کاهش As در آب چشمه را توجیه کند. در مقابل برخی از چشمه‌ها در مناطق Tahauar، Waiotapu، New Zealand، Pauzhetrk و USSR حاوی غلظت As بیشتری نسبت به سیال مخزن هستند. در برخی از این چشمه‌ها غلظت Cl در چندین چشمه کمتر از میزان آن در سیالات عمقی است که با غلظت بالای آرسنیک تناقض نشان می‌دهد که این خود نشان می‌دهد که آرسنیک تنها در اثر اختلاط و جوشش غنی نمی‌شود و گاهی اوقات در اثر برخورد سیالات سطحی با سنگ جذب می‌شوند (Welch and Stollenwerk, 2003).

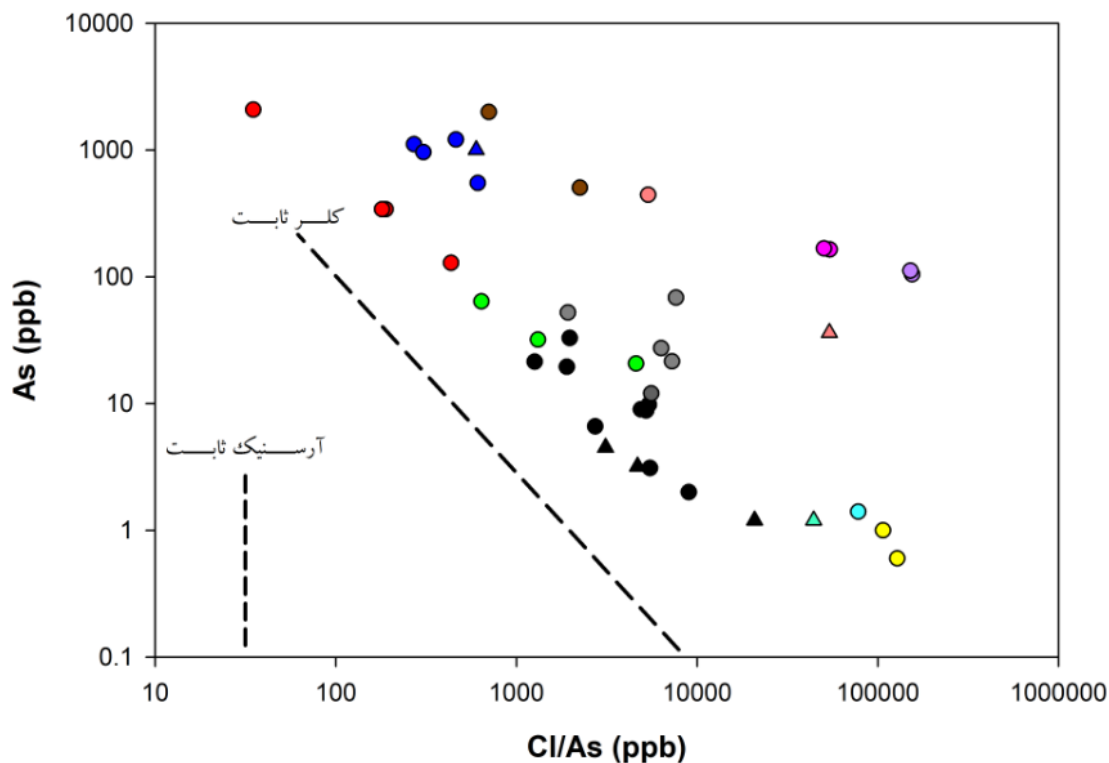
اکثر آب‌های حرارتی روند خطی بین As و Cl نشان می‌دهند که اختلاط با آب‌های زیرزمینی سرد در مسیر حرکت‌شان به سمت بالا را پیشنهاد می‌دهد (Webster and Nordstrom, 2003).

نمودار As-Cl/As (شکل ۴-۱۹) نشان دهنده رفتار غیر محافظه کارانه^۱ آرسنیک می‌باشد. نسبت Cl/As برای چشمه‌های منطقه میانه، هسترود، کلیبر، جلفا و آب سرد بستان آباد بسیار بالاست در مقابل منطقه قره آغاج، آذرشهر و استی سو ۱ لیقوان دارای مقدار کم برای این نسبت هستند. میزان آرسنیک در چشمه‌های این مناطق بالاترین مقدار هستند. میزان بالای Cl/As نشان دهنده رقیق‌شدگی شدید در چشمه‌هاست. از سوی دیگر در منطقه‌ای مانند قره‌آغاج که تغییرات این نسبت در چشمه‌های مختلف بالاست می‌توان از رقیق‌شدگی شدید سخن گفت.

مطالعه آیوپا و همکاران (۲۰۰۶) منجر به ارائه نمودار As-Cl گردید (شکل ۴-۲۰). همانطور که پیشتر اشاره شد همبستگی بین کلر و آرسنیک در سیستم‌های هیدروترمال در سرتاسر دنیا مشاهده می‌شود اما دو گروه از آب‌ها از روند این همبستگی خارج شده‌اند گروه اول آب‌های غنی از کلر هستند و گروه

۱ - Non-Conservative

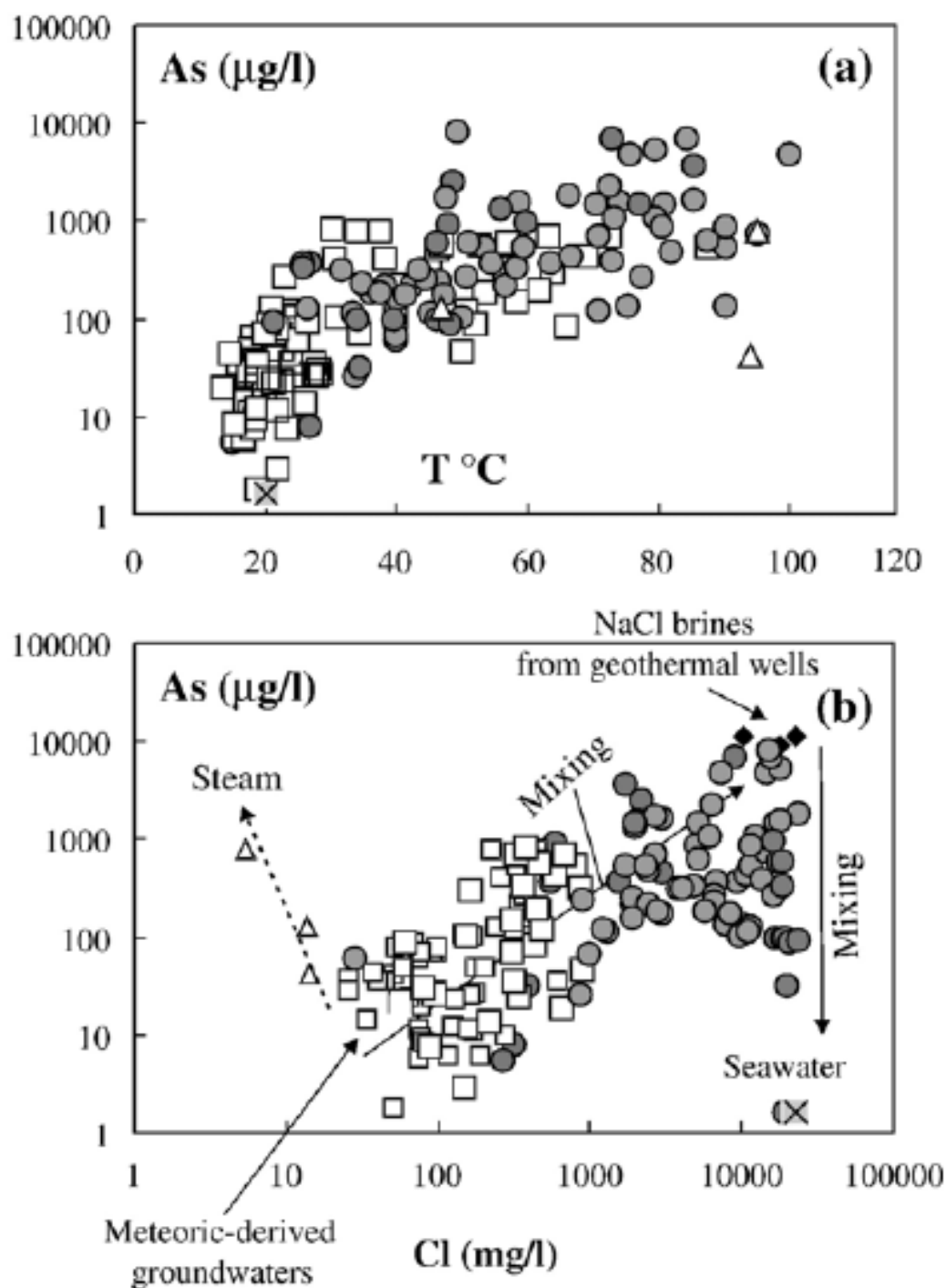
دوم آب‌های زیرزمینی سولفات‌هستند که معمولاً دارای میزان کلر کمی می‌باشند و بیشتر به صورت بخار داغ از زمین خارج می‌شوند (Aiuppa et al., 2006).



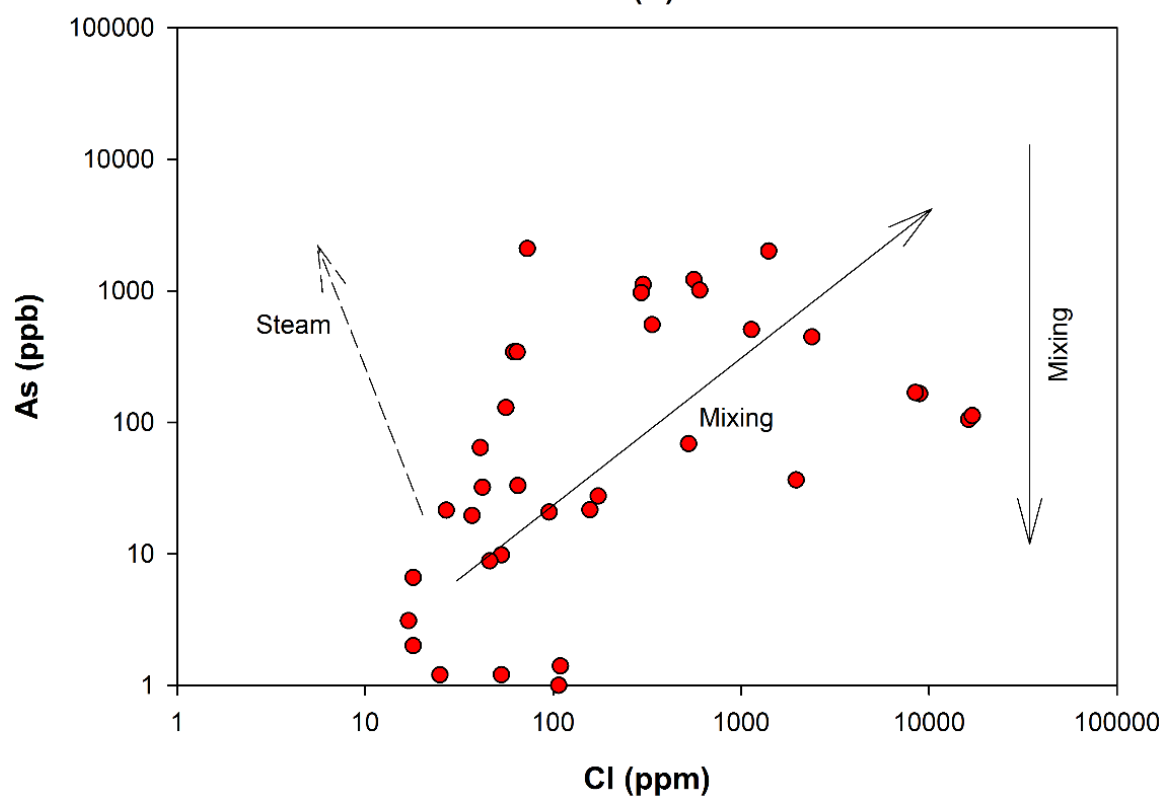
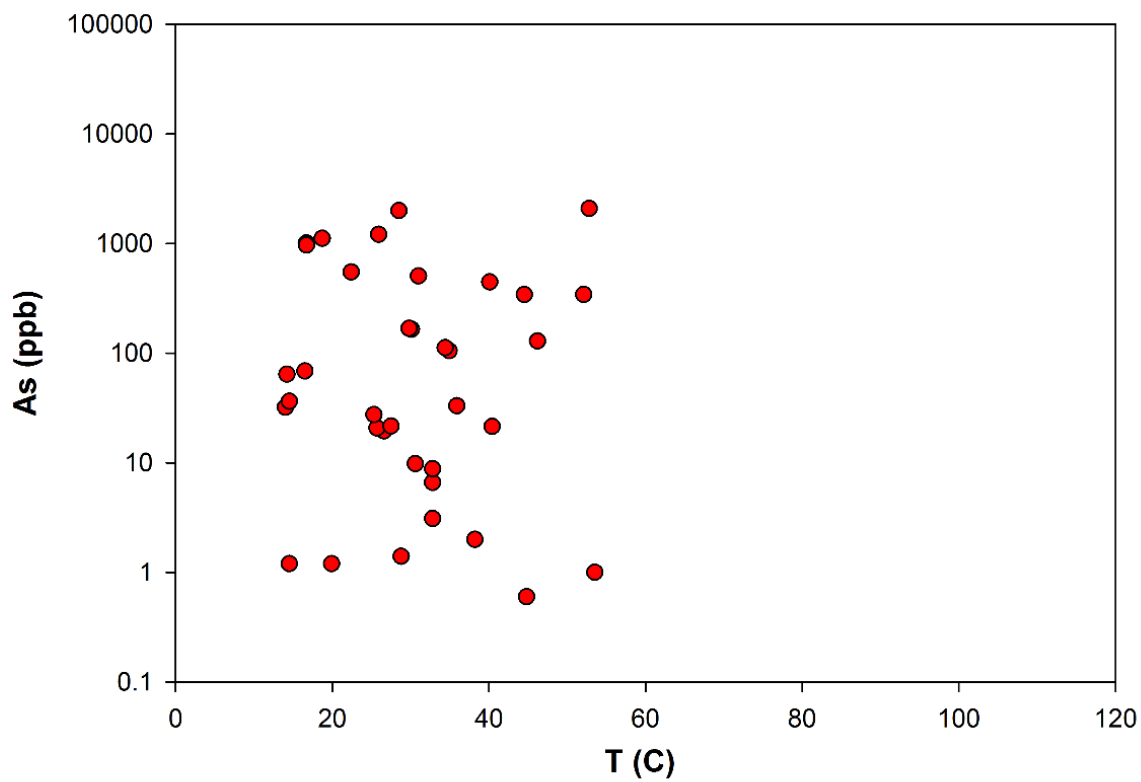
شکل (۴-۱۹): نمودار $As-Cl/As$. در این نمودار قره‌آغاج (قرمز) - آذرشهر (آبی پررنگ) - سراب (مشکی) - مراغه (خاکستری) - کلیبر (زرد) - میانه (بنفش) - هشتروند (سوسنی) - جلفا (آبی کمرنگ) - لیقوان (قهوه‌ای) - بستان آباد (صورتی) - عجب‌شیر (سبز) مشخص شده است. نمونه‌هایی که با مثلث مشخص شده‌اند (با هر رنگی که مشخص شده است نسبت به منطقه) آب سرد هستند.

شکل (۴-۲۱) نمودار $As-T$ و $As-Cl$ در نمونه‌های آبی استان آذربایجان شرقی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل می‌بینید، مطابق نتایج دیگر مناطق زمین‌گرمایی در دنیا استان آذربایجان شرقی نیز نشان دهنده همبستگی بین کلر و آرسنیک که در مواردی برخی از نمونه‌ها از روند همبستگی تبعیت نمی‌کنند. چشمه‌های مربوط به سه منطقه هشتروند، میانه و بستان آباد غنی‌شدگی کلر در خود نشان می‌دهند که این موضوع با تیپ آب این چشمه‌ها نیز همخوانی دارد (کلروره سدیک). این چشمه‌ها، چشمه‌های غنی از کلر همراه با یک مؤلفه آب‌های جوی هستند که خود عامل تقریق و کاهش میزان آرسنیک شده است. چشمه‌های منطقه قره‌آغاج نیز از روند همبستگی خارج شده‌اند، تیپ این چشمه‌های سولفات سدیک است و میزان کلر در آن‌ها پایین می‌باشد. اما در میان این چشمه‌ها آب‌بیش احمد

دارای میزان پایین آرسنیک است که همانطور که پیشتر اشاره شد این مسئله می‌تواند به علت سنگ میزبان بازالتی آن باشد. بررسی همبستگی بین کلر و آرسنیک در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین این دو عنصر ۰/۶۶۲ است (شکل ۴-۲۱).



شکل (۴-۲۰): نمودار Cl-As بر اساس مطالعه آیویا و همکاران (۲۰۰۶). مربع (آب‌های زیرزمینی بی‌کربنات)، مثلث (آب‌های زیرزمینی سولفات)، دایره (آب‌های زیرزمینی غنی از کلر) و لوزی (نمونه آب چاه‌ها زمین‌گرمایی).



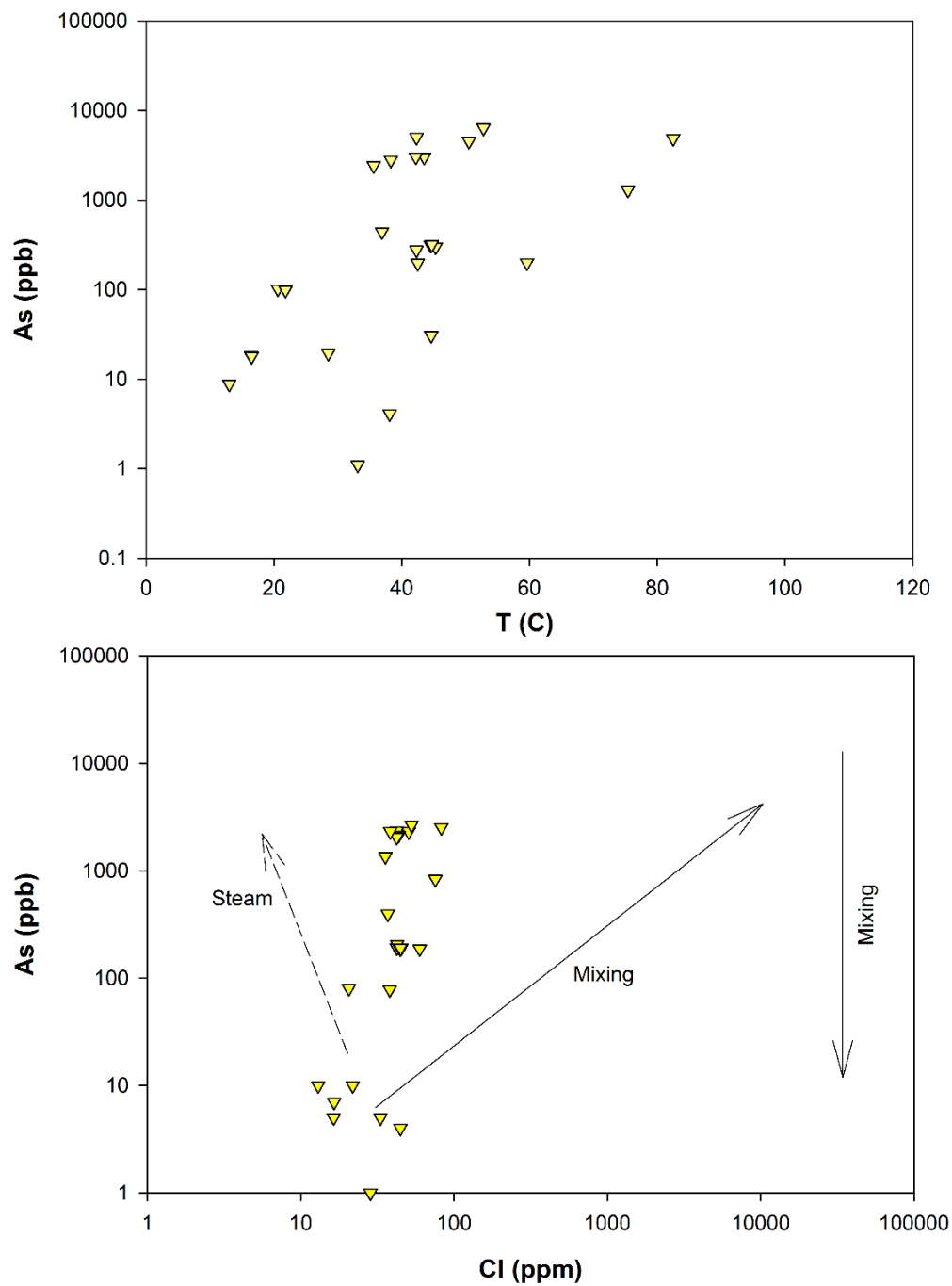
شکل (۴-۲۱): نمودار As-T و As-Cl در منطقه آذربایجان شرقی.

شکل (۴-۲۲) که مطابق جدول (۴-۴) رسم شده است مربوط به چشمه‌های آبگرم استان اردبیل می‌باشد، نشان دهنده غلظت پایین کلر در آب چشمه‌های این منطقه است و همین امر می‌تواند نشان دهنده وجود منشأ سطحی آرسنیک در کنار منشأ عمقی آن باشد. بطور کلی با وجود همبستگی خوب آرسنیک و دما در منطقه اردبیل، همبستگی کلر و آرسنیک در این منطقه بالا نیست.

جدول (۴-۴): غلظت دو عنصر Cl و As در چشمه‌های آبگرم اردبیل

نام چشمه	T	As	Cl
	°C	ppb	ppm
قینرگه ۱	50.5	4534	2305
داش آلتی	59.6	198.9	187
قهوه سوئی	43.5	3023	2136
قره شیران	42.2	3037	2047
زئرال	42.3	275.9	191
قره سو	42.5	279.6	187
آتشگاه ۲	16.4	18.2	5
بوشلو (برجلو)	52.8	6381	2664
ویلا دره	16.5	17.9	7
موئیل	44.6	196.9	206
سقزچی ۱	38.3	2792	2306
گاومیش گلی	45.3	299.3	191
گواز سوئی (آب چشم)	21.8	101.8	80
پهنلو	44.5	314.4	187
ساری سو	55.7	318.9	190
چشمه کوثر (گیوی)	60.3	249.1	100
گواز سوئی (آتشگاه ۱)	21.8	98.5	10
شابییل	46	4.1	78
قوتورسوئی	38.1	2422	1357

نام چشمه	T	As	Cl
	°C	ppb	ppm
ملک سو ۲	37.4	1.1	5
آقسو	33.1	442	395
قینرگه ۲	82.5	1291	830
سردابه (اردبیل)	35.6	15.4	1
قینرگه ۳	75.4	30.8	4
قینرگه ۱	79.3	1402	818
ارجستان	13	8.8	10
قینرگه ۲	58.4	4864	2512
ایلان‌دو ۳	36.2	19.4	1



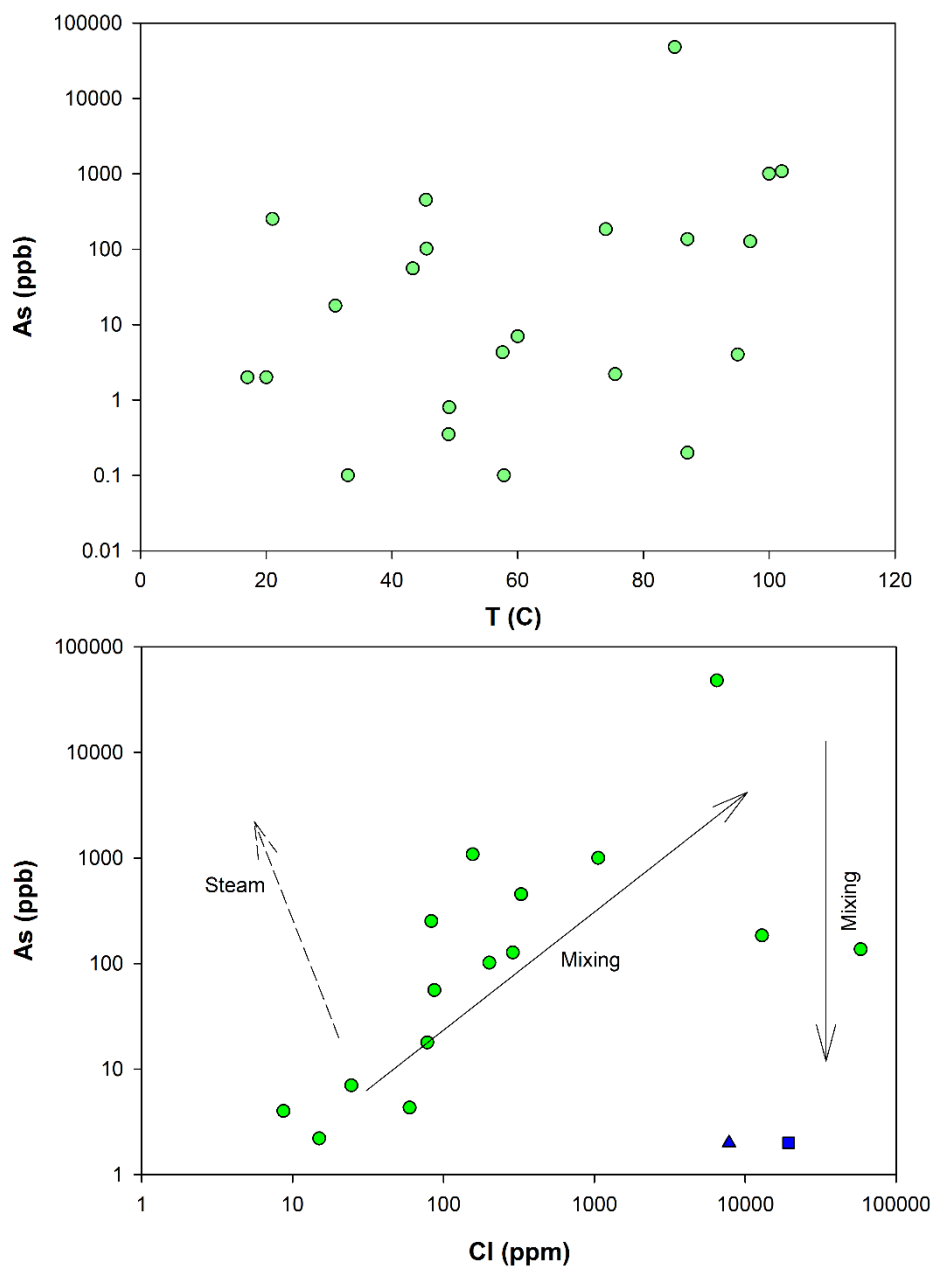
شکل (۴-۲۲): نمودار Cl-As و As-T برای چشمه‌های آبگرم استان اردبیل.

