

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی غلظت فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی

منطقه اکتشافی طلای هیرد و ارتباط آن با سنگ‌شناسی منطقه

(جنوب بیرجند)

نگارش:

الهام دم‌شناس

اساتید راهنما:

دکتر بهناز دهر آزما

دکتر محمود صادقیان

استاد مشاور:

مهندس علی عسکری

پایان نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهار ۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین
گروه: زمین شناسی زمین محلی

پایان نامه کارشناسی ارشد (رساله دکتری) آقای / خانم (نام و نام خانوادگی)
تحت عنوان: بررسی غلظت فلزات سنگین در آب های زیر زمینی منطقه

اساساً در ارتباط با این پایان نامه در تاریخ ۲۳/۰۳/۱۳۸۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

(رساله دکتری) مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاتید مشاور	امضاء	استاتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: محمد مکرینی		نام و نام خانوادگی: بهنا زردچوگان
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: محمد صابری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	استاتید داور
	نام و نام خانوادگی: عبد معین کاظمی		نام و نام خانوادگی: فرزانه زین
			نام و نام خانوادگی: عبد معین کریمی
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم به

پدر و مادرم

آنان که نخستین مربیان و بزرگترین حامیان زندگیم بودند

همسرم

او که آرامش خاطر من بود

و

پیشکشی ناچیز به سرزمینم **ایران**

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس پروردگار یکتا را که لطف و کرم بی‌کرانش اینجانب را نیز در بر گرفت تا به وسع توان خویش گامی کوچک در گستره علم و معرفت بردارم و میسر گشت تا از خرمن دانش و تجربه بزرگان و نیکاندیشان خوشه‌چینی کرده باشم.

اکنون به یاری خداوند متعال، این دوره پر خاطره از دوران تحصیلم را به پایان رسانده‌ام هر چند واژه‌ها را یارای آن نیست که لطف و محبت و بزرگواری آنانی را که در تمام دوران زندگی‌ام جرعه نوش دریای مهر و محبتشان بوده‌ام به تصویر بکشم، اما به رسم ادب و احترام بوسه بر دستانشان زده و بر خود واجب می‌دانم، زحمات پدر و مادر و همسر مهربانم را که همواره راه‌گشای مشکلاتم در تمام مراحل زندگی بوده‌اند ارج نهاده و مراتب تشکر قلبی و باطنی خویش را از الطاف و مهربانی‌های آن‌ها ابراز دارم. همچنین لازم می‌دارم که از زحمات فراوان استاد توانمندم خانم دکتر دهرآزما که با راهنمایی‌ها و نظرات ارزنده و صبر و حوصله فراوان، نقش مهمی در به ثمر رساندن این کار داشته‌اند صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم، بی‌تردید انجام این پایان‌نامه بدون همکاری و راهنمایی ایشان امکان پذیر نمی‌شد. از استاد بزرگواریم آقای دکتر محمود صادقیان و مهندس علی عسکری کمال تشکر را دارم. از اساتید دانشکده علوم زمین، دکتر گودرزی (دانشکده شیمی) و مهندس اعتباری (سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی)، از دکتر کرمی و دکتر فردوست که زحمت داوری این پایان‌نامه را قبول نموده‌اند، همچنین از دوستان بزرگواریم خانم کیانی، محمدی، جمشیدی، حمیدی و آقایان ثوابی، نعیمی و شریفی که مایه دلگرمی این جانب بوده و متحمل زحمات زیادی شدند نهایت سپاس‌گزاری و امتنان را دارم.