طی شکل (۴-۲۳) که مطابق جدول (۴-۵) رسم شده است مقادیر آرسینک و کلر برخی از مناطق زمین‌گرمایی دنیا جهت مقایسه با مقادیر این عناصر در چشمه‌های استان آذربایجان شرقی ارائه شده است.

جدول (۴-۵): مقادیر As و Cl در برخی مناطق زمین گرمایی دنیا.

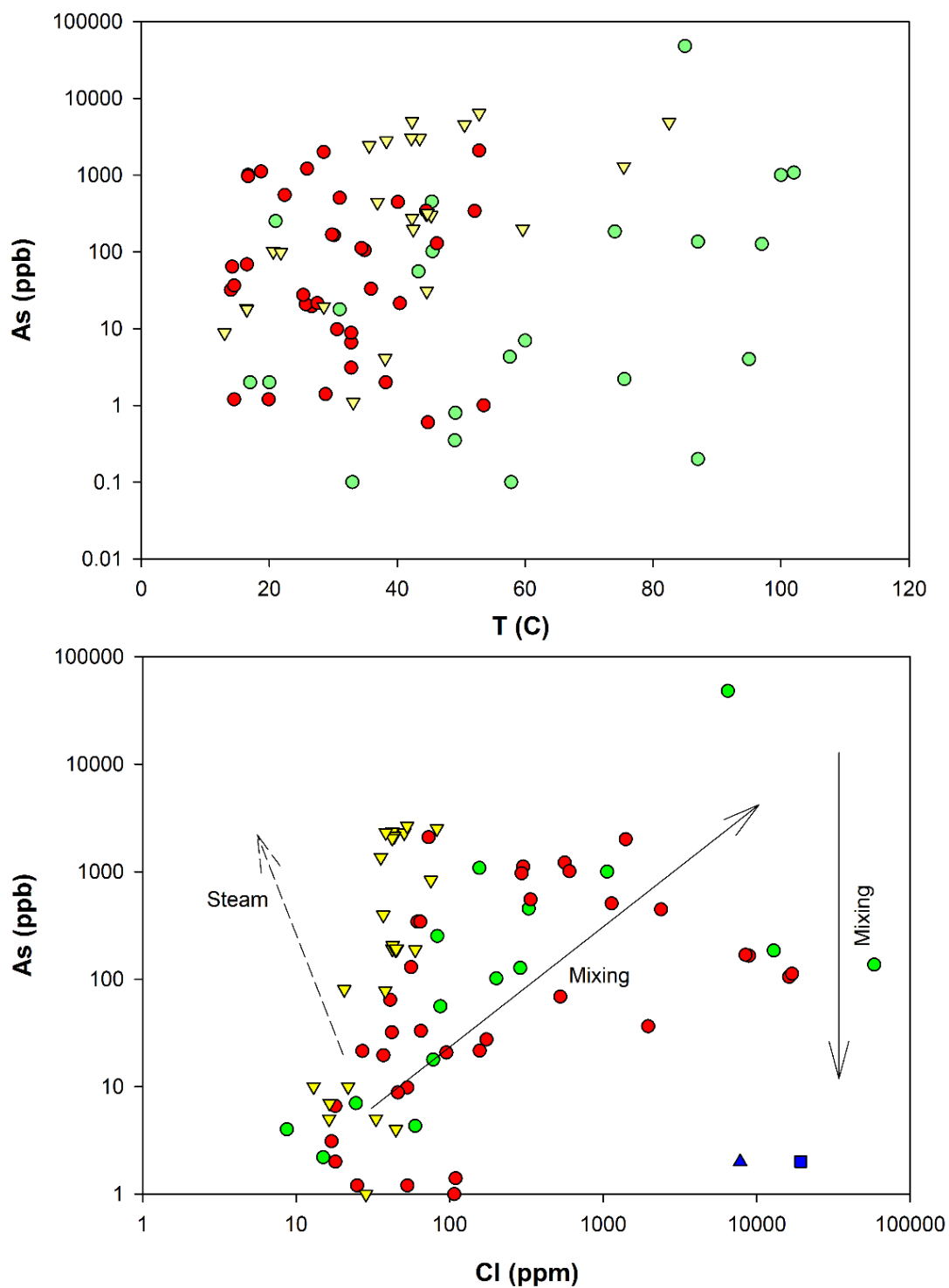
نام منطقه	As (ppb)	Cl (ppm)	T (°C)
River Water	2	7800	17
Sea water	2	19353	20
Kestanbol	184.3	12929	74
Tuzla	136	58220	87
Hidirlar	2.2	15	75.5
Alibeykoy	251.8	83	21
Can	101.6	201	45.5
Kocabaslar	17.8	78	31
Karailica	55.7	87	43.3
Bardakcilar	0.8	25	49.1
Kirkgecit	0.35	35	49
Edremit	4.3	59.6	57.6
Derman	0.1	52	57.8
Pamukkale	0.1	12.2	33
Karahayit	7	24.5	60
Kizildere	1080	156	102
Newzealand	1000	1060	100
El Tatio	48000	6500	85
Krysuvik	4	8.7	95
Kverkfjoll	0.2	6	87
Torfajokull	127	288	97
Meshkinshahr Springs	452	327	45.4

مطابق شکل (۴-۲۴) و مقایسه داده‌های چشمه‌های آبگرم استان آذربایجان شرقی و استان اردبیل با برخی از مناطق زمین‌گرمایی در دنیا نشان دهنده شباهت رفتار Cl-As در این منطقه با سایر مناطق زمین گرمایی می‌باشد. میزان این شباهت در داده‌های مربوط به آذربایجان شرقی بیشتر از اردبیل است. این نمودار نشان دهنده منشأ عمقی آرسنیک در منطقه آذربایجان شرقی است که به علت اختلاط زیاد میزان آن نسبت به منشأ کاهش چشم‌گیری داشته است.



شکل (۴-۲۳): نمودار As-T و As-Cl در برخی مناطق زمین گرمایی. مربع و مثلث به ترتیب مربوط به آب دریا و آب رودخانه است که جهت مقایسه در نمودار آورده شده است.

همبستگی مثبت بین کلر و آرسنیک که در شکل (۴-۲۰) مشخص است نشان دهنده اختلاط آب‌های حرارتی با آب‌های سرد زیرزمینی در مسیر حرکت‌شان به سمت بالا است.



شکل (۴-۲۴): نمودار As-T و As-Cl مربوط به استان آذربایجان شرقی (دایره‌های قرمز)، استان اردبیل (مثلث‌های زرد) و برخی دیگر از مناطق زمین‌گرمایی (دایره‌های سبز) به صورت توأمان در این شکل آمده‌اند. مربع و مثلث به ترتیب مربوط به آب دریا و آب رودخانه است که جهت مقایسه در نمودار آورده شده است.

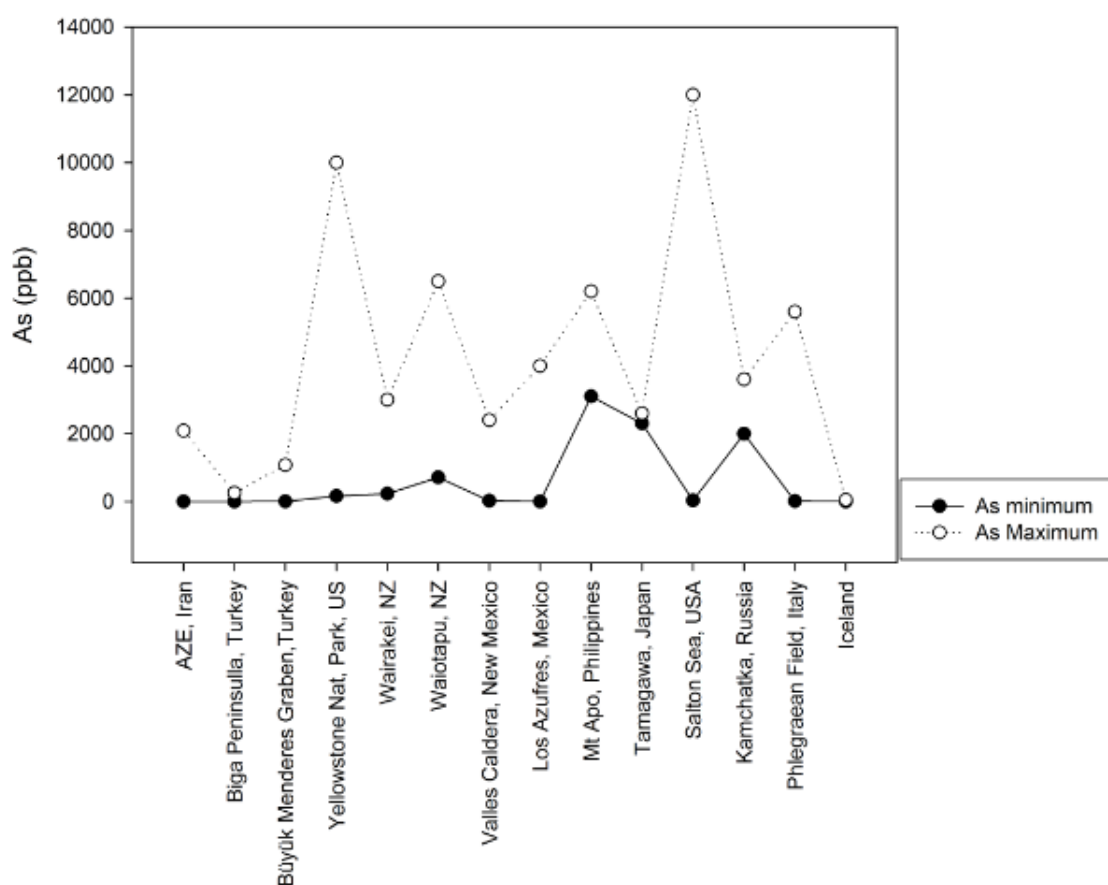
۴-۱-۲-۴- مقایسه آرسنیک در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی و برخی مناطق زمین گرمایی

آرسنیک در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی بازه (۲۰۸۷/۶۸ - ۰/۶) میلی گرم در تن دارد. نمونه‌های آب در این محدوده شامل چشمه آبگرم، آبسرد و رودخانه است.

مقادیر آرسنیک بررسی شده در برخی از مناطق دنیا (جدول ۴-۶) در شکل (۴-۲۵) گویای پایین بودن آن در چشمه‌های استان آذربایجان شرقی نسبت به دیگر مناطق زمین گرمایی در دنیا به استثنای برخی از مناطق از جمله ایسلند، ترکیه و دره کالدرا در ایالت نیومکزیکو آمریکا می‌باشد.

جدول (۴-۶): غلظت آرسنیک در برخی مناطق زمین گرمایی دنیا.

نام منطقه	غلظت آرسنیک (ppb)	مرجع
AZE, Iran	۰/۶ - ۲۰۸۷/۶۸	-
Biga Peninsulla, Turkey	۰/۸ - ۲۵۱/۸	Baba and Deniz (2008)
Büyük Menderes Graben, Turkey	۴/۳ - ۱۰۸۰	Ozgun et al (1997)
Yellowstone Nat, Park, US	۱۶۰ - ۱۰۰۰۰	Stauffer and Thompson (1984)
Wairakei, NZ	۲۳۰ - ۳۰۰۰	Richie (1961)
Waiotapu, NZ	۷۱۰ - ۶۵۰۰	Webster (1990)
Valles Caldera, New Mexico	۲۱ - ۲۴۰۰	Criaud and Fouillal (1989)
Los Azufres, Mexico	۱ - ۴۰۰۰	Brikle and Merkel (2000)
Mt Apo, Philippines	۳۱۰۰ - ۶۲۰۰	Webster (1999)
Tamagawa, Japan	۲۳۰۰ - ۲۶۰۰	Noguchi and Nakagawa (1969)
Salton Sea, USA	۳۰ - ۱۲۰۰۰	White (1968)
Kamchatka, Russia	۲۰۰۰ - ۳۶۰۰	Karpov and Naboko (1990)
Phlegraean Field, Italy	۱۲ - ۵۶۰۰	Celico et al. (1992)
Iceland	۱ - ۴۸	Arnorrsson and Linvall (2001)



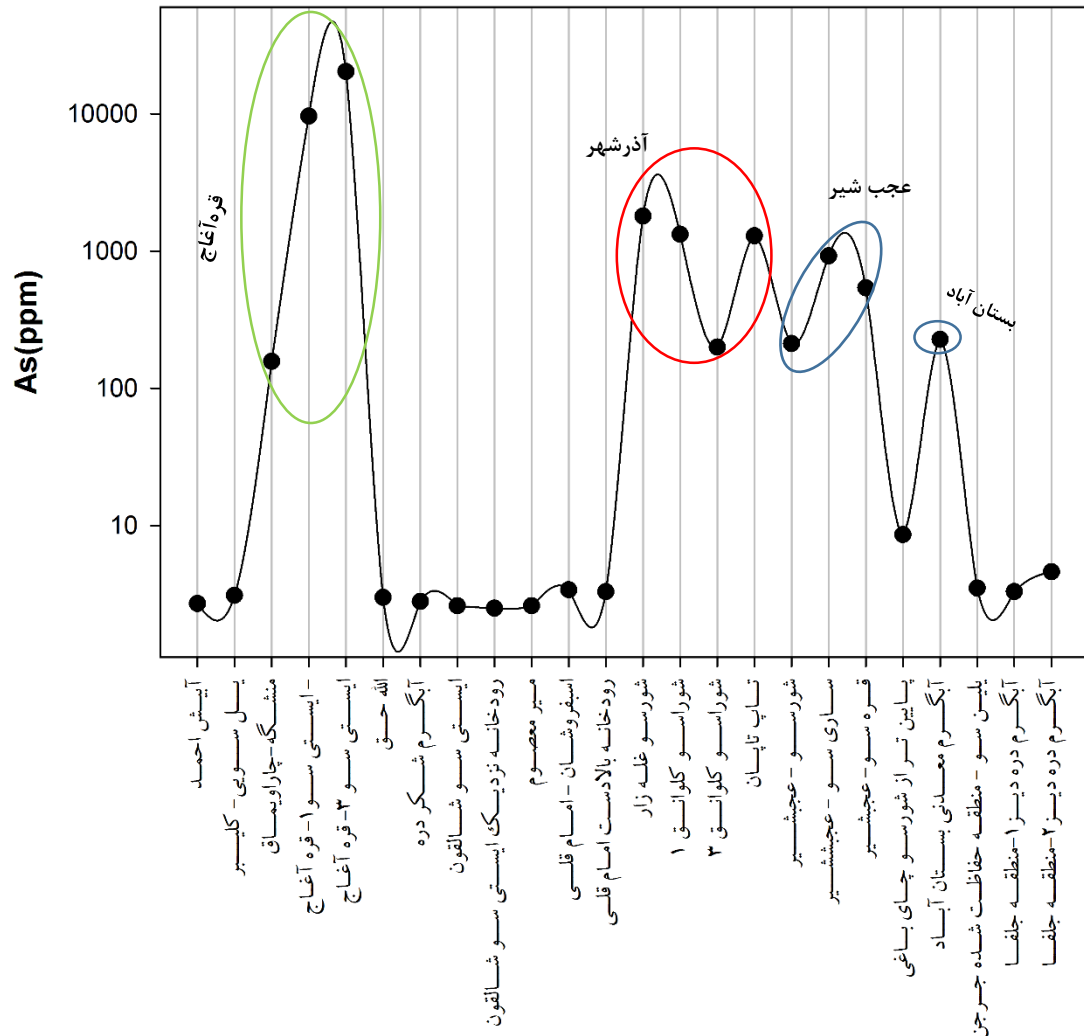
شکل (۴-۲۵): میزان آرسنیک در مناطق مختلف زمین‌گرمایی دنیا در مقایسه با استان آذربایجان شرقی.

۴-۲-۱-۵- آرسنیک در نمونه‌های سنگ و خاک استان آذربایجان شرقی

تغییرات غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک استان آذربایجان شرقی بین $(2/5 - 20310/2)$ گرم در تن است (شکل ۴-۲۶).

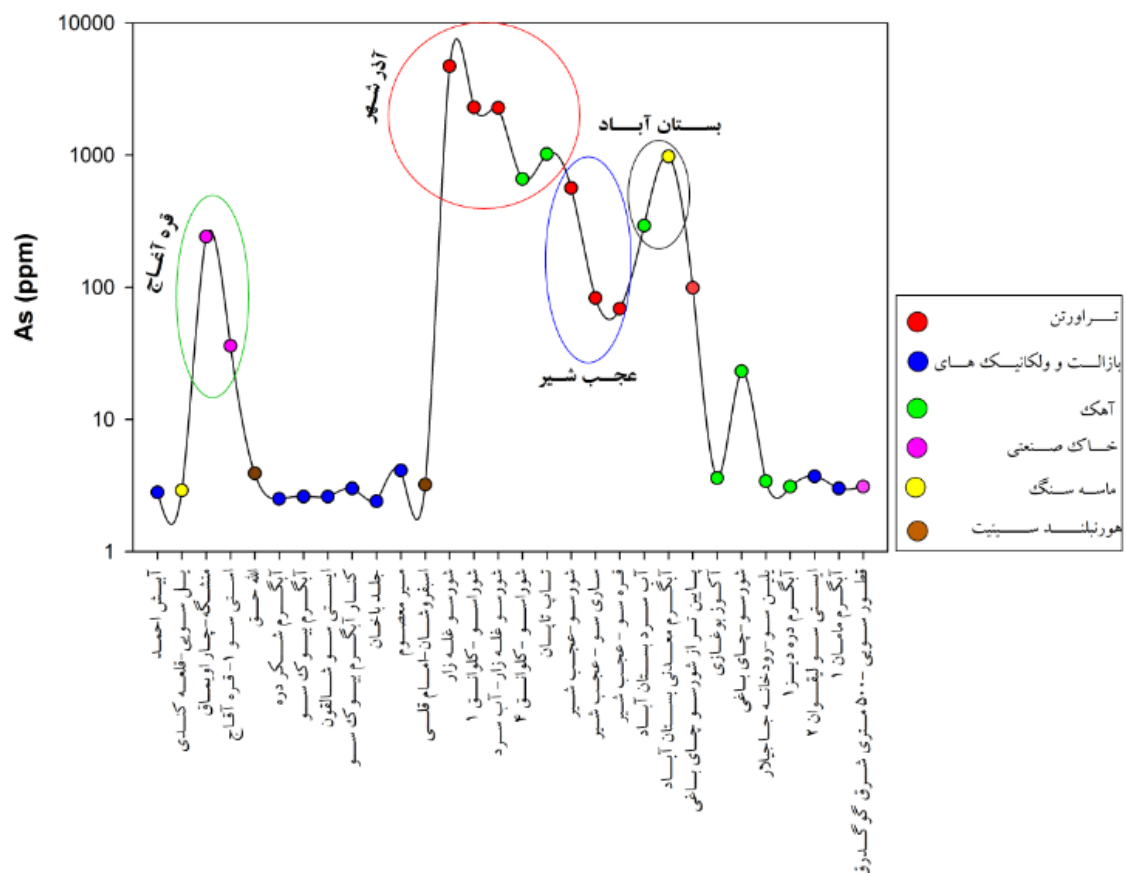
با توجه به شکل (۴-۲۶)، نمونه‌های خاک در سه منطقه قره‌آغاج، عجب شیر، آذرشهر و تا حدودی بستان آباد آنومالی آرسنیک از خود نشان می‌دهند. با توجه به شکل (۴-۱۶) غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب منطقه آذرشهر و چشمه منشگه قره‌آغاج بالاست. از سوی دیگر نمونه خاک اطراف چشمه منشگه نسبت به دیگر نمونه‌های این منطقه، غلظت پایین‌تری از As نشان می‌دهد که نشان دهنده رقیق‌شدگی این عنصر در خاک و غنی‌شدگی آن در آب است.

بازه غلظت آرسنیک در نمونه‌های سنگ استان آذربایجان شرقی (۴۷۱۳/۷ - ۲/۴) گرم در تن (شکل ۴-۲۷). همانند نمونه‌های آب و خاک در سه منطقه آذرشهر، قره‌آغاج و بستان آباد است.



شکل (۴-۲۶): غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک برداشته شده از اطراف چشمه‌های استان آذربایجان شرقی.

سنگ میزبان در منطقه آذرشهر تراورتن است که غلظت آرسنیک در نمونه خاک، سنگ و آب این منطقه بالا است.



شکل (۴-۲۷): غلظت آرسنیک در نمونه‌های سنگ استان آذربایجان شرقی.

۴-۲-۱-۶- منشأ آرسنیک در تراورتن

بی‌کربنات کلسیم به صورت محلول در بین سنگ‌های زیرین زمین در جریان است، زمانی که به سطح زمین می‌رسد، CO_2 خود را از دست داده و کربنات کلسیم به صورت نامحلول ته‌نشین می‌شود. در محیط‌های خشکی در دهانه چشمه‌های آهک‌ساز، کربنات کلسیم به دو صورت تراورتن و توف^۱ تشکیل می‌شود. بر اساس رابطه (۴-۱)، عامل اصلی تشکیل کربنات کلسیم خروج و مصرف CO_2 است. بنابراین هر عاملی که باعث خروج CO_2 شود، آهک یا کربنات کلسیم را بوجود می‌آورد (Fouke et al., 2000).



۱ - توف^۱ شامل بخش بزرگی از نهشته‌های آهکی آب‌های شیرین مربوط به اواخر کواترنر است (مختاری و همکاران، ۱۳۹۰).

عواملی مانند افزایش درجه حرارت، کاهش فشار، آشفته‌گی فیزیکی مانند تلاطم آب، فتوسنتز توسط گیاهان آبی، شکستگی و گسل خوردگی یا فعالیت‌های میکروبی با خارج کردن گاز CO₂ از آب باعث رسوب تراورتن می‌شوند. در تراورتن‌های متئوزن، منشأ گاز CO₂ سطحی است و به وسیله فعالیت ارگانیکی در خاک تشکیل می‌شود. در تراورتن‌های ترموزن، منشأ گاز CO₂ عمقی است و حاصل از فرآیندهای هیدرولیز، اکسایش، احیا، کربنات‌زدایی سنگ آهک و یا مستقیماً از گوشته بالایی (کربناتیت-ها) می‌باشد. تراورتن‌های ترموزن اساساً در مناطق آتشفشانی و گسلی و همراه با کانی‌های هیدروترمالی یافت می‌شوند (رحمانی جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۱). آب رسوب دهنده تراورتن‌های ترموزن، اساساً گرم و حمل کننده CO₂ ناشی از واکنش بین سیالات غنی از CO₂ و سنگ میزبان است. دیاتومه‌ها در بین اولین جلبک‌هایی قرار دارند که بر روی تراورتن‌ها شناسایی شده‌اند و با انجام فتوسنتز موجب حذف دی‌اکسیدکربن از آب، حالت فوق اشباعی چشمه‌های آبگرم نسبت به کربنات کلسیم و در نهایت رسوب تراورتن می‌شود. این جلبک‌ها سطح بالای H₂S را تحمل می‌کنند و به ندرت در چشمه‌های با دمای بالاتر از ۴۵ درجه سانتیگراد یافت می‌شوند. پوسته دیاتومه‌ها سیلیسی بوده، بنابراین چشمه‌های رسوب دهنده تراورتن باید از مقادیر کافی سیلیس محلول برخوردار باشند. همزمان با ته نشست آراگونیت، عناصر Ba و Sr به دلیل تشابه زیاد با کلسیم می‌توانند وارد ساختار آراگونیت شوند. میزان بالای آرسنیک و همراهی با مقادیر قابل توجه مس و روی تأییدی بر ترموزن بودن احتمالی رسوبات تراورتن است. آراگونیت در دمای بالاتر و در سرچشمه‌های آبگرم تشکیل می‌شود و با دور شدن از چشمه‌ها و پایین آمدن دما فقط کلسیت شکل می‌گیرد (اعلایی و همکاران، ۱۳۹۰).

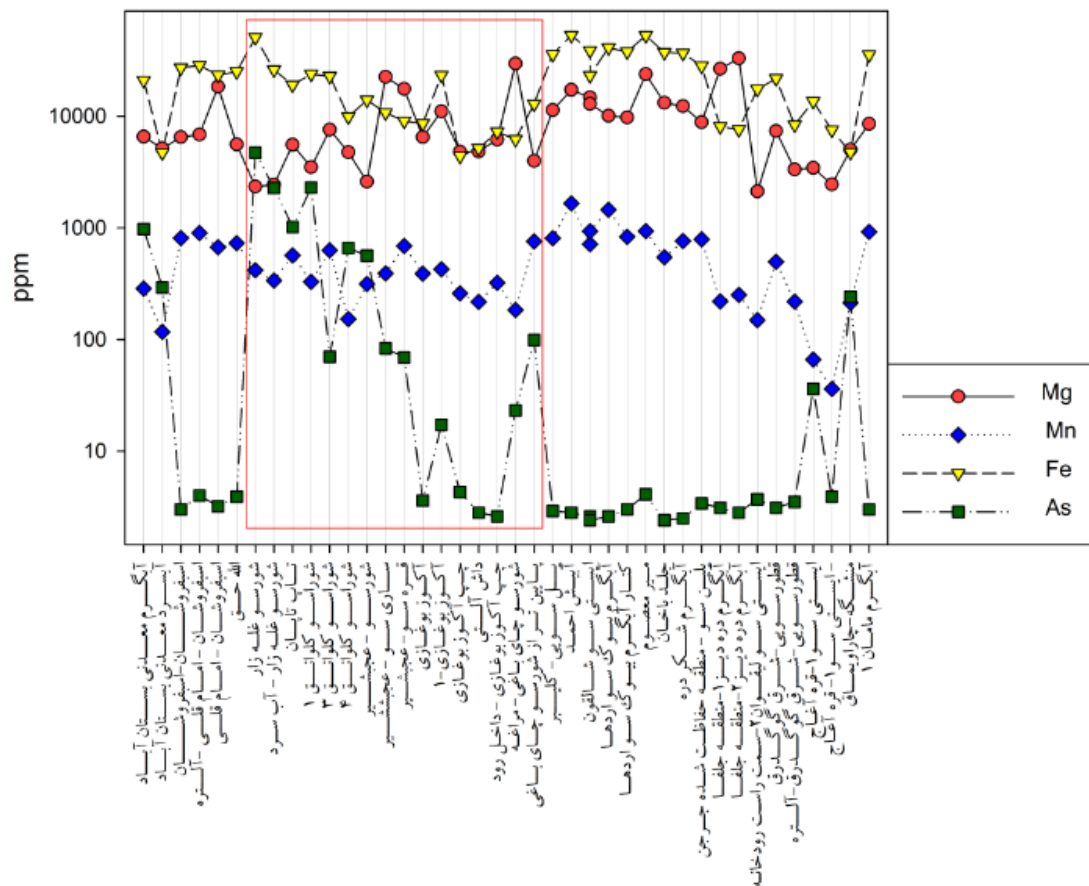
دیائرنز سریع آراگونیت به کلسیت، تشخیص اینکه کانی اولیه آراگونیت یا کلسیت است را مشکل می‌کند. آب‌های گرمابی غالباً استرانسیم بالایی دارند، بنابراین آراگونیت نیز می‌تواند استرانسیم بالایی داشته باشد. اما منیزیم بالا فقط در کلسیت مشاهده می‌شود. میزان منیزیم در کلسیت با تراورتن‌های ترموزن مطابقت نشان می‌دهد (Pentecost, 2005).

به طور کلی تجمع عناصر فرعی در آب‌های ترموژن به میزان قابل توجهی بیشتر از آب‌های دیگر است. علت آن شستشوی کافی، زمان مجاورت طولانی و فعالیت هیدروترمال می‌باشد که منجر به افزایش سرعت واکنش بین سنگ میزبان با آب‌های جوی گرم شده در اعماق و یا آب‌های هیدروترمال می‌شود. بیشتر آهن موجود در تراورتن در جازا می‌باشد که از آب‌های زیرزمینی حاوی یون‌های آهن در مجاورت با اتمسفر ته نشست پیدا می‌کند. متوسط میزان آهن و منگنز تراورتن‌ها، ترموژن بودن آن‌ها را نشان می‌دهد (Glover and Robertson, 2003).

با توجه به اینکه استان آذربایجان شرقی یک منطقه فعال تکتونیکی و لرزه خیز محسوب می‌شود، در اثر شکستگی‌ها و گسل خوردگی‌های ناشی از آن سیالات هیدروترمال غنی از CO_2 در برخی مناطق به سطح صعود کرده‌اند، طوری که طبق شکل (۳-۷) بالاترین میزان CO_2 محلول در آب در منطقه آذرشهر و عجب‌شیر مشاهده شده است. عموماً در مخازن کارستی هیدروترمال بر عکس مخازن کارستی معمولی منشأ CO_2 عمقی است و از واکنش‌های کربنات‌زدایی حاصل می‌شود. کارستی شدن هیدروترمال احتمال دارد در ارتباط با افزایش گرادیان ژئوترمال ناشی از فعالیت‌های ولکانیکی جوان باشد که نزدیکی منطقه آذرشهر، عجب‌شیر و مراغه به منطقه سه‌پند و حضور واحدهای سنگی ولکانیک می‌تواند شواهد این مسئله باشد.

بالا بودن میزان آرسنیک (شکل ۴-۲۷) در سنگ‌های آهکی مناطق آذرشهر، عجب‌شیر و مراغه، که مقدار این عنصر در منطقه آذرشهر نسبت به دو منطقه دیگر بالاتر است و توجه به این نکته که نمونه‌های تراورتن دارای میزان آرسنیک بیشتری نسبت به آهک‌ها هستند (پایین بودن آرسنیک شورسو کلوانق ۳، در منطقه آذرشهر)، بالا بودن میزان آرسنیک در تراورتن‌های این مناطق می‌تواند نشان دهنده منشأ عمقی CO_2 در چشمه‌های مورد بررسی باشد. از سوی دیگر همانطور که اشاره شد بالا بودن میزان منیزیم معمولاً در تراورتن‌های نوع کلسیت دیده می‌شود و پایین بودن میزان این عنصر در منطقه آذرشهر نسبت به دو منطقه دیگر می‌تواند نشان دهنده آراگونیتی بودن این تراورتن‌ها باشد که معمولاً نشان دهنده دمای بالاتر می‌باشد. هر چند که حضور منیزیم بالا در کلسیت‌ها خود نشان دهنده ترموژن

بودن آنهاست. از سوی دیگر حضور آهن، منگنز و تا حدودی مس و روی در نمونه‌های آذرشهر و مراغه و بصورت کمتر در عجب‌شیر (شکل ۴-۲۸ و ۴-۲۹) می‌توند نشانه ترموزن بودن تراورتن‌ها باشد.

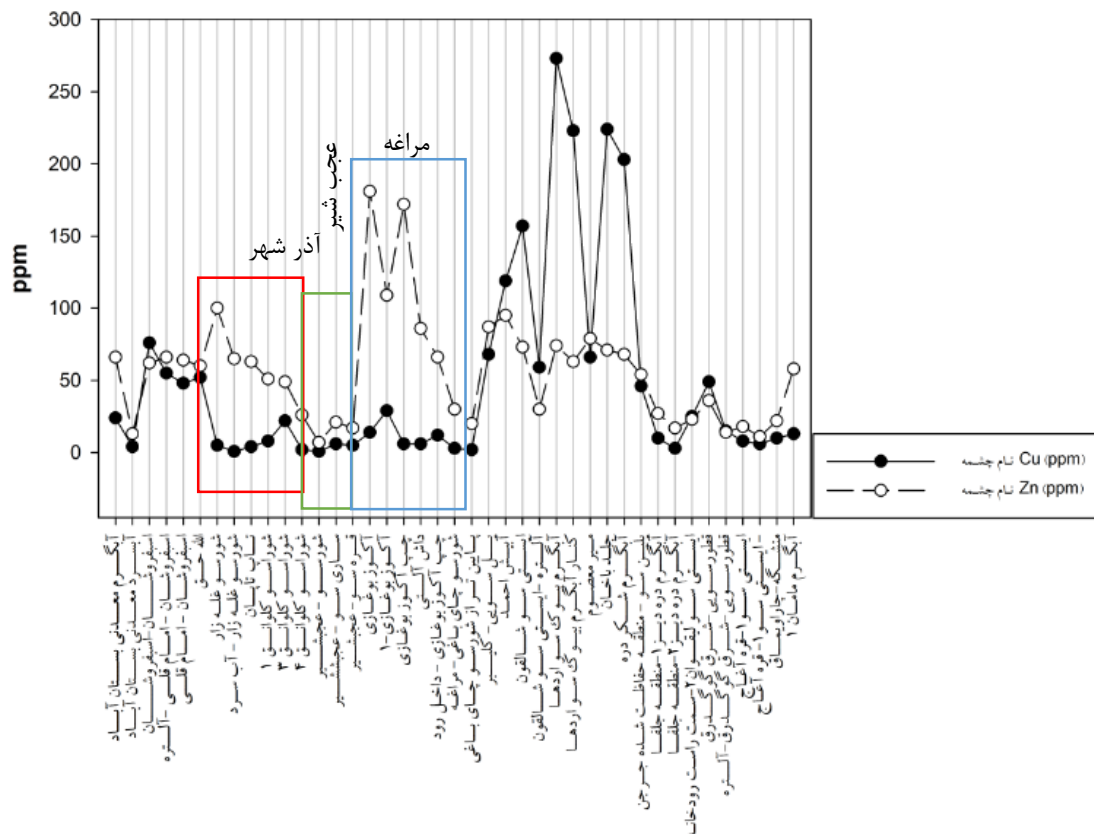


شکل (۴-۲۸): غلظت منگنز، آهن، منیزیم و آرسنیک در نمونه‌های سنگی مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی.
جدول (۴-۷): نتایج XRD و Clay fraction برای نمونه‌های سنگی آذربایجان شرقی.

سنگ‌شناسی	Clay Fraction	XRD	نام چشمه	منطقه	دمای چشمه
تراورتن	---	---	شورسو غله زار	آذرشهر	۲۵٫۹
تراورتن	---	---	شورسو غله زار (آب سرد)		۱۶٫۷
توف دگرسان شده	ایلیت (فرعی) + کلریت (فرعی)	کلسیت	تاپ تاپان (روستای نادین لو)		۲۲٫۴
تراورتن	---	---	شوراسو (کلوانق) ۱		۱۸٫۷
آهک	---	کلسیت و دولومیت	شوراسو (کلوانق) ۳		۱۵٫۶
آهک	---	کلسیت	شوراسو (کلوانق) ۴		۱۶٫۷
تراورتن	---	---	شورسو (گنبد)-عجبشیر	عجب‌شیر	۲۵٫۷
کنگلومرا با سیمان تراورتنی	---	---	ساری سو (گنبد)-عجبشیر		۱۴٫۲

ادامه جدول (۴-۷).

سنگ شناسی	Clay Fraction	XRD	نام چشمه	منطقه	دمای چشمه
برش با سیمان کربناتی	---	آنکریت و کلسیت	قره سو (کنار ساری سو) - عجیشیر	عجبشیر	۱۴
تراورتن	---	---	آکوز بوغازی	مراغه	۲۷,۵
تراورتن	---	---	آکوز بوغازی		۲۷,۵
برش	---	---	آکوز بوغازی		۲۷,۵
تراورتن	---	---	۷ متری چپ آکوز بوغازی		۲۶,۲
تراورتن	---	---	دش الی (۳۰ متری آکوز بوغازی)		۲۳,۶
تراورتن	---	---	ساحل چپ آکوز بوغازی (داخل رود)		۲۵,۳
برش با پرشدگی سیمان آهنی	---	---	شورسو (جای باغی - مراغه)		۱۶,۴
تراورتن	---	---	۵۰ متر پایین تراز شورسو جای باغی		۱۹,۵



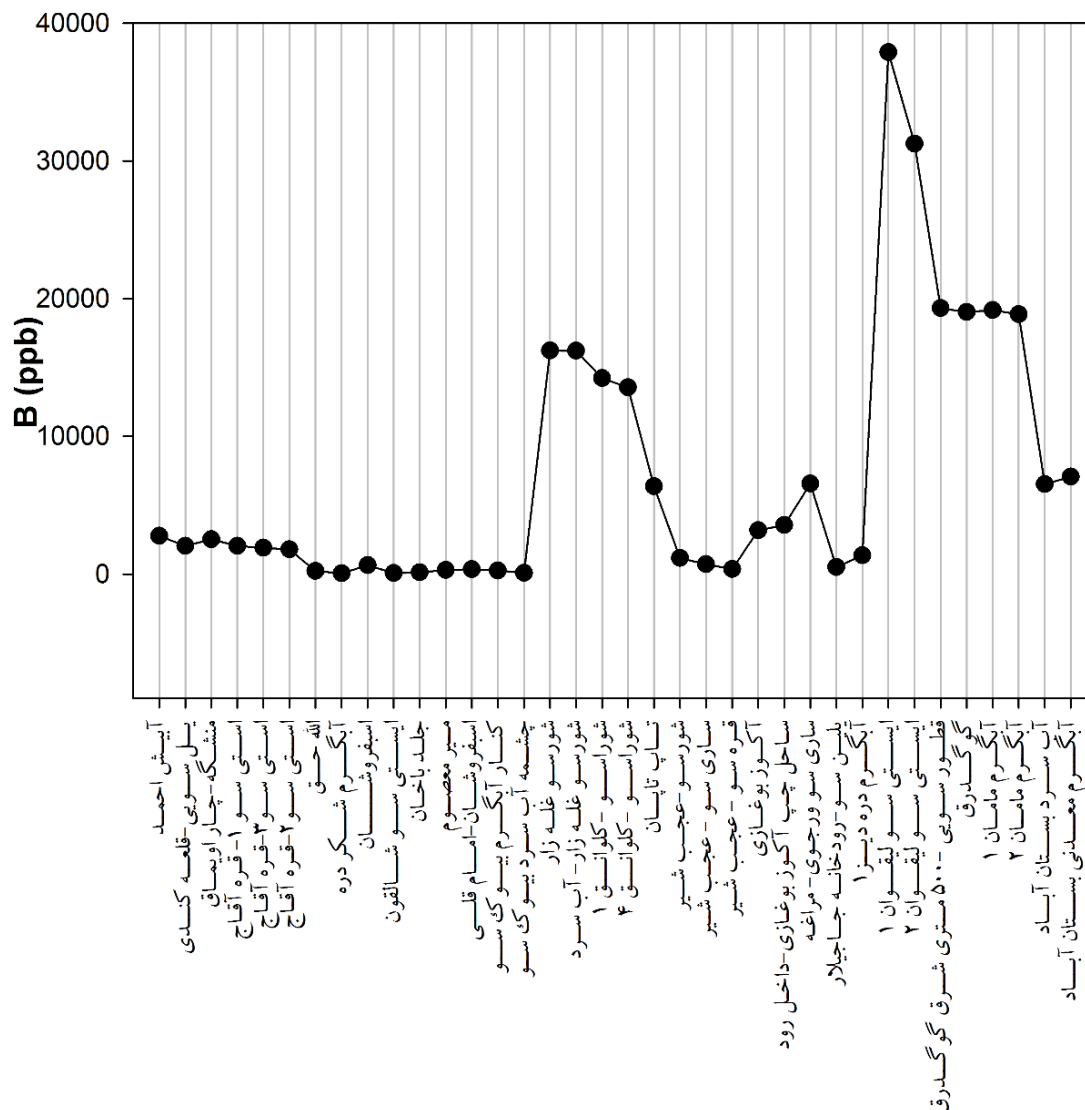
شکل (۴-۲۹): مقادیر لگاریتمی Cu، Zn در نمونه سنگ استان آذربایجان شرقی.

بور جز عناصری است که در مناطق زمین‌گرمایی مورد توجه است و در بسیار از مناطق زمین‌گرمایی دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است. همانطور که در شکل (۳-۹) نشان داده شده است، غلظت بور در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی از تابع نرمال تبعیت نمی‌کند و خصوصیت لاگ نرمال دارد.

تجربیات الیس و ماهون (۱۹۶۴) نشان می‌دهد که در فعل و انفعالات سنگ و آب داغ بور به شدت از سنگ و رسوبات به فاز آبی منتقل می‌شود، مطمئناً شرایط این کار تجربی شبیه سیستم هیدروترمال واقعی نیست. با این وجود این مطالعه نشان می‌دهد که B مانند Cl در سیالات حرارتی متحرک است.

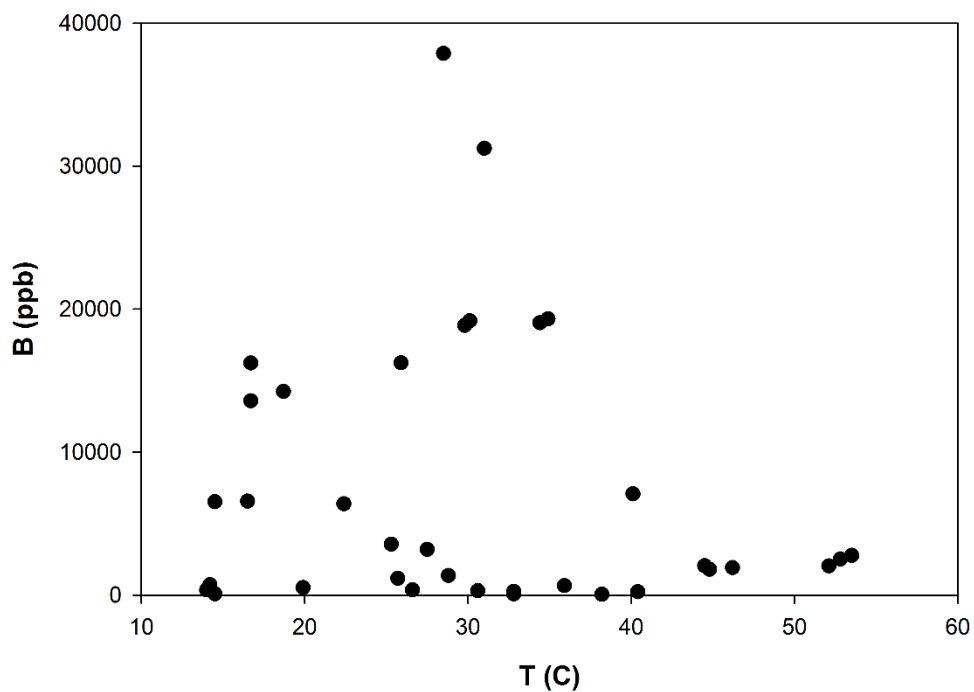
آرنورسون (۱۹۷۰) غلظت بور در سیالات هیدروترمال وابسته به عواملی از قبیل، غلظت این عنصر در سنگ‌ها مرتبط به سیال، مدت زمان ارتباط سنگ و سیال، میزان ترشح آب‌های سطحی در سیستم هیدروترمال، استمرار فعالیت هیدروترمال و منشأ دریایی دانسته است. همچنین گاهی اوقات غلظت این عنصر در سیال پایین است که می‌تواند به علت پایین بودن غلظت آن در سنگ مرتبط، سرعت بالای جریان آب، ارتباط ضعیف سنگ و سیال و مدت زمان کم ارتباط آن‌ها باشد.

بررسی غلظت بور در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد، بیشترین غلظت متوسط بور به ترتیب مربوط به منطقه لیقوان، هشت‌رود، میانه، آذرشهر و بستان آباد است و کمترین مقدار آن مربوط به منطقه سراب است (۴-۳۰).

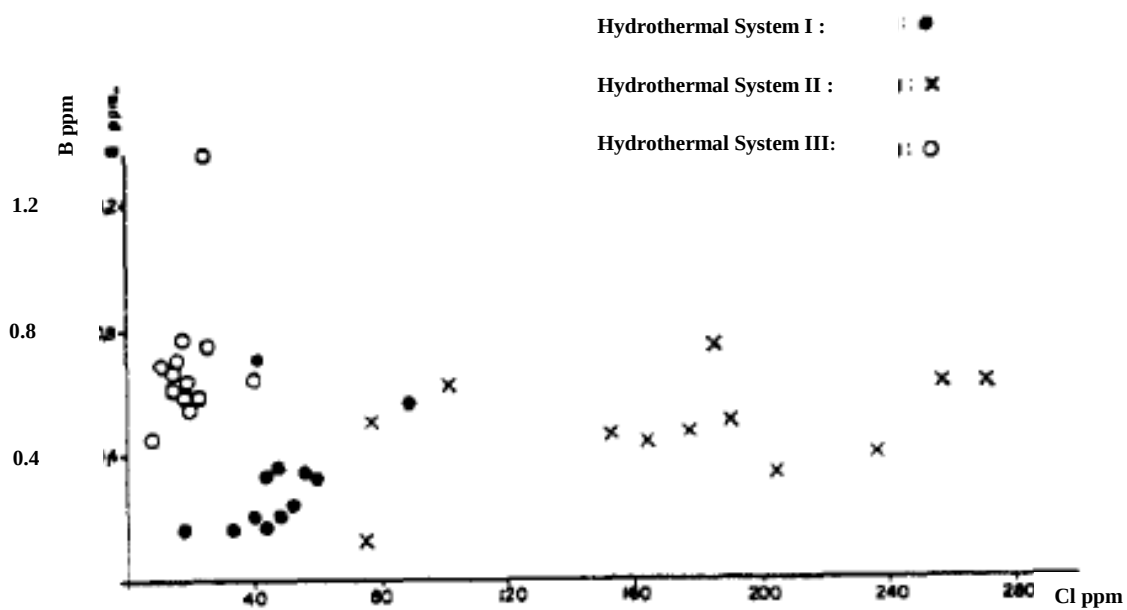


شکل (۴-۳۰): غلظت بور در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

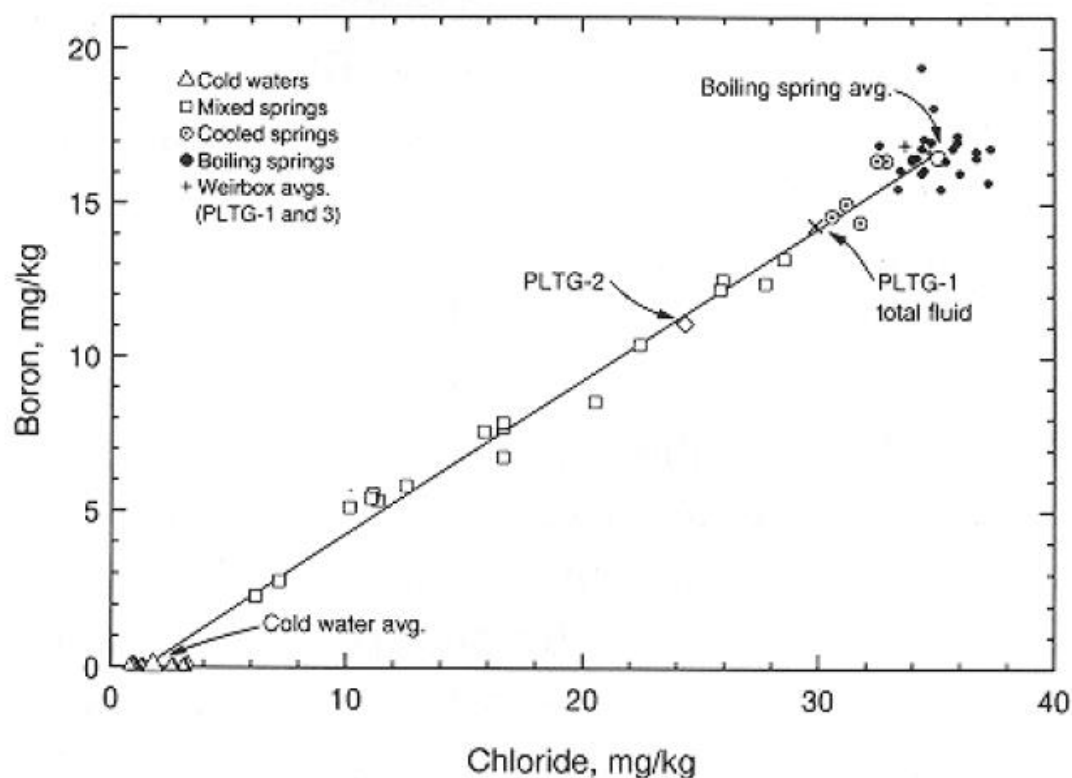
بررسی همبستگی بین بور و دما حاکی از همبستگی پایین این است (ضریب همبستگی ۰/۰۶۳) (شکل ۴-۳۱). آرنورسون (۱۹۷۰) در منطقه ژئوترمال ایسلند همبستگی بالای B و Cl را نشان داد (۴-۳۲) که این موضوع بعدها توسط جانیک و همکاران (۱۹۹۱) در چشمه‌های آبگرم پلاتانارس هندوراس مورد بررسی قرار گرفت و منجر به یک مدل برای آب‌ها با دمای مختلف گردید (۴-۳۳).