چکیده

موضوع این تحقیق، بررسی تأثیر کانه‌زایی طلا، بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی طلای هیرد می‌باشد. منطقه مورد مطالعه، با مساحت تقریبی ۱۲۸ کیلومتر مربع، در جنوب بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع شده است. متوسط درجه حرارت سالانه منطقه، ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه آن، ۱۷۱/۵ میلی‌متر می‌باشد و منطقه دارای آب و هوای خشک است. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های رسوبی ژوراسیک، کرتاسه و پالئوسن و سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت- داسیت به سن ائوسن است. توده‌های گرانیتوئیدی اسیدی- حدواسط نوع I در حد دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت با سن الیگوسن در این مجموعه نفوذ نموده‌اند. عملکرد سیالات گرمایی، به کانی- سازی Au، Sb و As منجر شده که بیشتر با رگه و رگچه‌های سیلیسی همراه است. رگه‌های کانه‌دار در منطقه معمولاً، مهمترین منبع آلودگی و عامل پراکندگی عناصر و فلزات سنگین در منطقه می‌باشد. زون اصلی کانی‌سازی در دامنه شمالی کوه سیاه کمر (در مرکز منطقه) قرار دارد. جهت نمونه‌برداری، با انجام بازدیدهای صحرائی از منطقه، محل قنات‌ها و چاه‌ها مشخص گردید. نمونه‌های آبی جهت تعیین پارامترهای مختلف فیزیکوشیمیایی از جمله آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم و غلظت عناصر و فلزات سنگین توسط روش‌های مختلف استاندارد و ICP-MS آنالیز گردیدند. جهت بررسی رابطه سنگ‌شناسی با کیفیت منابع آب زیرزمینی، از سنگ‌های منطقه نیز نمونه‌برداری صورت گرفت. ۱۹ مقطع نازک و ۷ مقطع صیقلی تهیه و مطالعه آن‌ها به وسیله میکروسکوپ پلاریزه انجام گرفت. برخی از نمونه‌های سنگ نیز با استفاده از ICP-MS آنالیز گردیدند. نتایج نشان داد که مقدار طلا در سنگ‌های منطقه بین ۰/۶ تا ۶/۸ ppb آرسنیک بین ۲/۶ تا ۱۸۳۵ ppm، بور تا ۳۸ ppm، جیوه تا ۲۱ ppb، گوگرد تا ۷۰ ppm، سلنیم تا ۰/۶ ppm، استرانسیم ۳۴/۵ تا ۳۶۲/۴ ppm می‌باشد و در اطراف مناطق کانی‌سازی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. غلظت کلر، سولفات و سدیم در همه نمونه‌های آبی بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. در نمونه‌های آب، غلظت آرسنیک به ۱۴۲۶ ppb، بور ۲۷۷۸ ppb، گوگرد ۳۴۹ ppm، سلنیم ۱۹/۴ ppb، استرانسیم ۱۳/۵۳ ppm و جیوه ۱/۵ ppb می‌رسد. در پایان فصل تر غلظت کلر، سولفات، سدیم، آرسنیک، بور، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم کاهش و غلظت منیزیم، کلسیم، منگنز، آنتیموان و روی افزایش نشان داده است. همبستگی بالایی عناصری مانند مس با گوگرد، سدیم با استرانسیم، سولفات با بور و منیزیم با سولفات در نمونه‌های آبی نشانه رفتار ژئوشیمیایی مشابه این عناصر می‌باشد. تطابق نحوه توزیع عناصر در نقشه‌های هم‌غلظت مربوط به منابع آب و سنگ بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه، انجام مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی که حضور کانی‌هایی مانند آرسنوپیریت، پیریت و تورمالین را در محیط مشخص می‌سازد و همچنین وجود آلتراسیون‌های مختلف در منطقه، تأثیر سنگ‌ها و کانی‌های منطقه را در کیفیت آب در منابع آب

زیرزمینی روشن می‌سازد. منابع آبی منطقه به طور کلی آلوده به غلظت بالای کلر، سولفات، سدیم، آرسنیک، بور، سلنیم و جیوه بوده و برای آشامیدن مناسب نمی‌باشد.