شکل (۴-۳۱): نمودار پراکندگی B-T در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی.



شکل (۴-۳۲): نمودار پراکندگی B-Cl نمونه‌های آب در منطقه لولند در کشور ایسلند (b) (Amorsson, 1970).

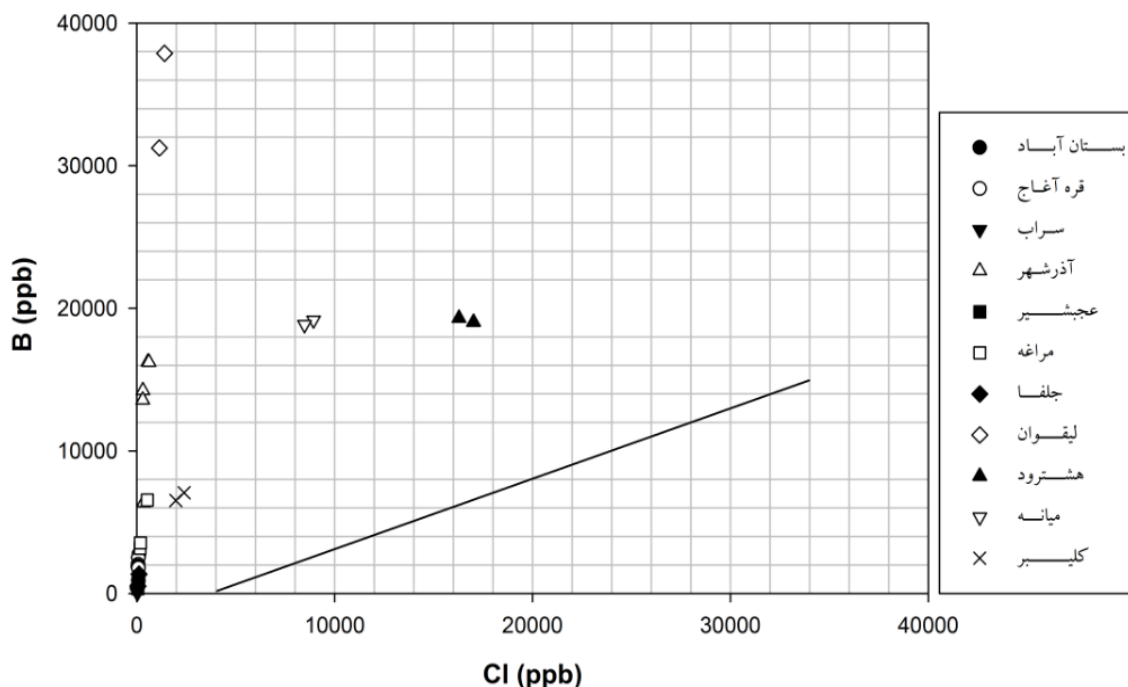


شکل (۴-۳۳): بررسی پراکندگی B-Cl نمونه‌های آب در منطقه پلاتانارس هندوراس (Janik et al., 1991).

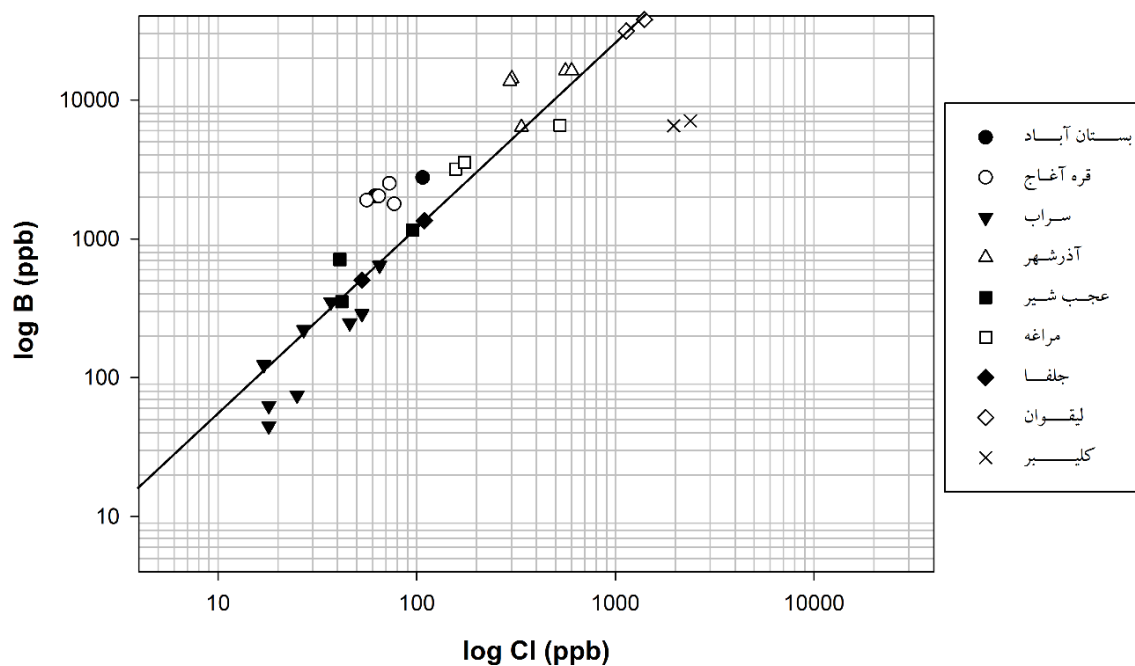
طبق شکل (۴-۳۳) میانگین مقدار Cl و B در چشمه‌های در حال جوش بیشتر از چشمه‌های سرد است و چشمه‌های سرد شده (اختلاط یافته) در منطقه میانی قرار گرفته‌اند. این نمودار برای نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی (شکل ۴-۳۴) رسم شد. مطابق نمودار بدست آمده در استان آذربایجان شرقی مقادیر کلر در چشمه‌های این منطقه در قیاس با چشمه‌های پلاتانارس هندوراس بسیار پایین می‌باشد این در حالی است که میزان بور در برخی مناطق آذربایجان شرقی بالاتر از منطقه پلاتانارس است (لیقوان، هشتروود و میانه). احتمالاً این موضوع به علت اختلاط شدید آب‌های حرارتی و آب‌های زیرزمینی و بالا بودن میزان بور در نمونه‌های سنگی این منطقه می‌باشد (البته نمونه‌های سنگ و خاک آذربایجان شرقی برای B آنالیز نشده‌اند).

بررسی همبستگی بین B و Cl در استان آذربایجان شرقی نشان دهنده همبستگی بالای این دو عنصر است، طوریکه ضریب همبستگی بین آن‌ها ۰/۹۵ می‌باشد. با حذف نمونه‌های مناطق هشتروود و میانه

نمودار لگاریتمی پراکندگی Cl-B در چشمه‌های آذربایجان شرقی در شکل (۴-۳۵) آورده شده است که همانطور که در شکل دیده می‌شود مناطق لیقوان، کلیبر و آذرشهر بیشترین مقادیر را نشان می‌دهند.



شکل (۴-۳۴): تغییرات B-Cl بر پایه مدل جانیک در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

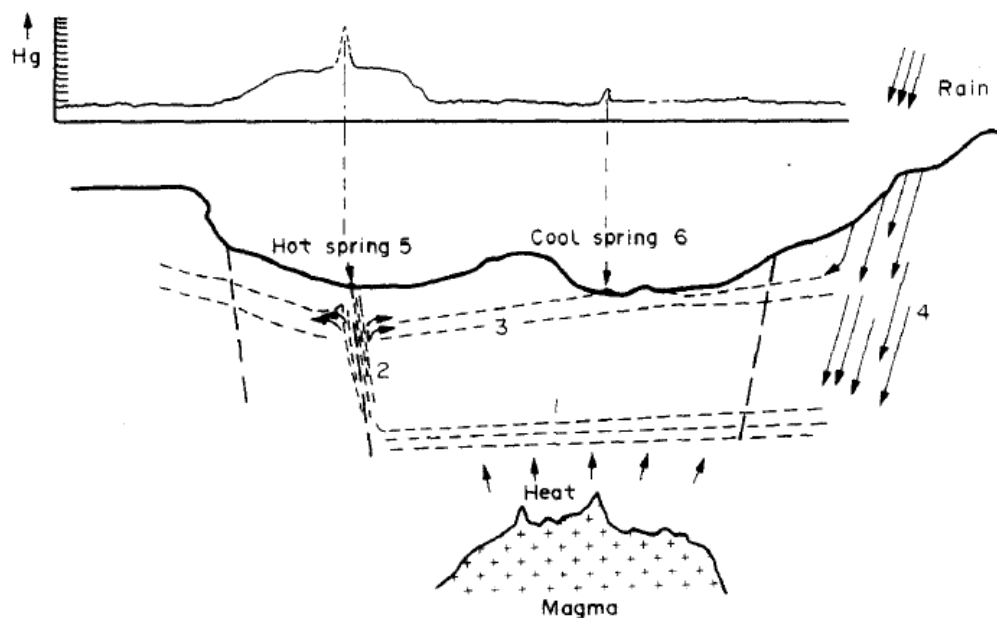


شکل (۴-۳۵): نمودار لگاریتمی پراکندگی B-Cl در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

شکل (۳۵-۴) نشان دهنده این موضوع است که این سه منطقه در محدوده جوشش قرار گرفته‌اند که دمای بالای منطقه کلیبر و ليقوان این مدعا را ثابت می‌کند. اما به طور کلی میزان رقیق‌شدگی شدید چشمه‌های آبگرم در استان آذربایجان شرقی عامل کاهش توأمان غلظت بور و کلر است.

۴-۲-۳- جیوه (Hg)

غنی‌شدگی جیوه در نمونه‌های خاک و گاز خاک‌های چندین منطقه زمین‌گرمایی گزارش شده است. بررسی غلظت جیوه در منطقه زمین‌گرمایی غرب آمریکا سه محدوده برای غلظت جیوه معرفی کرده که عبارتند از: بالاتر از ۱۰۰ گرم در تن به عنوان پیک معرفی شد که در شکاف آتشفشان‌ها، اطراف چشمه‌های آبگرم دیده می‌شود، مقادیر بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در تن به عنوان مقادیر هاله معرفی شده‌اند که در اطراف مناطق پیک و نواحی جابجایی زمین‌گرمایی کم عمق دیده می‌شود که حد زمینه (۴۰ - ۷) میلی‌گرم در تن است (Varekamp and Buseck, 1983).



شکل (۳۶-۴): نمایش شماتیک از تغییرات غلظت جیوه با توجه به موقعیت چشمه آبگرم و آبسرد (Varekamp and Buseck, 1983).

بینگو و همکاران (۱۹۸۶) حضور جیوه در خاک را نشانه منطقه زمین گرمایی می داند البته آنومالی بور

در خاک می تواند اطمینان بخش ساختار زمین گرمایی باشد (Bingqui et al., 1986).

مطالعات بینگو و همکاران (۱۹۸۹) در منطقه تنگچونگ^۱ در استان یانان^۲ چین که یکی از مناطق

معروف زمین گرمایی در این کشور است، مقادیر Hg را در سنگ، خاک، رسوبات آبراهه‌ای، آب و رسوبات

مظهر چشمه بصورت جدول (۴-۸) بیان کرده است (Bingqui et al., 1989).

جدول (۴-۸): مقادیر برخی از عناصر که بصورت آنومالی و حد زمینه نشان داده شده است (Bingqiu et al., 1989).

Medium	Hg (ppb)		As (ppm)		Sb (ppm)		Bi (ppm)		B (ppm)		No. of samples
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Soil	28	149	4.2	38	0.3	3.6	0.2	1.1		40	51
Rock	7	91	0.5	2.3	0.04	0.46	0.05	2.0	1.6	7.5	11
Altered rock	38	1517	1.6	36.4	0.3	7.2	0.4	0.4	3.7	7.0	6
Stream sediments	13	68			5.7	14.7					155
Water	57	203	11	437	1	25					7
Precipitates of hot spring		125		303		11		0.8		50	3

A = background region; B = anomalous region.

و مقادیر برخی عناصر در سه منطقه زمین گرمایی در چین بصورت جدول (۴-۹) است:

جدول (۴-۹): مقادیر برخی عناصر در سه منطقه زمین گرمایی چین (Bingqiu et al., 1989).

Region	Element parameters ¹	No. of samples	Hg (ppb)	As (ppm)	Sb (ppm)	Bi (ppm)	B (ppm)	Temp. thermal water (°C)
Xiaotangshan	1	90	84-700	10-22.5	0.7-1.8	0.5-0.7	30-50	40-60
	2		194	12.6	0.8	0.6	32	
	3		7.2	2.3	2.5	2.0	1.6	
Tengchong	1	44	62-480	10- > 400	0.7- > 30	0.5-5	30-60	
	2		149	38	3.6	1.1	40	
	3		5.4	9.3	12	5.5	3.8	
Yangbajing	1	117	4- > 1600	30-98	1.1-243	1-2.1	100-1600	140
	2		265	105	16.7	1.4	704	
	3		14	6.5	21.8	2.8	19.4	

¹ 1 = range of anomalous contents; 2 = anomalous average value; and 3 = anomaly contrast.

۱- Tengchong

۲ - Yunnan

مطالعات بینگو و هوئی (۱۹۹۵) که در اکتشاف مناطق زمین‌گرمایی در چین صورت پذیرفت، جیوه را عنصری معرفی کرد که در نمونه‌ها خاک دارای غلظت بالایی است و ارتباط مستقیم با دما دارد. همچنین میزان این عنصر در نمونه‌های دگرسان شده بیشتر از نمونه‌های غیر دگرسان است و می‌توان در رسوبات اطراف چشمه‌های آبگرم غلظت بالای این عنصر را مشاهده کرد، از این رو این عنصر را می‌توان به عنوان یکی از عناصر معرف مناطق زمین‌گرمایی معرفی کرد (Bingqui and Hui., 1995).

در مطالعات پاک و قوامی (۱۳۹۲)، رودسری و مختاری (۱۳۹۲) روی رسوبات آذربایجان شرقی نیز به اهمیت جیوه به عنوان یک عنصر معرف مناطق زمین‌گرمایی در این استان اشاره شده است. میانگین غلظت Hg در انواع سنگ و خاک‌های مختلف در جدول زیر آورده شده است (Hooda, 2010):

جدول (۴-۱۰): میانگین و حدود جیوه در برخی از سنگ‌ها و خاک‌ها (Hooda, 2010).

Rock or soil type	Range of concentrations (mg kg ⁻¹)	Mean concentration (mg kg ⁻¹)
Crust/lithosphere	0.05–0.08	
Granite		0.08
Basalt	0.01–0.12	
Shale	0.18–0.50	
Limestone	0.05–0.16	
Sandstone	0.03–0.29	
Coal	0.01–0.021	
Podzols and sandy soils	0.01–0.95	0.06
Desert sands	0.008–0.32	0.06
Loamy soils	0.01–0.78	0.13
Soils developed on glacial tills	0.02–0.36	0.06
Forest soils	0.02–0.58	0.14
Paddy soils	0.02–1.00	0.30
Volcanic soils	0.03–0.10	0.08

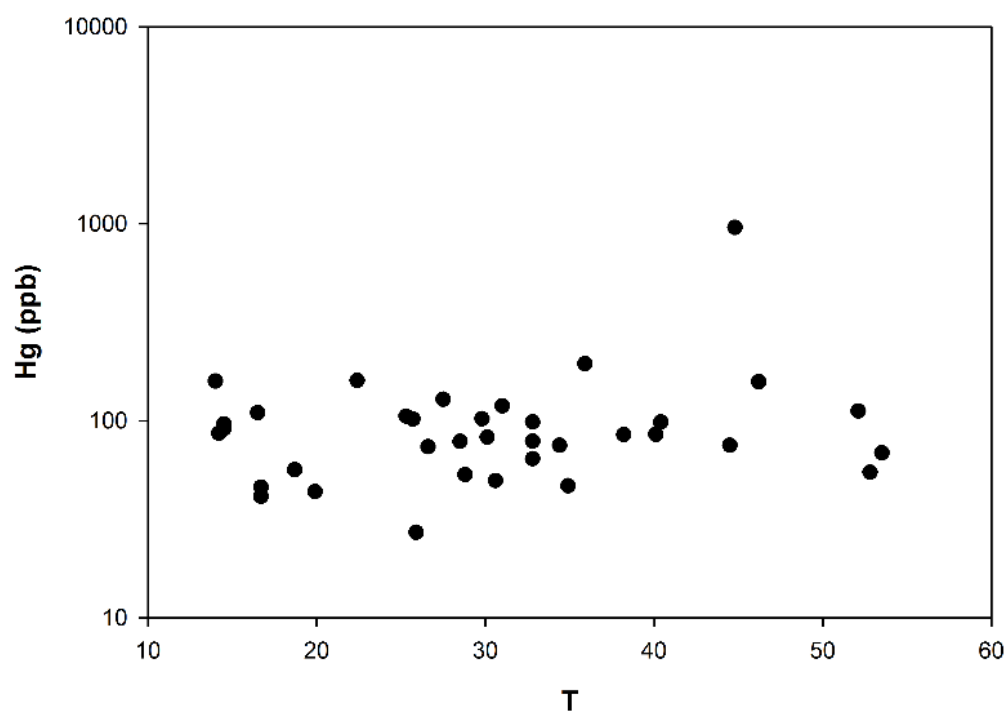
مطالعه مقادیر جیوه در سنگ، خاک، رسوبات مظهر چشمه و نمونه‌های آب چشمه‌های آبگرم، آبسرد و آب رودخانه استان آذربایجان شرقی صورت پذیرفت. حدود جیوه در هر یک از موارد بالا بصورت جدول (۴-۱۱) است:

جدول (۴-۱۱): غلظت جیوه در نمونه‌های مختلف استان آذربایجان شرقی (تمامی اعداد به ppb ذکر شده است).

نمونه‌های سنگی اطراف چشمه‌ها	۲۷/۰۴ – ۱۹۴/۸۸	
نمونه‌های خاک و رسوبات اطراف چشمه‌ها	۳۶۲/۵۳ – ۲۱۹۱/۲	
نمونه‌های آب (آبگرم، آبسرد و رودخانه)	(۴۰-۵۰) C	>۰/۱ – ۱/۴
	(۳۰-۴۰) C	۰/۳ – ۴۵
	(۲۰-۳۰) C	>۰/۱ – ۴۲
	(۱۰-۲۰) C	>۰/۱ – ۱۴

بررسی غلظت جیوه در نمونه‌های آب همبستگی پایین این عنصر با دما را نشان می‌دهد (شکل ۴-۳۷).

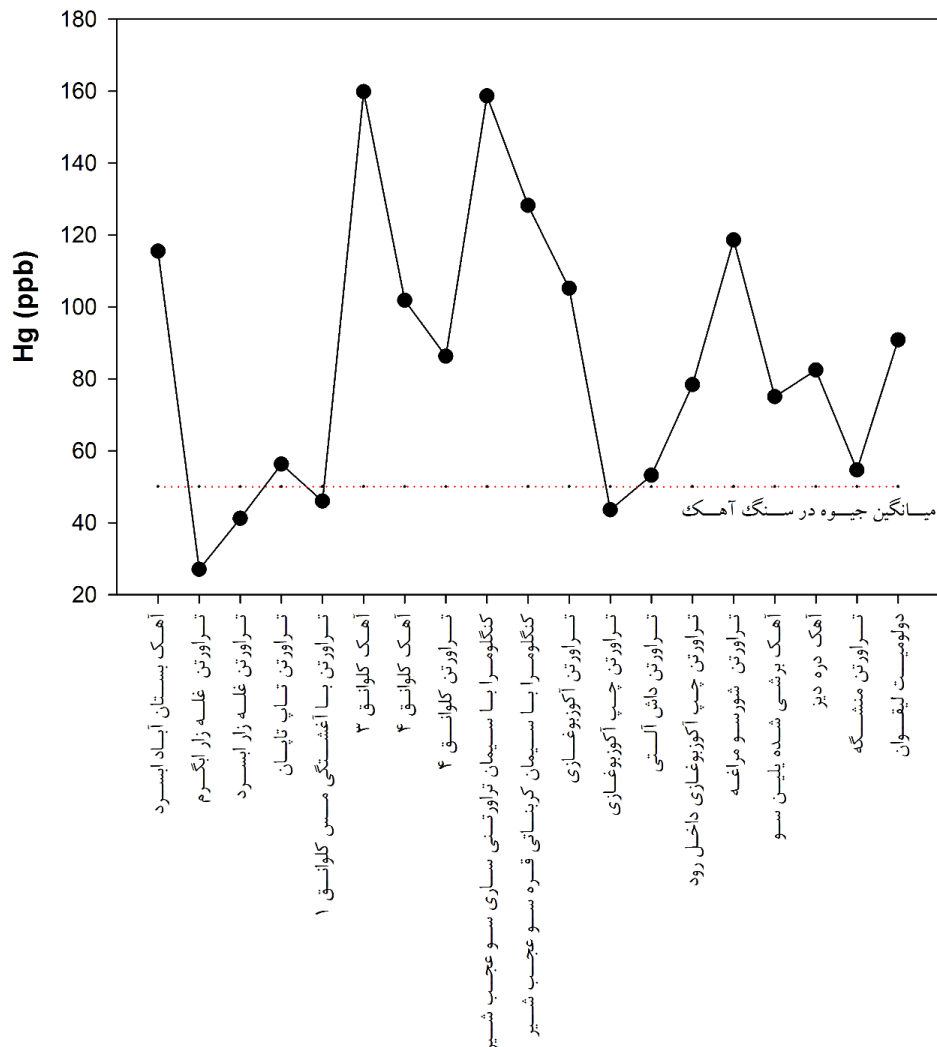
که نشان دهنده تأثیر عوامل متعددی در غلظت این عنصر به صورت محلول است.



شکل (۴-۳۷): نمودار جیوه بر دما در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

بررسی غلظت جیوه در انواع سنگ‌های استان آذربایجان شرقی صورت پذیرفت که در بیشتر موارد نتیجه خاصی حاصل نشد. نمونه سنگ برداشته شده از محدوده اطراف چشمه‌های مناطق آذرشهر، عجب‌شیر،

مراغه و برخی از نمونه‌های بستان آباد، ليقوان، قره‌آقاج و جلفا از نوع آهکی هستند (شکل ۴-۳۸). همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در اکثر موارد جیوه دارای غلظت بیشتری است جز چشمه‌های شورشو غله‌زار، تاپ تاپان و سمت چپ آکوزبوغازی که تا حدی تهی‌شدگی جیوه نشان می‌دهند.

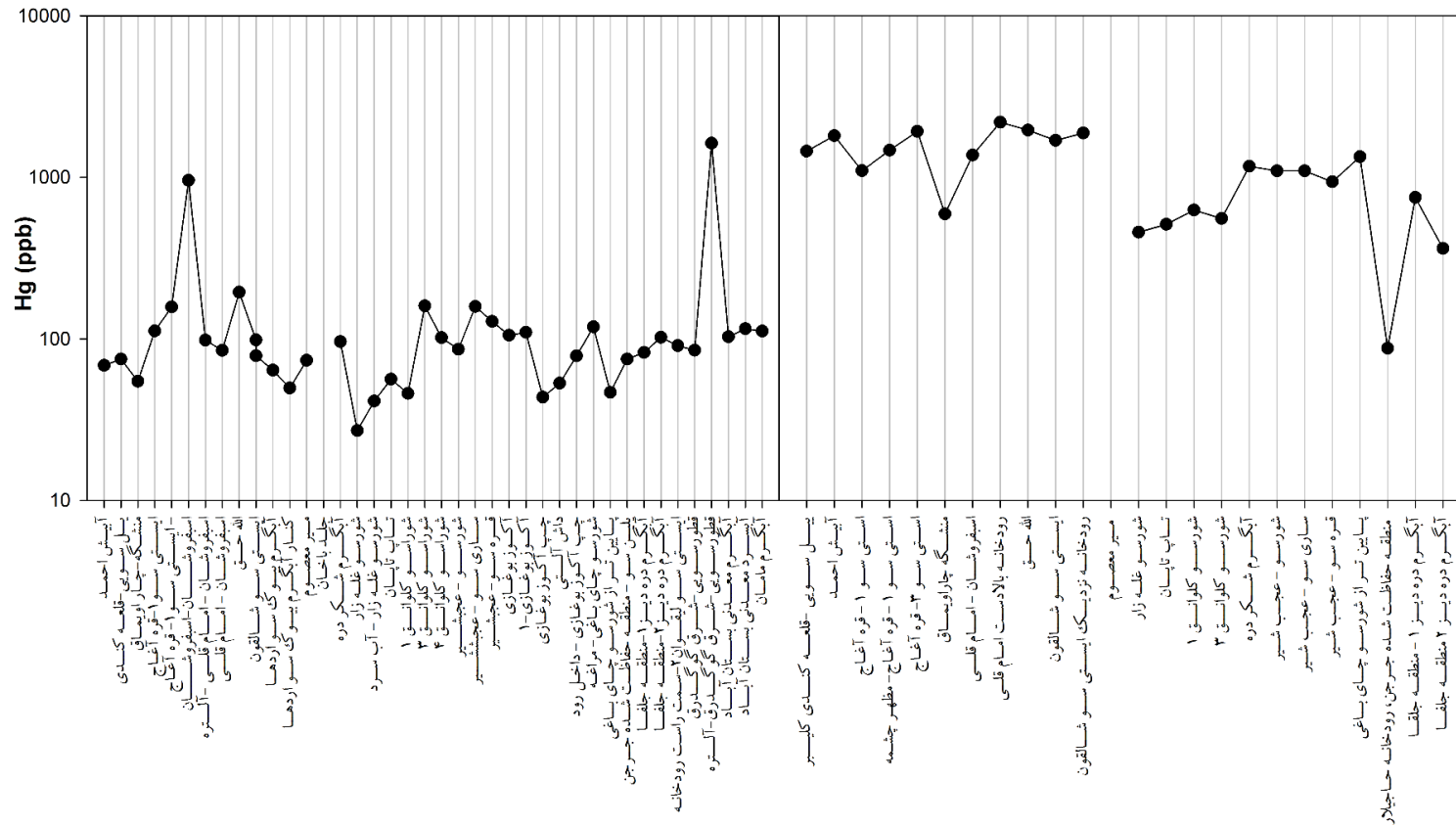


شکل (۴-۳۸): غلظت جیوه در نمونه‌های آهکی استان آذربایجان شرقی.

مقایسه غلظت جیوه در نمونه‌های سنگی استان آذربایجان شرقی با مقادیر استاندارد جیوه در سنگ‌ها (جدول ۴-۱۰) غنی‌شدگی خاصی در سنگ‌ها صورت نپذیرفته است. جیوه به علت نامحلول بودن و چگالی بالا معمولاً در خاک باقی می‌ماند (Jonasson, 1970) (Landa, 1978). بررسی و مقایسه غلظت جیوه در نمونه‌های خاک و سنگ در آذربایجان شرقی نیز این موضوع را اثبات می‌کند (شکل ۴-۳۹).

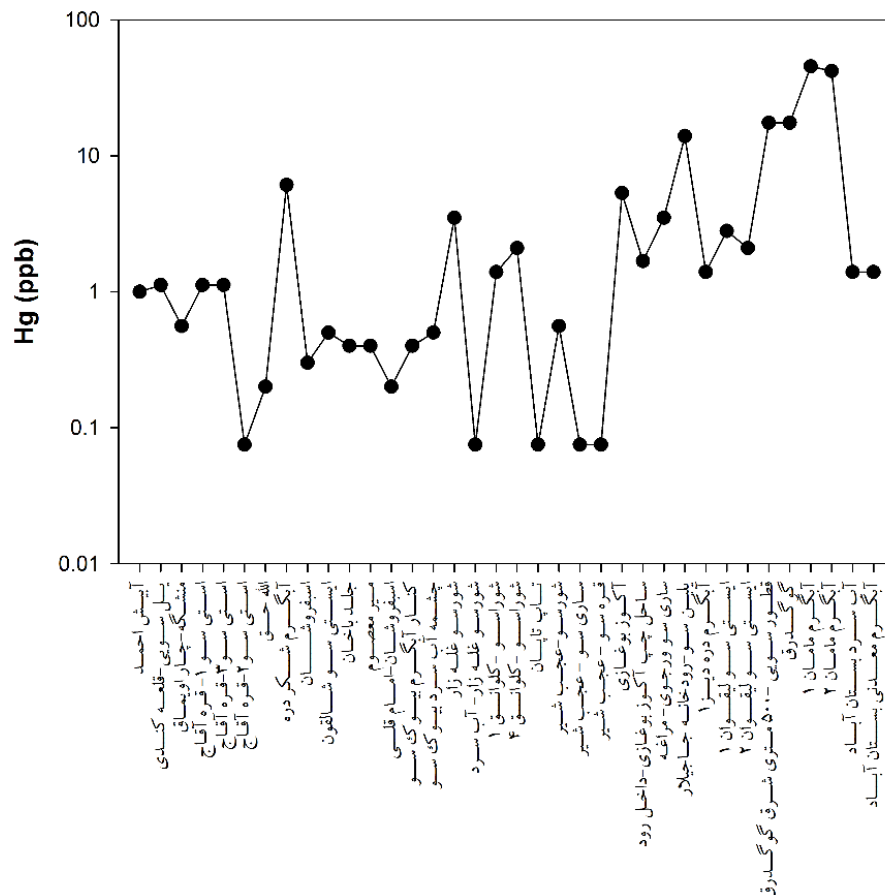
جیوه - خاک

جیوه - سنگ



شکل (۴-۳۹): غلظت جیوه در نمونه‌های سنگ و خاک استان آذربایجان شرقی.

پایین‌ترین غلظت جیوه مربوط به منطقه آذرشهر است که به طور نسبی هم در نمونه‌های آب و هم در نمونه‌های سنگ قابل مشاهده است. این در حالی است که در برخی از چشمه‌های این منطقه مانند چشمه آبگرم شورسو غله‌زار میزان جیوه نسبتاً بالاست (شکل ۴-۴۰).



شکل (۴-۴۰): غلظت جیوه در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

به طور کلی غلظت جیوه در نمونه‌های خاک بالاتر از نمونه سنگ در منطقه آذربایجان شرقی است که بیشترین غلظت مربوط به منطقه قره آغاج و آبیش احمد است. این در حالی است که بیشترین غلظت در نمونه‌های آب مربوط به منطقه میانه و هشتروند است و نمونه‌های دگرسان شده غلظت بالاتری از جیوه را نشان می‌دهد.

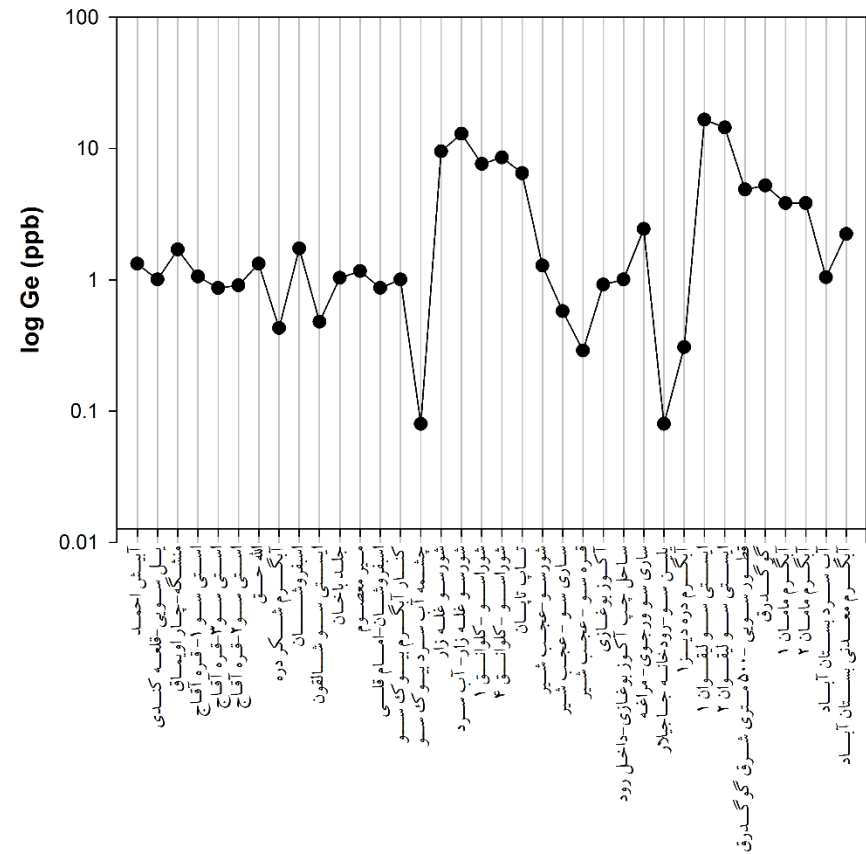
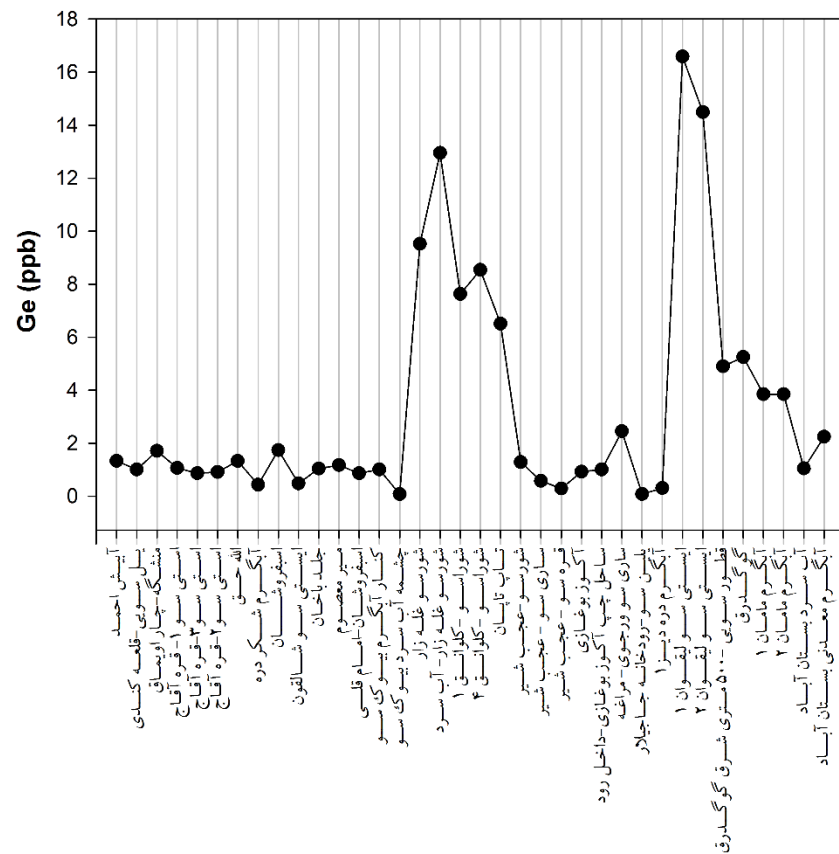
۴-۲-۴ ژرمانیم (Ge) و گالیم (Ga)

گالیم و ژرمانیم از عناصر کمیاب آب‌های ژئوترمال هستند. این دو عنصر خصوصیات شیمیایی شبیه به Al و Si دارند. ژرمانیم معمولاً در آب‌های زمین‌گرمایی غنی‌شدگی نشان می‌دهد به طوری که در آب اقیانوس فقط ۰/۰۶ میلی‌گرم بر تن ژرمانیم حضور دارد، در مقابل مطالعات و بررسی‌های انجام شده از مناطق مختلف زمین‌گرمایی غلظت بالاتر این عنصر را در آب‌های زمین‌گرمایی نشان می‌دهد به طور مثال آب‌های ژئوترمال ایسلند ۲-۳۰ میلی‌گرم بر تن، آب‌های زمین‌گرمایی ژاپن ۴۳/۸ - ۰/۴ میلی‌گرم بر تن، آب‌های زمین‌گرمایی ویچی فرانسه ۲۰-۲ میلی‌گرم بر تن می‌باشد. این در حالیست که غلظت گالیم معمولاً پایین‌تر است بطوریکه غلظت گالیم در برادلند و وایراکی نیوزلند حدود ۰/۶-۰/۲ میلی‌گرم بر تن و در برخی آب‌های ژئوترمال ژاپن ۷۲-۱۱/۰ میلی‌گرم بر تن است (Elmi, 2009).

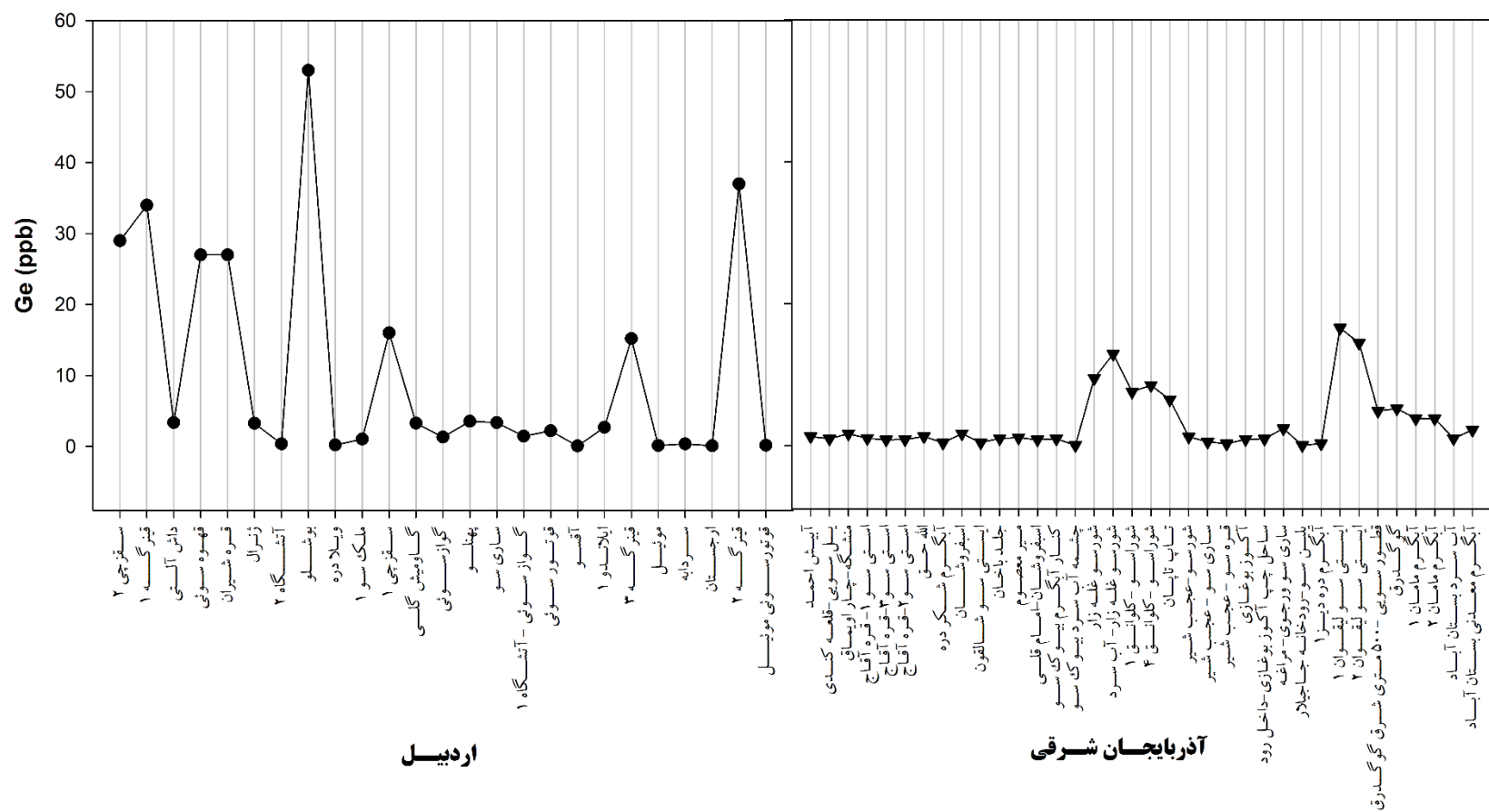
غلظت ژرمانیم در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی ۱۶/۵۹-۰/۰۵ میلی‌گرم بر تن است و برای گالیم ۵/۷-۰/۰۵ میلی‌گرم بر تن است. با توجه به شکل (۴-۴۱) بیشترین مقدار ژرمانیم به ترتیب مربوط به مناطق لیقوان و آذرشهر است. برای آشکار شدن بهتر آنومالی در دیگر مناطق از نمودار لگاریتمی نیز استفاده شده است.

غلظت ژرمانیم در دو منطقه میانه و هشت‌رود نسبت به دیگر مناطق استان آذربایجان شرقی تا حدودی بالاتر است. مقایسه غلظت Ge در چشمه‌های آبگرم اردبیل و آذربایجان شرقی نشان دهنده بالاتر بودن غلظت این عنصر در منطقه زمین‌گرمایی اردبیل است (شکل (۴-۴۲)).

مطالعات (a) Arnorsson (1970) همبستگی مثبت بین Si و Ge را در آب‌های حرارتی نشان می‌دهد. البته گاهی اوقات در سیالات دما بالا کاهش Si با کاهش Ge همراه نیست. تحرک Ge در آب‌های حرارتی می‌تواند توسط Ca کنترل شود و گاهی اوقات حضور Ca همبستگی بین Si و Ge را افزایش می‌دهد.

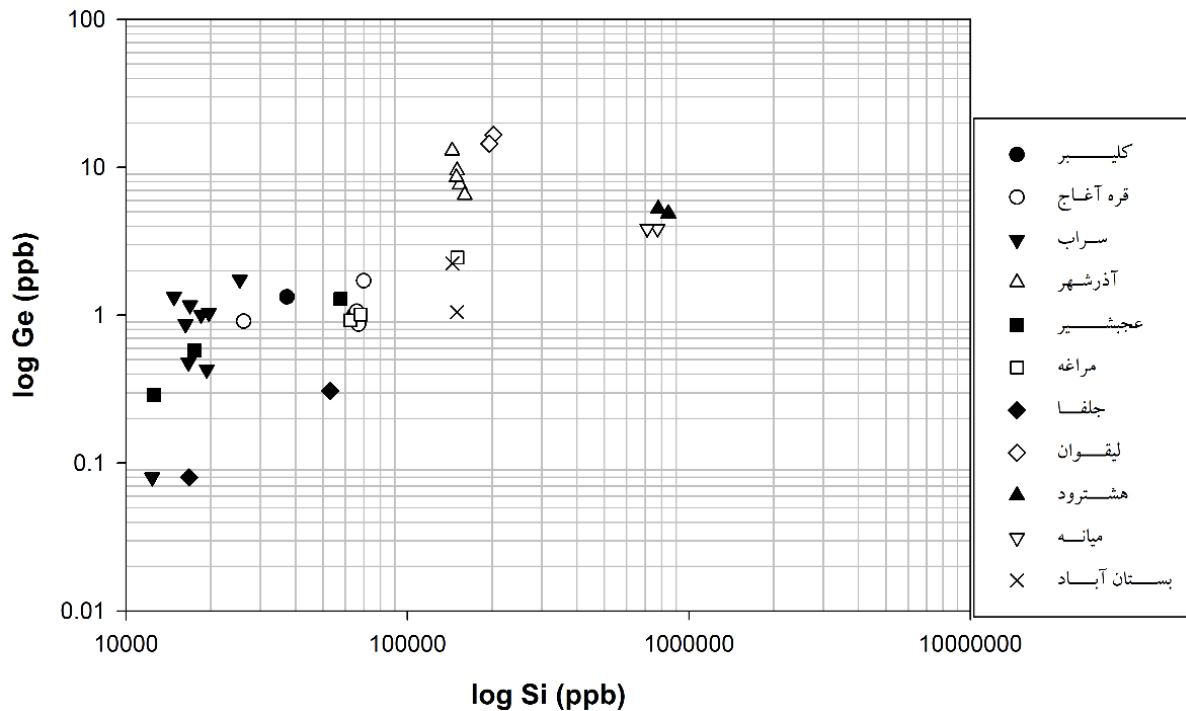


شکل (۴-۴۱): غلظت ژرمانیم در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.



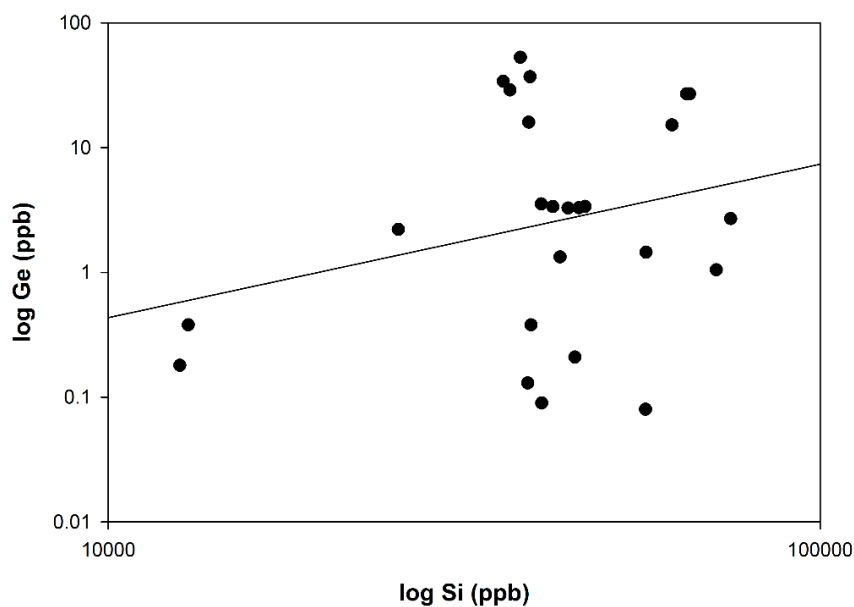
شکل (۴-۴۲): مقایسه Ge در چشمه‌های آبگرم استان آذربایجان شرقی و استان اردبیل.

بررسی همبستگی Si و Ge در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی همبستگی بالای این دو عنصر را نشان می‌دهد (ضریب همبستگی ۰/۷۷) و همبستگی این دو عنصر در نمونه‌های آب استان اردبیل ضعیف می‌باشد (شکل‌های ۴-۴۳ و ۴-۴۴).

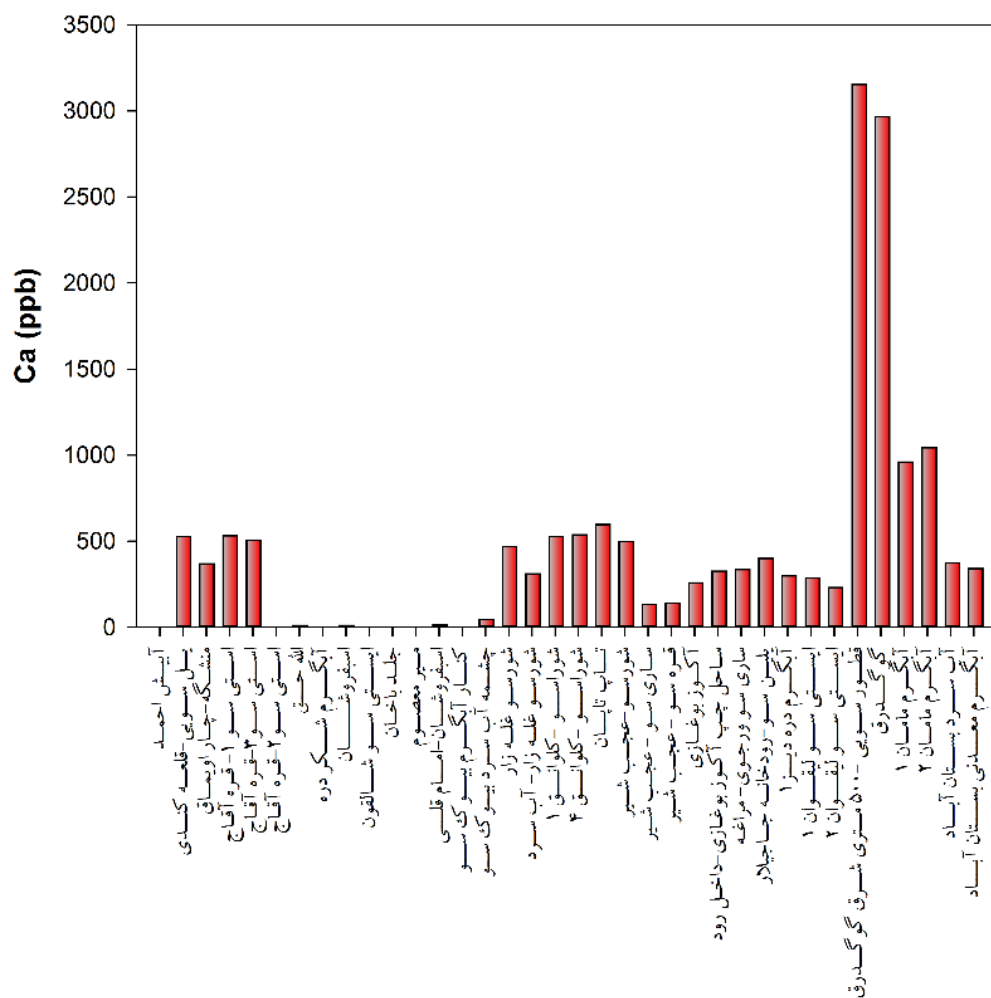


شکل (۴-۴۳): همبستگی مثبت بین Si و Ge در چشمه‌های آذربایجان شرقی.

مطابق شکل (۴-۴۳) همبستگی مثبت ضعیفی بین Si و Ge در بیشتر مناطق استان آذربایجان شرقی دیده می‌شود. در برخی مناطق مانند سراب و تا حدودی عجبشیر و ليقوان که غلظت Ca کم است و همبستگی کمتری بین Si و Ge دیده می‌شود (شکل ۴-۴۵). همبستگی Si و Ge در منطقه اردبیل کمتر از آذربایجان شرقی است (شکل ۴-۴۴).

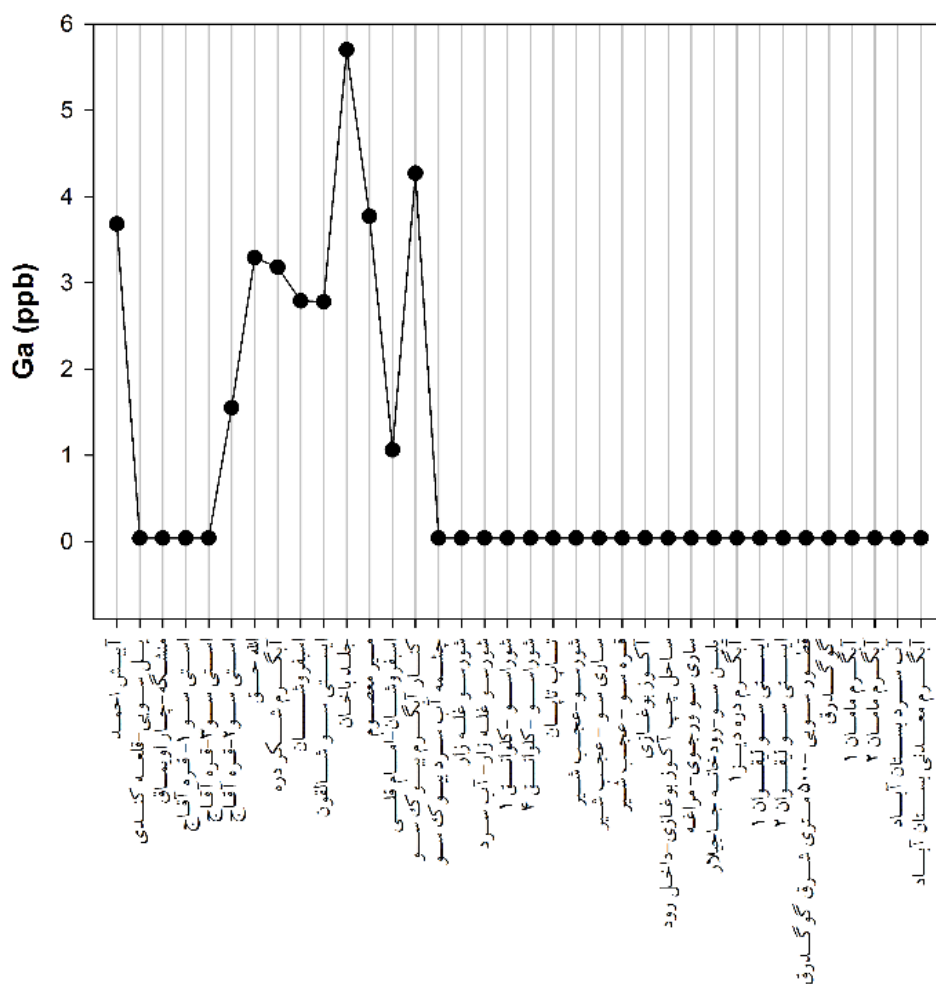


شکل (۴-۴): همبستگی بین Si و Ge در چشمه‌های آبگرم استان اردبیل.



شکل (۴-۵): غلظت Ca در چشمه‌های آذربایجان شرقی.

غلظت گالیم به ترتیب در منطقه سراب، چشمه آبیش احمد در کلیبر و ایستی سو ۲ منطقه قره‌آغاج دارای بیشترین مقدار است و در اکثر مناطق استان آذربایجان شرقی غلظت این عنصر کمتر از حد تشخیص دستگاه است (شکل ۴-۴۶).



شکل (۴-۴۶): غلظت گالیم در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتایج

۱- عناصر نادر خاکی در نمونه‌های آب استان اردبیل نیز از الگوی تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک و غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین پیروی می‌کند که مطابق مناطق هیدروترمال است. سریم در تمامی چشمه‌های آنومالی منفی نشان می‌دهد که نشان دهنده میزان بالای اکسیژن و شباهت نمونه‌های آب به آب‌های سطحی دارد. هر چند سطح بالای آلتراسیون هیدروترمال در منطقه خود می‌تواند دلیلی بر تهی‌شدگی سریم در نمونه‌های آب چشمه‌ها باشد.

۲- غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی بین (۰/۶-۲۰۸۷/۶۸) میلی‌گرم بر تن که نسبت به دیگر مناطق زمین‌گرایی به جز ایسلند و ترکیه مقادیر پایین‌تری دارد. در غالب چشمه‌های آب گرم آرسنیک با دما همبستگی مثبت از خود نشان می‌دهد. اما در برخی از چشمه‌ها از قبیل آبیش احمد، یل سویی، الله حق، شکر دره و بیوک سو میزان آرسنیک پایین است که حضور بازالت می‌تواند خود عامل این موضوع باشد. بررسی همبستگی کلر و آرسنیک نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی حاکی از همبستگی مثبت بالا این دو عنصر با هم است. کلر دارای منشأهای متفاوت است که به علت بالا بودن EC آب در این مناطق شسته شدن از سنگ میزبان برای منشأ کلر محتمل‌تر است. چشمه‌های منشگه چاراویماق، ایستی سو ۱، ۲، ۳ و ساری‌سو عجب‌شیر دارای غلظت پایین کلر و در مقابل غلظت بالای آرسنیک هستند که می‌توان این غنی‌شدگی را به فعل و انفعالات سطحی ربط داد. اما همبستگی مثبت آرسنیک و کلر در دیگر چشمه خاکی از اختلاط آب‌های حرارتی با آب‌های زیرزمینی سرد است. بررسی توأمان نمونه‌های خاک، سنگ و آب در این استان بالا بودن آرسنیک در نمونه‌های سنگ، خاک و آب سه منطقه قره‌آغاج، آذرشهر و عجب‌شیر را تأیید می‌کند. بیشترین غلظت در نمونه‌های خاک مربوط به دگرسانی‌های منطقه قره‌آغاج است که در نزدیکی چشمه‌های ایستی سو تا ۲۰۰۰ گرم در تن غلظت نشان می‌دهد که البته میزان آرسنیک در نمونه خاک چشمه منشگه در همین

منطقه پایین تر است و در مقابل غلظت آرسنیک در نمونه آب این چشمه بیشتر از چشمه ایستی سو می باشد. هر چند منطقه آذرشهر میانگین دمایی پایینی نسبت به دیگر مناطق این استان دارد اما بالا بودن میزان آرسنیک در نمونه های سنگی این منطقه می تواند خود عامل بالا بودن غلظت آرسنیک در نمونه های آب شود. بررسی غلظت آرسنیک و برخی عناصر در تراورتن های منطقه آذرشهر، مراغه و عجب شیر نشان دهنده منشأ عمقی آن هاست و می تواند حاصل از فعالیت های هیدروترمالی باشد.

۳- مطالعه همبستگی As-Cl در استان آذربایجان شرقی و اردبیل دو الگوی متفاوت برای نمونه های این دو استان را نشان می دهد. با توجه به این موضوع در استان آذربایجان شرقی اختلاط آب های عمقی با آب های سرد سطحی نسبت به استان اردبیل بیشتر صورت پذیرفته است از همین رو دمای چشمه های اردبیل نسبت به آذربایجان شرقی مقادیر بالاتری را نشان می دهند و نزدیک به منطقه جوشش هستند.

۴- در نمونه های آب استان آذربایجان شرقی B و Cl همبستگی نشان می دهند. مناطق هشترو، میانه و تا حدودی کلیبر و لیقوان غلظت بالای کلر و بور نشان می دهند. به نظر می رسد، با توجه به تحرک این دو عنصر در دمای بالا، این مناطق می توانند از نظر زمین گرمایی مورد اهمیت باشند.

۵- غلظت جیوه در نمونه های خاک بیشتر از نمونه های سنگ و آب بررسی شده در استان آذربایجان شرقی است. بیشترین غلظت جیوه مربوط به مناطق آبیش احمد و قره آغاج است، این در حالی است که بیشترین غلظت جیوه در آب مربوط به منطقه میانه و هشترو است. با توجه بالا بودن جیوه در نمونه های خاک بیشتر مناطق زمین گرمایی دومانطقه کلیبر و قره آغاج از اهمیت بالایی برخوردارند.

۶- بیشترین غلظت ژرمانیم مربوط به مناطق لیقوان و آذرشهر است. مناطق میانه و هشترو از نظر میزان ژرمانیم در مکان های بعدی قرار می گیرند. بطور کلی، غلظت ژرمانیم در چشمه های

استان آذربایجان شرقی کمتر از استان اردبیل است که می‌تواند در ارتباط با دمای کمتر چشمه‌های استان آذربایجان شرقی باشد.

۷- غلظت گالیم در منطقه سراب، چشمه آبیش احمد و ایستی سو ۲ لیقوان بالاست. به طور کلی غلظت گالیم در چشمه‌های استان آذربایجان شرقی بالاتر از چشمه‌های آبگرم اردبیل است.

۸- منطقه سراب در اطراف خود دگرسانی هیدروترمال نشان می‌دهد. بالا بودن میانگین دمای چشمه‌های این منطقه در کنار غلظت بالای Mo و نسبت Mo/Si فعالیت هیدروترمال را در این منطقه نشان می‌دهد.

۹- دو منطقه عجب‌شیر و آذرشهر ترکیبات آبی نزدیک به آب‌های زیرزمینی منطقه دارند که نزدیکی به دریاچه ارومیه در این مهم بی تأثیر نیست، غلظت بالای آرسنیک در آب و سنگ خود نشان می‌دهد که می‌تواند مرتبط با فعالیت‌های آتشفشان سهند باشد که به شدت اختلاط شده است. چشمه‌های این دو منطقه در فاصله دور از سهند و در سنگ‌های رسوبی برونزد داشته‌اند و دمای چندان بالایی ندارند. از سوی دیگر بررسی منشأ تراورتن‌های این منطقه حاکی از دو منشأ عمقی و سطحی است.

۱۰- دو منطقه لیقوان و بستان‌آباد که احتمالاً در ارتباط با گسل تبریز بوجود آمده‌اند. با توجه به غلظت بالای As، B، Sr و Ge در نمونه آب و Hg در نمونه‌های خاک، در کنار pH خنثی و کلر بالا می‌توانند در ارتباط با سیستم‌های هیدروترمال عمیق باشند که در منطقه سهند قرار گرفته‌اند.

۱۱- دو منطقه میانه و هشترو در بیشتر عناصر غلظت بالایی نشان می‌دهند. بیشترین غلظت کلر آذربایجان شرقی در چشمه‌های مامان، گوگردق و قطورسوئی دیده می‌شود. pH نزدیک به خنثی و غلظت بالای Mo، Hg، B، Al، Bi، Sr و Mn در کنار دمای تقریباً بالای آب در این مناطق می‌تواند نشان دهنده ارتباط این چشمه‌ها با سیالات خنثی و داغ سیستم‌های هیدروترمال عمیق باشد.

۵-۲- پیشنهادها

- ۱- با توجه به مطالعات صورت گرفته در استان آذربایجان شرقی تمرکز بیشتر مطالعات روی دو منطقه کلیدر و قره‌آقاج در این استان بهتر به نظر می‌رسد.
- ۲- با توجه به اهمیت مطالعات ژئوشیمیایی سطحی در مناطق زمین‌گرمایی، بهتر است نسبت به تکمیل عناصر با اهمیت آنالیز نشده اقدام شود.

پیوست یک

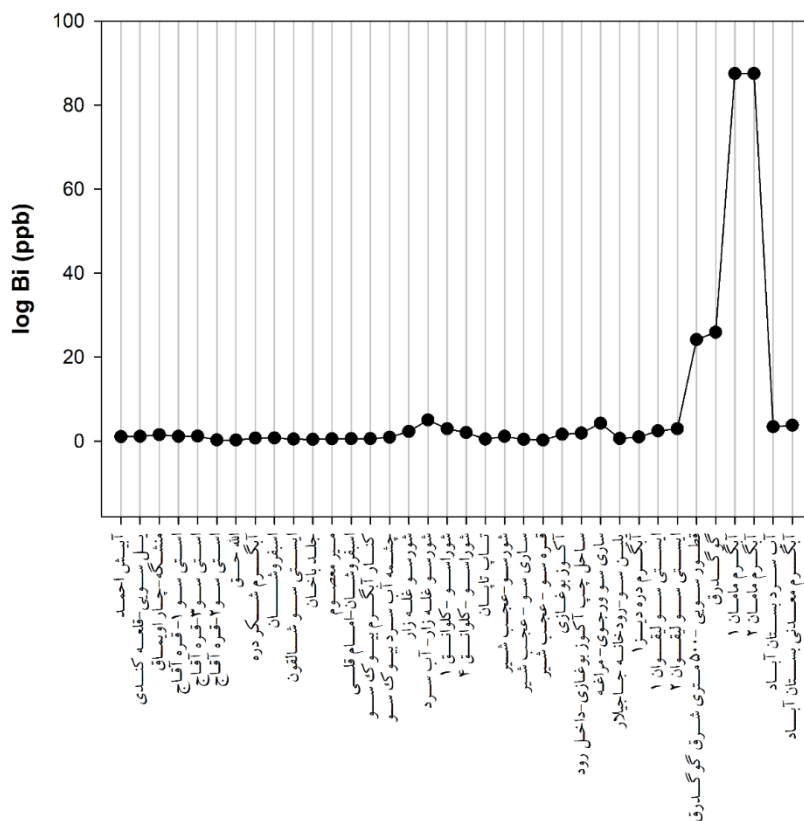
جدول (پ-۱): پارامترهای آماری برای عناصر نمونه‌های آب آذربایجان شرقی.

کشدگی	چولگی	واریانس	انحراف معیار	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	تعداد	
7.466	2.774	6084.172	78.0011	53.659	350.0	1.0	41	Al
5.174	2.345	268862.796	518.51981	285.4551	2087.68	.60	41	As
14.460	3.827	.014	.1189771	.069390	.6300	.0375	41	Au
3.068	1.822	83660600.086	9146.6169	6402.541	37891.0	25.0	41	B
.175	1.086	7237.032	85.070745	75.98839	314.040	1.110	41	Ba
2.230	1.902	.092	.3041373	.190463	1.0360	.0375	41	Be
14.802	3.901	370.580	19.250445	6.75180	87.500	.270	41	Bi
16.080	4.072	960720396.760	30995.4899	9471.366	145110.0	25.0	41	Br
11.928	3.336	435234.920	659.723367	417.11888	3152.800	.870	41	Ca
8.645	2.931	.027	.1641269	.085134	.7000	.0075	41	Ce
9.879	3.223	15663288.183	3957.6872	1508.356	17010.0	14.0	41	Cl
8.899	3.118	2.193	1.480798	.62912	6.300	.015	41	Co
4.202	1.932	2489.387	49.89375	41.0849	217.00	1.40	41	Cr
5.589	2.592	16699.120	129.2250750	61.668037	462.3500	.0075	41	Cs
9.882	3.178	196.254	14.00908	7.6380	63.00	.40	41	Cu
17.791	4.350	.000	.0105771	.009866	.0560	.0075	41	Er
14.275	3.487	6837174.313	2614.7991	1048.063	13853.0	7.5	41	Fe
.957	1.499	2.673	1.6350687	.979939	5.7000	.0375	41	Ga
3.583	2.046	16.750	4.0926498	2.982573	16.5900	.0375	41	Ge
11.738	3.536	.000	.0065116	.009321	.0375	.0075	39	Gd
11.254	3.352	99.360	9.967940	4.40085	45.500	.075	41	Hg
3.951	1.888	1870.000	43.243502	32.24307	178.500	.150	41	K
41.000	6.403	.000	.0035139	.008049	.0300	.0075	41	La
7.469	2.675	1091535.550	1044.765787	584.99439	4789.400	.075	41	Li
.430	1.019	6793.073	82.4200990	79.729110	283.8500	.0375	41	Mg
6.546	2.549	203646.111	451.271660	225.00937	1876.000	.080	41	Mn
1.394	1.530	48.606	6.971793	5.28000	26.100	.075	41	Mo
5.252	2.559	1970436.364	1403.722324	681.94893	5008.500	6.840	41	Na
17.451	4.295	.023	.1509398	.044329	.7000	.0075	41	Nb
22.762	4.753	.000	.0037079	.008305	.0280	.0075	41	Nd
16.129	4.072	766.543	27.68651	9.8220	133.00	.15	41	Ni
16.977	4.196	26993.840	164.2980	63.051	805.0	7.5	41	P
5.837	2.587	149.363	12.22142	6.9649	49.00	.20	41	Pb
41.000	6.403	.001	.02343	.1537	.30	.15	41	Pd
9.825	3.187	.027	.1649815	.067561	.7000	.0075	41	Pt
10.549	3.122	37301.965	193.137165	111.01790	878.500	.230	41	Rb
38.523	6.139	.000	.0032284	.008122	.0280	.0075	41	Re
11.213	3.352	.160	.4005448	.165159	1.7500	.0075	41	Rh

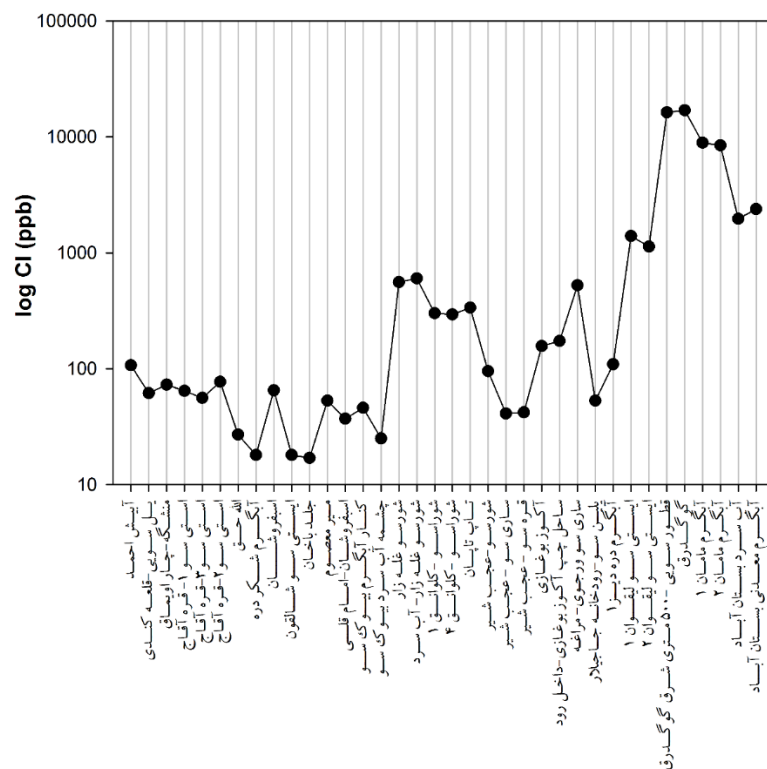
ادامہ جدول (پ-۱-۱).

تعداد	مینییم	ماکزییم	میائین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی	تعداد
S	41	11.0	1890.0	227.966	397.9040	158327.592	3.324	11.439
Sb	41	2.930	1740.200	124.99790	383.389783	146987.726	3.588	12.481
Sc	41	.75	2.80	.9122	.53977	.291	3.348	9.809
Se	41	.0375	392.0000	26.705976	84.0632882	7066.636	3.956	15.315
Si	41	5917.0	845425.0	137782.132	220901.9386		2.509	5.229
Sn	41	.0375	7.0000	.923207	1.7962066	3.226	2.707	6.361
Sr	41	17.190	112437.500	9508.79941	24338.218196	592348864.980	3.649	13.320
Te	41	.0375	2.4500	.209110	.5325791	.284	3.905	14.995
Th	41	.0375	.9100	.084793	.1611655	.026	4.225	18.977
Tl	41	.0075	3.5000	.262537	.7554839	.571	4.113	16.363
U	41	.015	5.600	1.23676	1.415366	2.003	1.154	.637
V	41	.15	84.00	8.9151	20.37255	415.041	2.997	8.004
W	41	.015	32.930	2.99315	6.657224	44.319	3.222	11.096
Y	41	.0075	1.1760	.132268	.2545442	.065	3.115	10.307
Zn	41	1.30	283.50	36.8932	70.19958	4927.981	2.775	6.760
Zr	41	.015	2.520	.26402	.607640	.369	2.880	7.190

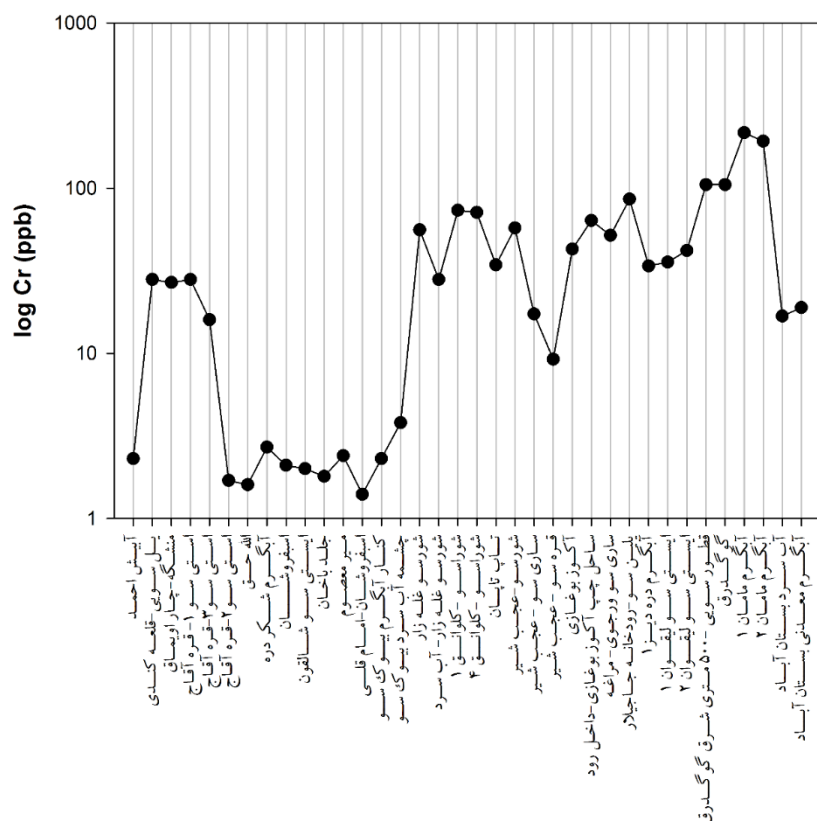
نمودار غلظت برخی از عناصر در نمونه‌های آب چشمه‌های استان آذربایجان شرقی:



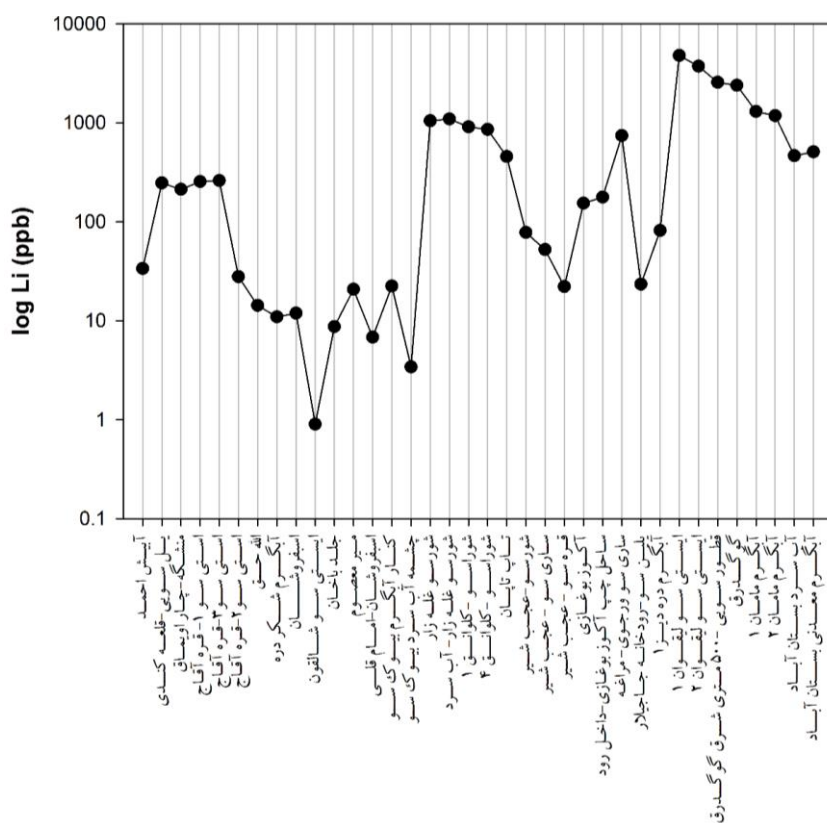
شکل (پ-۱-۱): تغییرات لگاریتمی بیسموت در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.



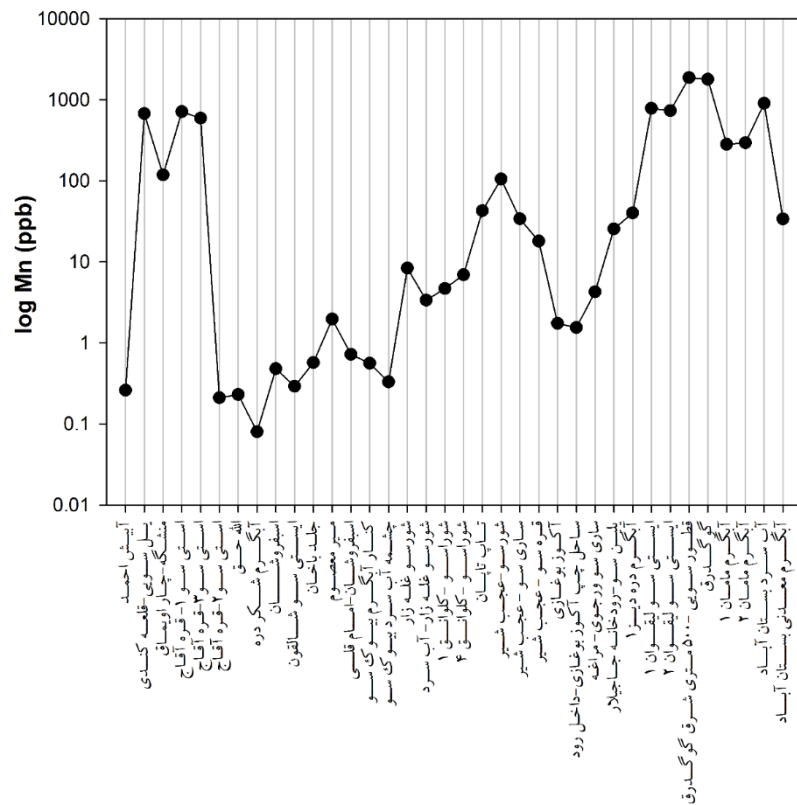
شکل (پ-۱-۲): تغییرات لگاریتمی کلر برای نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.



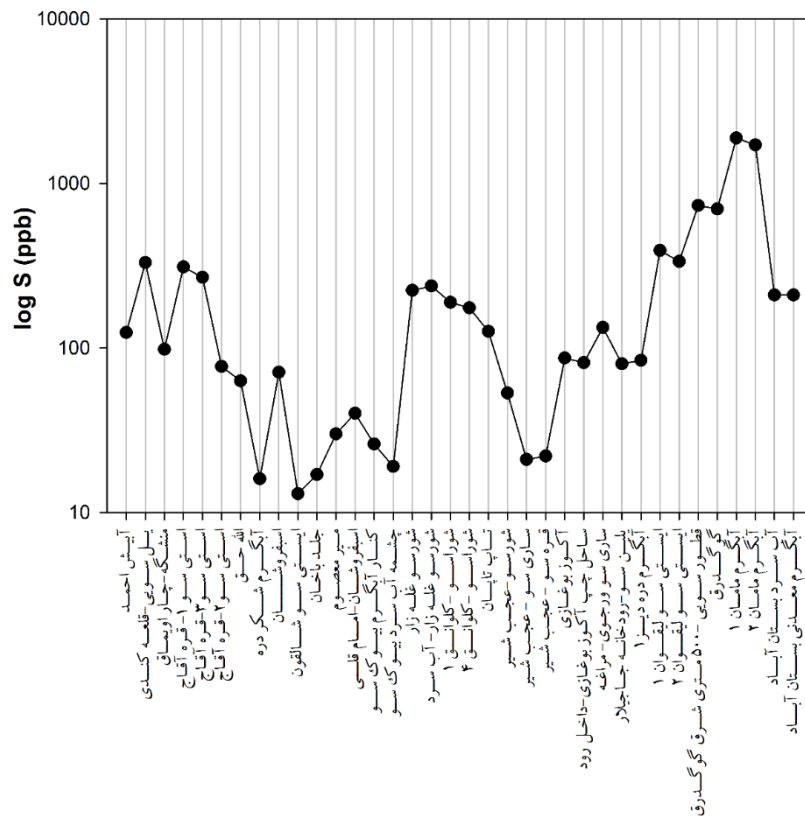
شکل (پ-۱-۳): تغییرات لگاریتمی غلظت کروم در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.



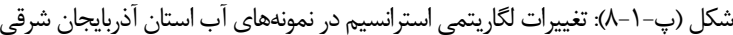
شکل (پ-۱-۴): تغییرات لگاریتمی لیتیم در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

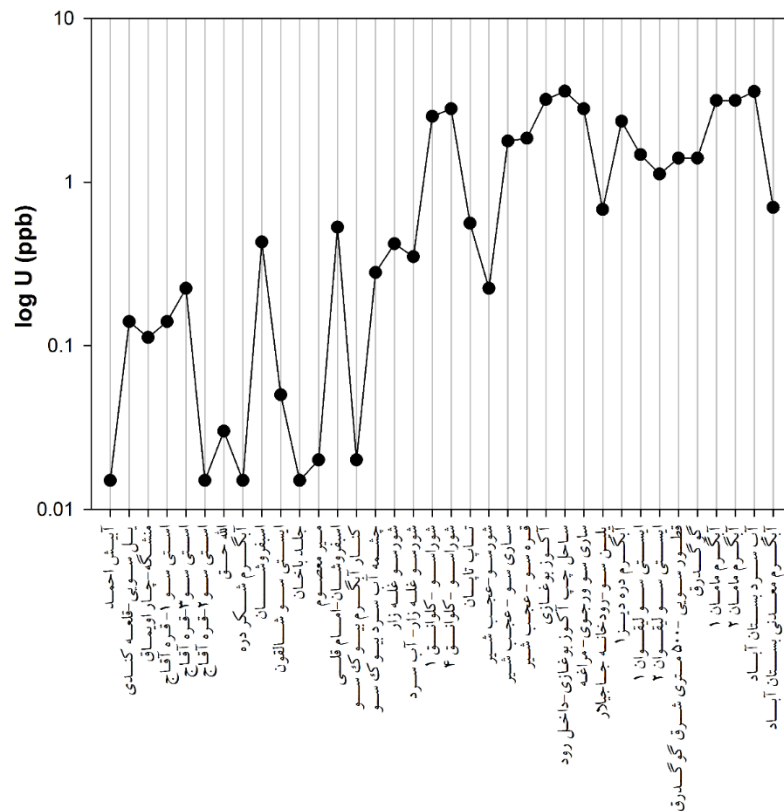


شکل (پ-۱-۵): تغییرات لگاریتمی منگنز برای نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

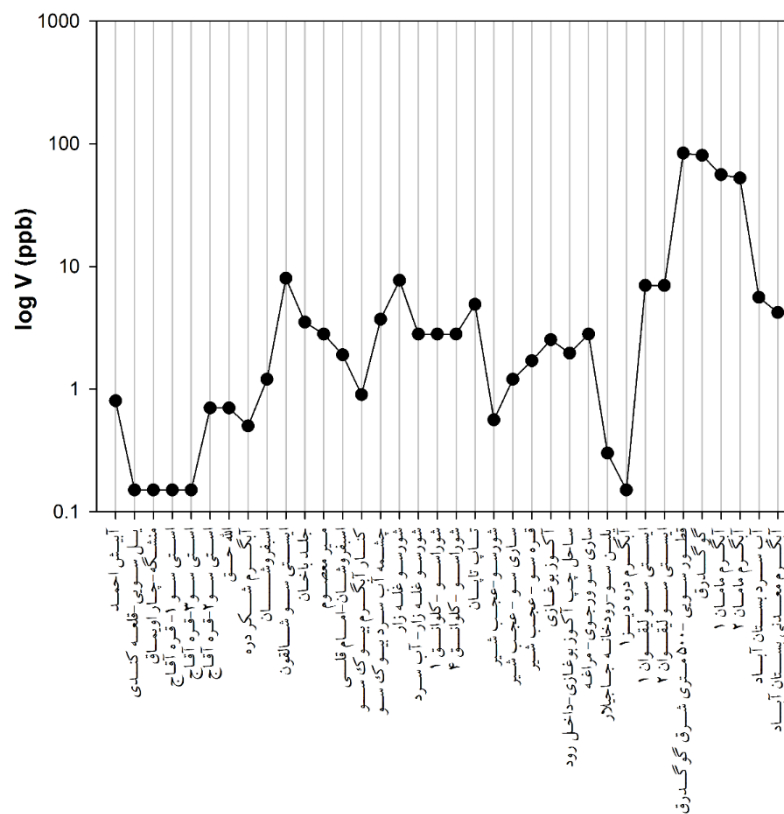


شکل (پ-۱-۶): تغییرات لگاریتمی گوگرد در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.





شکل (پ-۱-۹): تغییرات لگاریتمی غلظت اورانیوم در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.



شکل (پ-۱-۹): تغییرات لگاریتمی غلظت وانادیم در نمونه‌های آب آذربایجان شرقی.

پ - ۱-۲- تخمین دمای مخزن استان آذربایجان شرقی

برای تخمین دمای مخزن منطقه آذربایجان شرقی از ترمومترهای سیلیسی، کلسدونی و Na/K

استفاده شده است. نتایج این مطالعه در جدول (پ- ۱- ۲) ارائه شده است.

نام چشمه	ترموتر سیلیسی	ترموتر کلسدونی	ترموتر Na/K
آبگرم معدنی بستان آباد	۲۱۳	۱۹۶	۱۶۳
آب سرد معدنی بستان آباد	۲۱۶	۱۹۹	۱۵۹
اسفیروشان-اسفیروشان	۹۳	۶۲	۴۸
اسفیروشان-امام قلی	۷۹	۴۷	۵۹
رودخانه بالادست امام قلی	۴۶	۱۴	۲۸۸
الله حق	۶۴	۳۲	۳۷
ایستی سو شالقون	۴۴	۱۲	۲۰
رودخانه نزدیک ایستی سو شالقون	۷۲	۴۰	۱۸
آبگرم بزرگ (بیوک سو) اردها	۵۳	۲۱	۱۹
کنار آبگرم بیوک سو اردها	۵۶	۲۴	۲۰
چشمه سرد	۵۲	۴۳	۷۵
میر معصوم (قطور سویی) (روستای اردها)	۴۷	۱۵	۱۴
جلد باخان	۹۵	۶۴	۸
آبگرم شکر دره	۵۱	۱۹	۱۶
شورسو غله زار	۲۱۶	۱۹۹	۲۵۲
شورسو غله زار (آب سرد)	۲۱۳	۱۹۶	۲۵۱
تاپ تاپان (روستای نادین لو)	۲۲۱	۲۰۵	۲۴۷
شوراسو (کلوانق ۱)	۲۱۸	۲۰۱	۲۶۰
شوراسو (کلوانق ۴)	۲۱۶	۱۹۹	۲۵۵
شورسو (گنبد)-عجیشیر	۱۵۰	۱۲۴	۲۲۱
ساری سو (گنبد)-عجیشیر	۸۹	۵۸	۲۴۶
قره سو (کنار ساری سو)-عجیشیر	۷۶	۴۴	۱۸۷
آکوز بوغازی	۱۵۵	۱۳۰	۲۵۷
ساحل چپ آکوز بوغازی (داخل رود)	۱۶۰	۱۳۵	۲۷۱
شورسو (چای باغی-مراغه)	۱۶۲	۱۳۸	۲۲۲
۵۰ متر پایین تراز شورسو چای باغی	۱۵۱	۱۲۵	۲۶۰
یل سویی-قلعه کندی (کلیر)	۷۳	۴۱	۱۸
آبیش احمد (متعلق- کلیر)	۸۰	۴۸	۳۰
یلین سو (آب گازدار) منطقه حفاظت شده جرجن، رودخانه حاجیلار	۸۸	۵۶	۱۱۰
آبگرم دره دیز - ۱ منطقه جلفا	۱۴۵	۱۱۹	۱۷۵
ایستی سو لیقوان ۱ (سمت چپ رودخانه)	۲۴۲	۲۲۹	۱۲۴
ایستی سو لیقوان ۲ (سمت راست رودخانه)	۲۳۹	۲۲۵	۱۲۷
گوگردق	۱۱۳۳	۴۳۰	۱۲۱
قطورسویی- (۵۰۰ متری شرق گوگردق)	۱۴۰۷	۴۴۷	۱۲۳
استی سو- ۱ قره آغاچ	۱۵۸	۱۳۳	۱۰۰۰
استی سو- ۲ قره آغاچ	۱۵۶	۱۳۱	۳۴۷
استی سو- ۳ قره آغاچ	۱۵۹	۱۳۴	۱۰۰۰
منشگه-چاراویماق (قره آغاچ)	۱۶۱	۱۳۷	۱۰۰۰
آبگرم ممان ۱ (مامان)-میانه	۱۱۱۷	۴۲۹	۵۰
آبگرم ممان ۲ (مامان)-میانه	۹۰۸	۴۱۱	۵۳

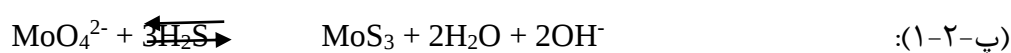
پیوست دو

پ-۲-۱- مولیبدن (Mo)

مولیبدن به عنوان یکی از فلزات با اهمیت در سیستم‌های هیدروترمال است. مولیبدن در آب‌های قلیایی تا pH خنثی با دمای بالا یا پایین دیده می‌شود اما در آب‌های اسیدی کمتر دیده می‌شود. ممکن است نسبت پایین Mo/SiO₂ در آب‌ها نشان دهنده درجه دگرسانی هیدروترمال پایین در سنگ‌های مرتبط باشد، که همین عامل استخراج ضعیف Mo از این سنگ‌ها شده است (Arnorsson, 1970 (a)).

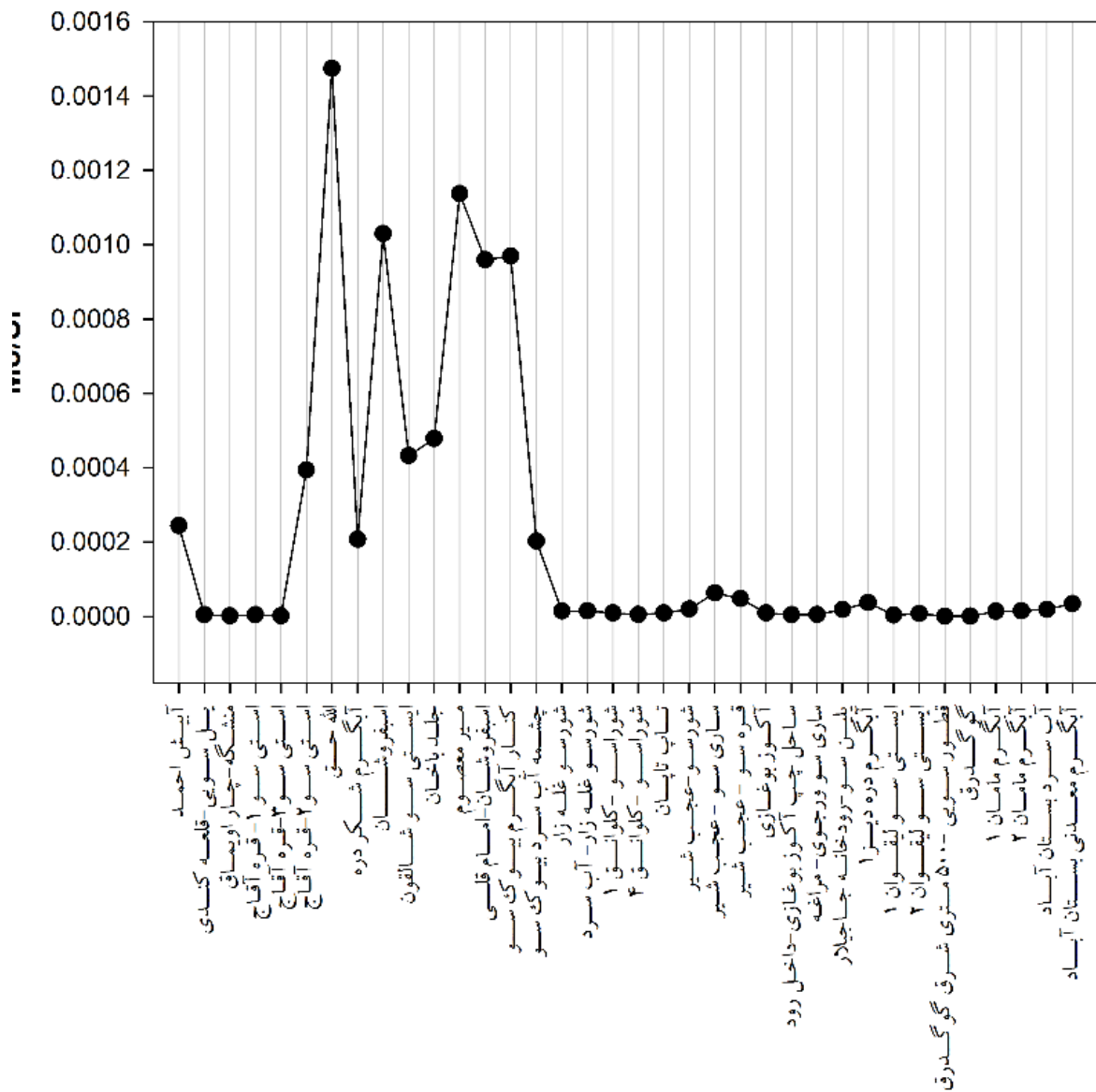
شکل (پ-۲-۱) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار Mo/Si در منطقه سراب دیده می‌شود که معمولاً واحد سنگی در حوالی چشمه‌های این منطقه بازالت و بازالت‌های دگرسان شده است (جز اسبفروشان که سینیت است). بالا بودن این نسبت نشان می‌دهد که مولیبدن به خوبی در ارتباط سنگ و آب در غلظت این عنصر در نمونه‌های آب منطقه سراب تأثیر گذاشته است. این در حالی است که هر چند غلظت مولیبدن در نمونه‌های سنگی دیگر استان آذربایجان شرقی تا حدودی بالاست (مانند هشتروند) اما غلظت مولیبدن در نمونه آب چشمه‌های مرتبط بالا نیست (شکل پ-۲-۲ و شکل پ-۲-۳).

مطالعات آرنورسن (۱۹۷۰) نشان داد که مولیبدن در سنگ‌های آتشفشانی غلظت پایینی دارد و بیشترین غلظت آن در مگنتیت و ایلمنیت بازالت‌ها است که این کانی‌ها با آب‌های حرارتی با مقدار H₂S پایین حل نمی‌شود. در یک غلظت ثابت H₂S مقدار Mo/SiO₂ به نوع سنگ بستگی دارد. مولیبدن محلول در آب‌های حرارتی در واکنش با H₂S می‌تواند مولیبدنیت تولید کند (رابطه پ-۲-۱).

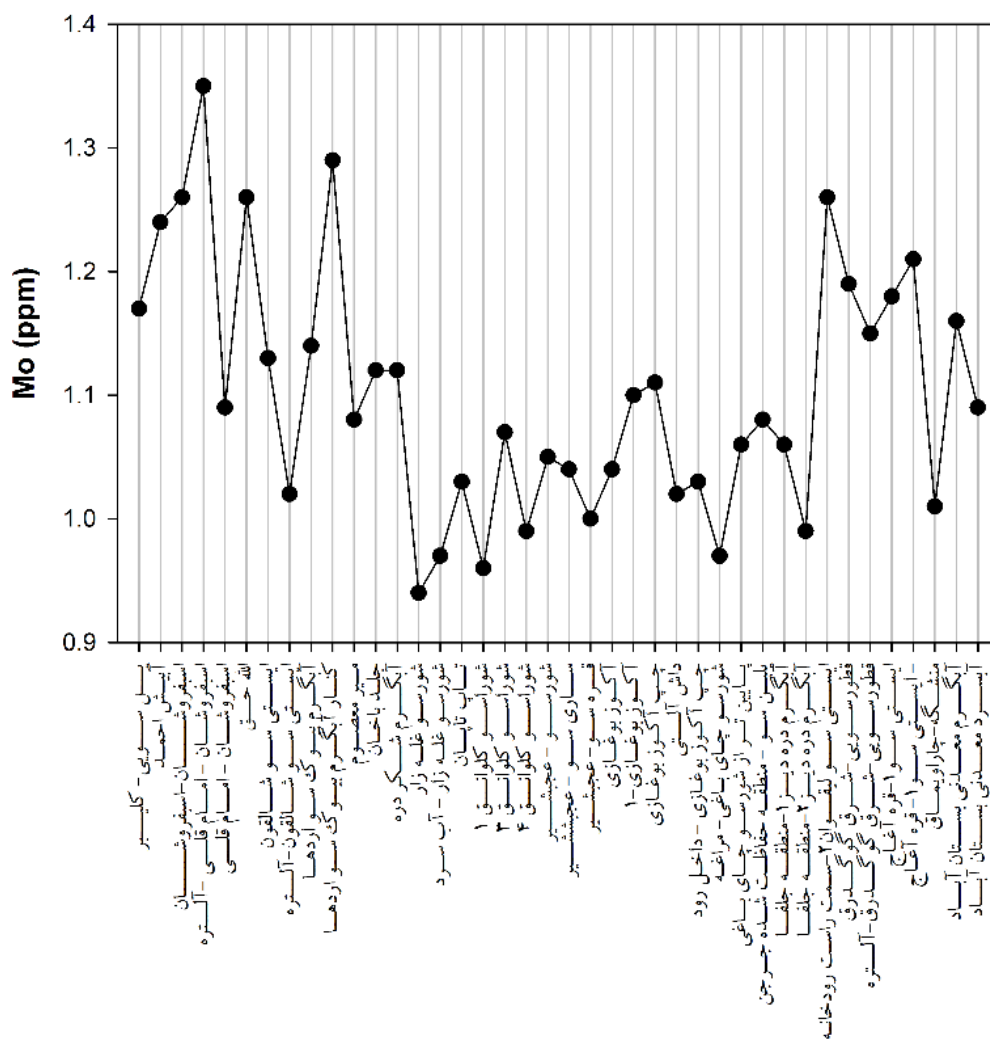


با کاهش pH و افزایش مقدار H₂S این رابطه به راست تمایل پیدا می‌کند. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH=9 و مقدار H₂S = 3.2 گرم بر تن مقدار مولیبدن طبق معادله پ-۲-۱ 1.45 میلی‌گرم بر تن

می‌شود که این مقدار کمتر از غلظت در آن آب‌های حرارتی است. این امر نشان می‌دهد که ممکن است با افزایش دما مولیبدنیت به صورت محلول در آید.



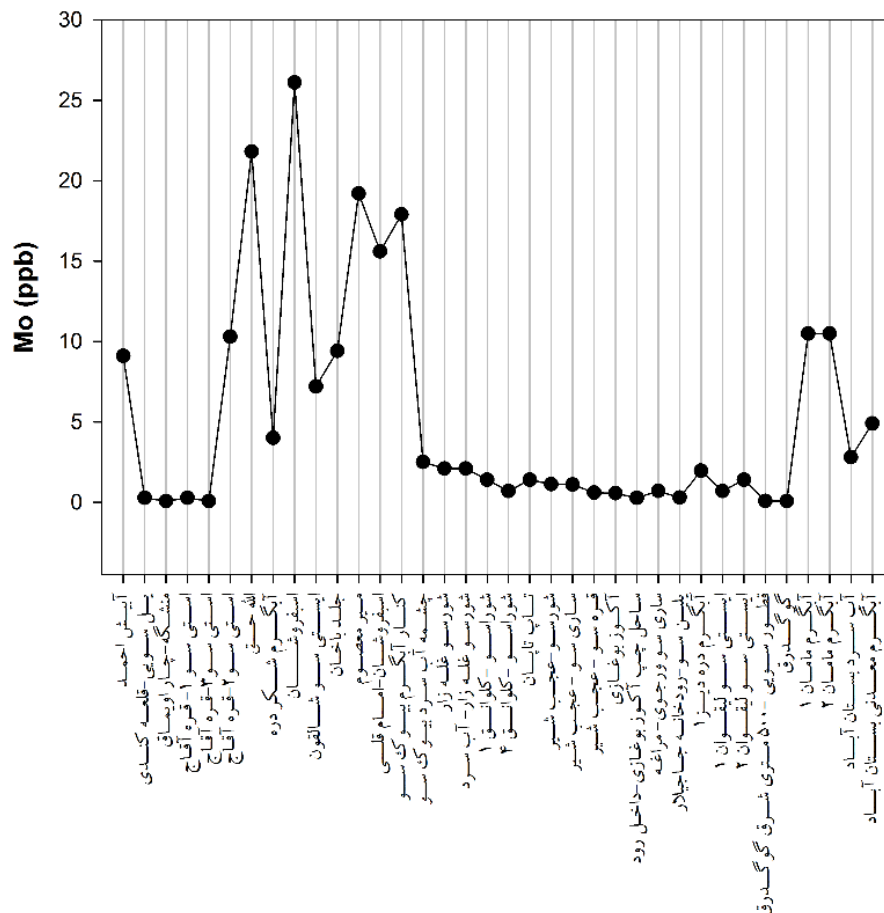
شکل (پ-۲-۱): مقدار Mo/Si برای نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.



شکل (پ-۲-۲): غلظت مولیبدن در نمونه‌های سنگی استان آذربایجان شرقی.

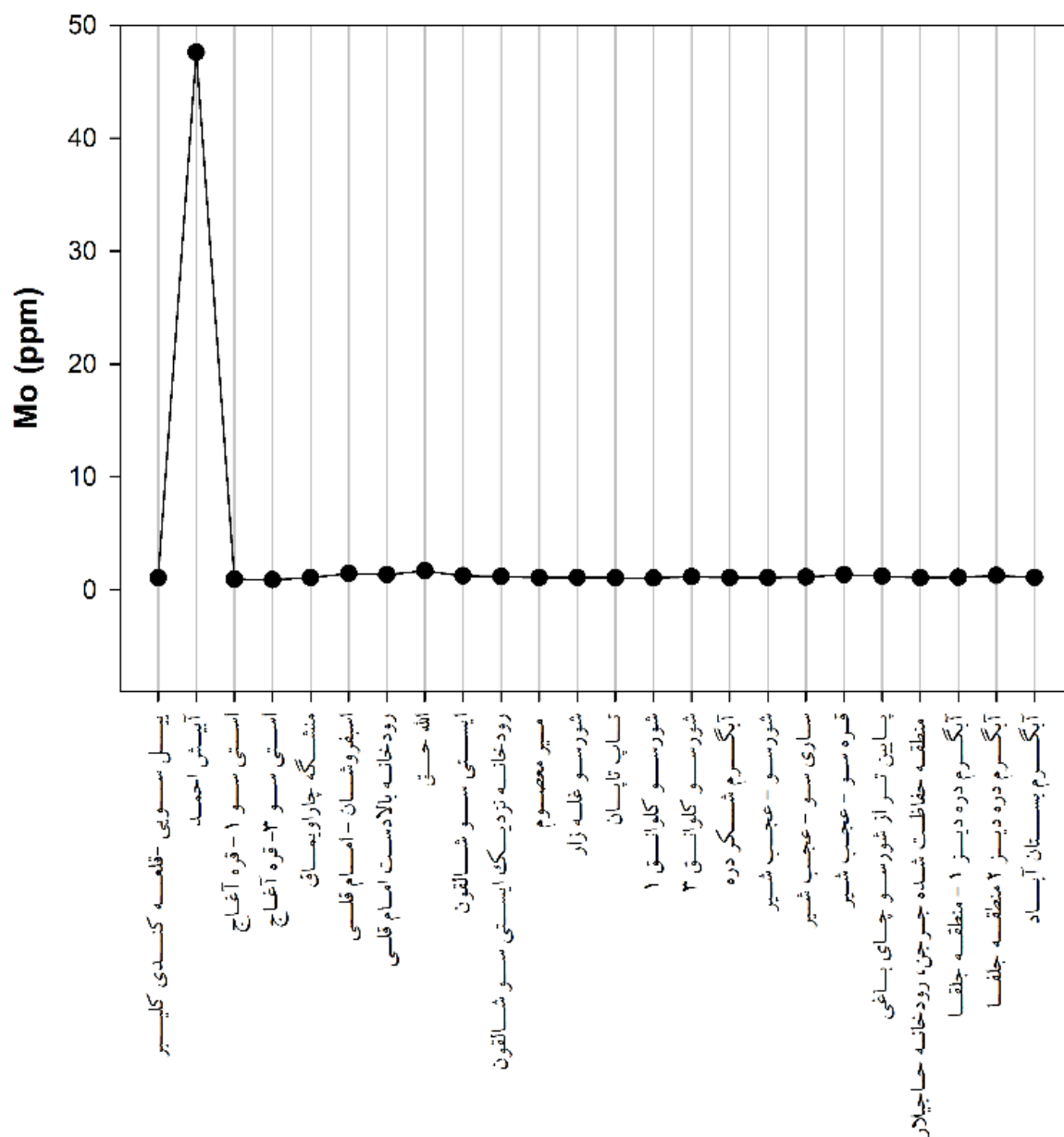
همانطور که در شکل (۳-۱۱) دیده می‌شود مولیبدن در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی لاگ نرمال است. بیشترین غلظت مولیبدن مربوط به چشمه اسفروشان منطقه سراب است، البته بطور کلی میانگین غلظت مولیبدن در چشمه‌های منطقه سراب نسبت به دیگر مناطق استان آذربایجان شرقی بالاتر است (پ-۲-۳).

مولیبدن همبستگی پایینی با دما دارد (ضریب همبستگی ۰/۰۹۷) اما محلول شدن مولیبدنیت در آب به دما بستگی دارد که علاوه بر دما نمی‌توان تأثیر پارامترهای دیگر از قبیل pH و غلظت H_2S نیز می‌توان را نادیده گرفت.



شکل (پ-۲-۳): غلظت مولیبدن در نمونه‌های آب استان آذربایجان شرقی.

غلظت مولیبدن به علت بالا بودن pH آب در منطقه سراب و بالا بودن نسبی دمای چشمه‌ها در کنار غلظت بالای مولیبدن در نمونه‌های سنگی مجاور، نسبت به دیگر مناطق بالاتر است. با این وجود منطقه میانه نیز در چشمه‌های خود غلظت بالای مولیبدن نشان می‌دهد که در مقایسه با منطقه هشتگرد که از لحاظ پارامترهای اندازه‌گیری تا حدودی شبیه به میانه است مقداری بالاتر است، که می‌توان این مسئله را مرتبط با pH پایین هشتگرد و H_2S بالای این منطقه دانست. منطقه کلیبر با دمای بالا، pH بالا و H_2S بالا در دو چشمه خود رفتار متفاوت Mo در نمونه آبی نشان می‌دهد. اما نکته قابل توجه این است که چشمه آبیش احمد در نمونه آب، سنگ و خاک خود غلظت بالای مولیبدن نشان می‌دهد (شکل ب-۲-۴).



شکل (پ-۲-۴): غلظت مولیبدن در نمونه‌های خاک استان آذربایجان شرقی.

منابع و مأخذ

منابع و مأخذ فارسی

- ۱- آقاناتی ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- ۲- اعلایی م، باقرپور ر و یزدی م، (۱۳۹۰)، "بررسی تأثیر مشخصات فیزیکی و شیمیایی نهشته‌های تراورتن بر پارامترهای استخراج در معادن طرق"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۴، ص ۳۰۰-۲۸۵.
- ۳- احسانی الف. ه، نرماشیری ف و اعتمادی پ، (۱۳۹۰)، "معرفی گیاه جاتروفا به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر در مناطق بیابانی"، همایش ملی بسیج.
- ۴- ایران‌نژادی م، طباطبائی م، صادقیان م، قوامی‌ریایی س. ر، اسدی‌هارونی ه، منصوری‌اصفهانی م و مختاری ا، (۱۳۹۲)، "مطالعات زمین‌شناسی پروژه مشترک مطالعاتی منابع ژئوترمال استان آذربایجان شرقی"، دانشگاه شاهرود و صنعتی اصفهان، ستاد توسعه فناوری انرژی نو ریاست جمهوری.
- ۵- بهمن‌یار س و صداقت الف، (۱۳۹۰)، "ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی انرژی‌های تجدیدپذیر ایران"، همایش ملی اصلاح الگوی تولید و مصرف، کرمان.
- ۶- پارساپور الف، خلیلی م، نقره‌بیان م و کلی‌زاده م. ع، (۱۳۸۲)، "رفتار عناصر نادر خاکی در سیستم هیدروترمال رنگان (جنوب غرب لرستان)"، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- ۷- پاک ف و قوامی‌ریایی س. ر، (۱۳۹۲)، "پیش‌نشانگرهای ژئوترمال در استان آذربایجان شرقی"، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، دانشگاه شاهرود.
- ۸- ثقفی م، (۱۳۸۲)، "انرژی‌های تجدیدپذیر نوین"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۲۰.

- ۹- ثقفی اصل ک، وثوقی‌راد ص و زارعی ه، (۱۳۸۵)، "بررسی انرژی زمین‌گرمایی"، ششمین همایش ملی دانشجویی مهندسی شیمی و پنجمین همایش ملی دانشجویی مهندسی نفت، دانشگاه اصفهان.
- ۱۰- حسنی پاک ع. الف و قیاس‌الدین ش، (۱۳۸۴)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، دانشگاه تهران، تهران.
- ۱۱- درویش‌زاده ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسزم)"، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- ۱۲- رازقی ر، (۱۳۹۰)، "انرژی زمین‌گرمایی و کاربردهای آن" نشأ علم، ص ۳۵-۳۰.
- ۱۳- روشنی رودسری پ، مختاری الف. ر، طباطبائی س. ح. ر و رحمانی م. ر، (۱۳۹۲)، "مدل‌سازی حوضه آبریز نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای جهت بررسی پتانسیل منابع ژئوترمال استان آذربایجان شرقی"، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، دانشگاه شاهرود.
- ۱۴- رحمانی جوانمرد س، طوطی ف، امیدیان ص و رنجبران م، (۱۳۹۱)، "کانی‌شناسی و ژنز تراورتن‌های تیپ پشته‌ای - شکافی و رگه‌ای آب اسک بر اساس مطالعات پتروگرافی و آنالیزهای ایزوتوپی کربن و اکسیژن"، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، جلد ۳۲، ص ۵۱-۶۱.
- ۱۵- گزارش سازمان انرژی‌های نو ایران، (۱۳۸۸)، "زمین‌گرمایی ۲"، ص ۳۸-۳۱.
- ۱۶- قدیمی س. ع، اسحاقی س. ر، نصرآبادی پ و همتی ه، (۱۳۹۱)، "بررسی انواع انرژی‌های نو تجدیدپذیر در ایران"، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران.

۱۷- قوامی ریایی س. ر، مختاری ا، طباطبائی س. ح، (۱۳۹۲)، "مطالعات لیتوژئوشیمیایی پروژه مشترک مطالعاتی منابع ژئوترمال استان آذربایجان شرقی"، دانشگاه شاهرود و صنعتی اصفهان، ستاد توسعه فناوری انرژی نو ریاست جمهوری.

۱۸- کرمی غ، دولتی اردجانی ف، قوامی ریایی س. ر و مختاری ا، (۱۳۹۲)، "مطالعات هیدروژئوشیمیایی پروژه مشترک مطالعاتی منابع ژئوترمال استان آذربایجان شرقی"، دانشگاه شاهرود و صنعتی اصفهان، ستاد توسعه فناوری انرژی نو ریاست جمهوری.

منابع و مأخذ انگلیسی

1. Aiuppa A., Dongarra G., Capasso G. and Allard P., (2000), “ **Trace elements in the thermal groundwaters of volcano Island (Sicily)**”, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol 98, P 189-207.
2. Aiuppa A., Avino R., Brusca L., Caliro S., Chiodini G., D’Alessandro W., Favara R., Federico C., Ginevra W., Inguaggiato W., Longo M., Pecoraino G. and Valenza M., (2006), “**Mineral Control of Arsenic Content in Thermal Waters from Volcano-Hosted Hydrothermal Systems: In Sights from Island of Ischia and phlegrean field (Companian volcanic province, Italy)**”, Chemical Geology, Vol 229, p 313-330.
3. Anders E. and Grevesse N., (1989), “**abundances of the elements: Meteoritic and solar**”, Geochemical et CosMochimica Acta, Vol 53, p 197-214.
4. Arnorsson S., (1970)(a), “**Geochemical Studies of Thermal Waters in the Southern Lowlands of Iceland**”, Geothermics, Part 1, p 547-552. (a)
5. Arnorsson S., (1970)(b), “**The Distribution of Some Trace Elements in Thermal Waters in Iceland**”, Geothermics, Part 1, p 542-546.
6. Barbier E., (1997), “**Natyre and Technology of Geothermal Energy**”, Journal of Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol 2.

7. Ballantyne J. M. and Moore J. N., (1977), “**Arsenic geochemistry in geothermal systems**,” *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 52, p 475-483.
8. Baur W. H. and Onishi H., (1978), “**Handbook of Geochemistry**,” Springer-Verlag.
9. Bingqiu Z., Jinmao Z., Lixin Z. and Yaxin Z., (1986), “**Mercury, Arsenic, Antimony, Bismuth and Boron as geochemical indicators for geothermal area**”, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol 25, p 379-388.
10. Bingqiu Z., Lixin Z., Changyi S., Hui Yu. And Gongyun W., (1989), “**Application of Geochemical Methodes in the Search for Geothermal Field**”, *journal of Geochemical Exploration*, Vol 33, p 171-183.
11. Bingqiu Z. and Hui Z., (1995), “**The use of geochemical indicator element in the exploration for hot water sources within geothermal fields**”, *journal of Geochemical Exploration*, Vol 53, p125-136.
12. Castor S. B. and Hedrick J. B. (2003), “**Rare Earth Elements**”.
13. Christensen O. D., Capuano R. A. and Moore J. N., (1983), “**Trace-Element distribution in an active hydrothermal system, Roosevelt hot springs thermal area, Utah**”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol 16, p 99-106.
14. Coreyll C. D., Chase J. W. and Winchester J. W., (1963), “**A Procedure for Geochemical Interpretation of Terrestrial Rare-Earth Abundance Patterns**”, *Journal of Geophysical Research*, Vol 68, p 559-566.
15. Ellis A. J. and Mahon W. A. J., “(1964), “**Natural Hyrothermal Systems and Exprimental Hot/Rock Interactions**”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 28, p 1323-1357.
16. El Hinnawi E. and Biswas A. K., (1981), “**Renewable Resources of Energy and the Environmental In: El Hinnawi, E. (Editor), Environmental Impacts of Production and Use of Energy**”, An assessment prepared for the United Nation Environmental Programme, Tycooly Inter.

17. Ellis A. J. and Mahon W. A. J., (1977), “ **Chemistry and Geothermal Systems**”, Academic Press, NewYork, p 392.
18. Elmi S. A., (2009), “**Gallium and Germanium Distribution in Geothermal Water**”, Geothermal Training Programme, Iceland.
19. Fourrnier R. O. and Truesdell A. H., (1970), “**Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot spring waters of Yellowstone National Park, Wyoming, USA**”, Geothermics, Part 1, p 492-512.
20. Fouke B. W., Farmer J. D., DesMarais D. J., Paratt L., Sturchio N. C., Burns N. C. and Discipulo M. K., (2000), “**Depositional Facies and Aqueous – Solid Geochemistry of Travertine – Depositing Hot Spring (Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA)**”, Journal of Sedimentary Research, Vol 70, p 565-585.
21. Glover C. and Robertson A. F. H., (2003), “**Origin of Tufacool Water Carbonate and Related Terraces in the Antalya Area SW Turkey**”, Geological Journal, Vol 38, p 329-353.
22. Gurav T., Chandrasekharam D. and Singh H. K., (2015),”**Trace Element and REE Concentration in the Thermal Waters, West Coast Geothermal Province, India**”, Proceeding World Geothermal Congrees, Melbourn, Australia.
23. **Hague A., (1911), “The Origin of The Thermal Waters in The Yellowstone National Park**”, Science, American Association for the Advancement of Science, Vol 33, p 553-568.
24. Hannigan R. E., (2005), “**Rare Earth, Major, and Trace Element Geochemistry of Subsurface and Geothermal Waters from Taupo Volcanic Zone, North Island NewZealand**”, Rare Earth Element in Groundwater Flow Systems, Springer Netherland, p 67-68.
25. Haeri A., Strelbitskaya S., Porkhial S. and Ashayeri A., (2011), “**Distribbution of Arsenic in Geothermal Waters from Sabalan Geothermal Field, N-W IRAN**”, Thirty

Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California.

26. Hammarlund L. and Piones J., (2009), “**Arsenic in Geothermal Waters of Costa Rica**”, KTH Land and Water Resources Engineering, p 1-54.

27. Hooda P. S., (2010), “**Trace elements in Soils**”, John Wiley & Sons, Ltd.

28. Janik C. J., Truesdell A. H., Goff F., Shevenell L., Trujillo J. P. E. and Counce D., (1991), “**A geochemical Model of the Platanares Geothermal Systems, Honduras**”, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol 25, p 125-146.

29. Jonasson I. R., (1970), “**Mercury in the Natural Environment, A review of Recent Work**”, Geological Survey of Canada, Ottawa.

30. Jonas D. N. and Gill C. A., (1998), “**Comparing Measures of Sample Skewness and Kurtosis**”, The Royal Statistical Society, Vol 47, p 183-189.

31. Kaasalainen H. and Stefansson A., (2012), “**The Chemistry of Trace Element in Surface Geothermal Waters and Steam, Iceland**”, Chemical Geology, Vol33, p 60-85.

32. Klusman R. W. and Landers R. A., (1978) “**Secondary Controls on Mercury in Soils of Geothermal Areas**”, Journal of Geochemical Exploration, Vol 1, p 75-91.

33. Kralj P. and Kralj P., (2009), “**Rare Earth Element in Thermal Water from the Sob-1 Well, Murska Sobota, NE Slovenia**”, Environmental Earth Sciences, Vol 58, p 5-13.

34. Landa E. R., (1978), “**The Retention of Metallic Mercury Vapor by Soils**”, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol 42, p 1407-1411.

35. Lescinsky D. T., Connor C. B. and Stoiber R. E., (1987), “**Soil Mercury Study of Thermal Area, Rincon Dela Vieja Volcano, Costa Rica**”, Geothermics, Vol 16, p 159-168.

36. Marini L., (2000), “**Geochemical Techniques for the Explorations and Exploitation of Geothermal Energy**”

37. McLennan S. M., (1989), “**Rare Earth Elements in Sedimentary Rock; Influence of provenance and Sedimentary Processes**”, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Vol 21, p 169-200.
38. Michard G., Fouiliac C., Ouzounion G., Boulegue J. and Demynck M., (1980), “**Geothermal Application of The Geochemical Study of Hot Spring in Eastern, Pyenness**”, Advances in European Geothermal Research, Springer Netherland, p 387-395.
39. Moller P., (2000), “**Rare Earth Elements and Yttrium as Geochemical Indicators of the Source of Mineral and Thermal Waters**”, Hydrogeology of Crystalline Rocks, Springer Netherland, Vol 34, p 227-246.
40. Moller P., (2005), “**Rare Earth Elements and Yttrium in Geothermal Fields**”, Geoforschungstentrum Potsdam.
41. Moller P., Dulski P. and Giese U., (1993), “**REE Distribution in Granites of the Fichtelgebirge**”, Z. Geol. Wiss, Vol 21, p 193-206.
42. Moller P. and Bau M., (1993), “**Rare-Earth Patterns With Positive Cerium Anomaly in Alkaline Waters from Lake Van, Turkey**”, Earth and Planetary Science Letters, Vol 117, p 671-676.
43. Nordstrom D. K., McCleskey R. B. and Ball J. W., (2001), “**Processes Governing Arsenic Geochemistry in the Thermal Waters of Yellowstone National Park**”, U. S Geological, Survey.
44. Pentecost A., (2005), “**Travertine. Berlin**”, Heidelberg. Springer-Verlag, P446.
45. Porkhial S., Ghomshei M. M. and Yousefi P., (2010), “**Geothermal Energy in Iran**”, Proceeding World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25-29 April.
46. Sanyal K. S., Morrowand W. J. and Bulter J. S., (2010), “**Cost of Electricity from Enhanced Geothermal Systems**”, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California.

47. Shannon R. D., (1976), “**Revised effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides**”, Acta Crystallogr, Vol 32, p 761-767.
48. Stauffer R. E. and Thompson J. M., (1984), “**Arsenic and Antimony in Geothermal Waters of Yellowstone National Park, Wyoming, USA**”, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol 48, p 2547-2561.
49. Taylor S. R. and McLennan S. M., (1985), “**The Continental Crust: Its Composition and Evolution**”, p 328.
50. Todd D. K., (1980), “**Groundwater Hydrology**”, John Wiley and Sons, Inc, NewYork.
51. Tonami F., (1970), “**Geochemical Methods of Exploration for Geothermal Energy**”, Geothermics, Part 1, p 529-535.
52. Utammi P. and Browne P. R. L. (1999) “**Subsurface Hydrothermal Alteration in the Kamojang Geothermal Field, West Java, Indonesia**”. Twenty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California.
53. Varekamp J. C. and Buseck P. R., (1983), “**Hg Anomalies in Soils: A Geochemical Exploration Method for Geothermal Area**”, Geothermics, Vol 12, p 27-29.
54. Webster J. G. and Nordstrom D. K., (2003), “**Geothermal Arsenic**”, Arsenic in Groundwater, Springer US, Chapter 4, p 101-125.
55. Webster-Brown J. G.,(2000), “**Chemical Contaminants and Their effects. In Environmental Safety and Health Issues in Geothermal Development**”, World Geothermal Congress, Kazuno, Japan.
56. Welch A. H. and Stollenwerk K. G., (2003), “**Arsenic in Ground Water**”, Geothermal Arsenic, Kluwer Academic, Chapter 4, USA.
57. Welch A. H., Lico M. S. and Hughes J. L., (1988), “**Arsenic in Groundwater of the Western United States**”, Ground Water, Vol 26, p 33-347.

58. Witcher J. C., (1981), "**Thermal Spring of Arizona**", Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology Open-File Report, Vol 2, No 2, p 1-4.
59. Wood S. A., (2006), "**Rare Earth Element Systematics of Acidic Geothermal Waters from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand**", Journal of Geochemical Exploration, Vol 89, p 424-427.
60. Yuana J., Maoa X. and Wanga Y., (2012), "**REE Geochemistry of Hot Springs, Northeast Guangdong, China**".

منابع اینترنتی:

www.ngdi.ir

Abstract

Growing of the population increases the use of energy and therefore the use of renewable energy as the best replacement for fossil fuel. On the other hand, due to running out of fossil energy resources, natural and environmental hazards and high costs, switching to clean energy seems logic. Different geological and exploration techniques are required to be employed to locate the best targets for geothermal as the future energy resources.

According to the situation of Iran in geothermal belt, there are different geothermal fields. This confirmed by previous studies of potential geothermal resources in some parts of Iran. The East Azerbaijan Province is considered as a target, according to the young volcano and hot springs where the temperature will exceed 50 °C.

In this study, the geochemical behavior of some of elements such as REE, As, Cl, B, Ge, Ga and Hg in water samples, soil and rock in geothermal areas has been investigated and compared with that of other parts of the world. The Ghare Aghaj area can be considered as an important geothermal potential with a large argillic alteration as the indication of hydrothermal activities, in addition to high concentrations of Hg and As in soil samples and As in water's Manshage-Charoimagh. Kaleibar region is the next target due to high concentrations of Mo and Ga in water sample of spring AbishAhmad and high concentration of Hg in soil samples. Bostanabad and Lighavan areas can also be important, due to the high concentrations of As, B, Sr and Ge at their spring water samples, and Hg content in soil samples around their springs. Mianeh and Hashtrud area show higher concentrations of more trace elements, that can be associated with deep hydrothermal systems. Geothermometry studies revealed GhareAghaj as the hottest and Kaleibar region as the lowest reservoirs in eastern Azerbaijan province.

Key Word: Geothermal, East Azerbaijan, Trace Elements, Rare Earth Elements



University of Shahrood

Faculty of Mining Engineering Petroleum and Geophysics

**Combination of hydrogeochemistry and lithogeochemistry studies of
trace and rare earth elements to explore geothermal resource, Case
study: East Azerbaijan**

Elyas Askari

Supervisors:

Dr. S. R. Ghavami Reyabi

Dr. F. Dolati Ardajani

Sep 2015