کلمات کلیدی: منطقه معدنی طلای هیرد، آب زیرزمینی، آلودگی، فلزات سنگین، سنگ‌شناسی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. دهرآزما ب، دم شناس الف، (۱۳۸۷)، "بررسی تأثیر کانی‌های سولفیدی بر کیفیت آب چاه‌های منطقه اکتشافی طلای هیرد (جنوب بیرجند)"، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۳۰ بهمن - ۲ اسفند، اهواز.
۲. دم شناس الف، دهرآزما ب، (۱۳۸۸)، "بررسی نوع و منشأ آلودگی قنات بصیران در منطقه معدنی طلای هیرد (جنوب بیرجند)"، سومین کنفرانس روز جهانی محیط زیست، ۱۴ - ۱۵ مرداد، تهران.
۳. دم شناس الف، دهرآزما ب، صادقیان م، عسکری ع، (۱۳۸۸)، "بررسی میزان تأثیر کانه‌زایی طلا بر پراکندگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه اکتشافی طلا- قلع هیرد (شمال غرب نهبندان)"، هفدهمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، ۲۱ - ۲۳ مرداد، همدان.
۴. دم شناس الف، دهرآزما ب، صادقیان م، عسکری ع، (۱۳۸۸)، "بررسی میزان تأثیر کانه‌زایی طلا بر کیفیت آب قنات‌های منطقه اکتشافی طلای هیرد (جنوب بیرجند)"، کنفرانس بین المللی آب، ۲۵ - ۲۷ مرداد، شاهرود.
- ۵- دم شناس الف، دهرآزما ب، صادقیان م، عسکری ع، (۱۳۸۹)، "بررسی غلظت طلا، نقره و آنتیموان در آب‌های زیرزمینی منطقه معدنی طلای هیرد، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۱ - ۲۳ اردیبهشت، کرمانشاه.

فهرست مطالب

ع	فهرست جدول‌ها	.....
ف	فهرست شکل‌ها	.....

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱- مقدمه	.....
۴	۲-۱- طرح مسئله	.....
۵	۳-۱- خصوصیات منطقه	.....
۶	۴-۱- زمین ریخت‌شناسی منطقه	.....
۷	۵-۱- اقلیم و پوشش گیاهی منطقه	.....
۱۰	۶-۱- هیدرولوژی و هیدرژئولوژی منطقه	.....
۱۱	۷-۱- جغرافیای انسانی	.....
۱۲	۸-۱- ضرورت تحقیق	.....
۱۳	۹-۱- اهداف تحقیق	.....
۱۴	۱۰-۱- روش انجام تحقیق	.....
۱۴	۱۱-۱- سازمان‌بندی پایان‌نامه	.....

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه معدنی هیرد

۱۶	۱-۲- مقدمه	.....
۱۶	۲-۲- موقعیت زمین‌شناسی منطقه	.....
۱۷	۳-۲- سنگ‌شناسی محدوده معدنی طلای هیرد	.....
۱۸	۴-۲- مناطق کانی‌سازی در منطقه معدنی هیرد	.....
۱۸	۱-۴-۲- منطقه اکتشافی شماره یک	.....
۱۹	۲-۴-۲- منطقه اکتشافی شماره دو	.....
۱۹	۳-۴-۲- منطقه اکتشافی شماره سه	.....
۲۱	۴-۴-۲- منطقه اکتشافی شماره چهار	.....
۲۱	۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی محدوده اکتشافی هیرد	.....
۲۲	۶-۲- آلتراسیون‌های منطقه	.....
۲۲	۱-۶-۲- آلتراسیون‌های سطحی	.....
۲۲	۱-۱-۶-۲- زون پروپلیتی \pm سیلیسی \pm سربستی	.....
۲۲	۲-۱-۶-۲- زون تورمالین - سربست	.....
۲۲	۳-۱-۶-۲- زون تورمالین - کلریت	.....
۲۳	۴-۱-۶-۲- زون کوارتز - تورمالین - سربست	.....
۲۳	۲-۶-۲- آلتراسیون‌های تحت‌الارضی	.....
۲۳	۱-۲-۶-۲- زون کوارتز + تورمالین \pm سربست \pm کلریت	.....
۲۳	۲-۲-۶-۲- زون پروپلیتی	.....

۲۴.....۷-۲- نوع کانی سازی.....

فصل سوم: مروری بر مطالعات گذشته

- ۲۶.....۱-۳- مقدمه.....
- ۲۶.....۲-۳- معادن طلا در جهان و ایران.....
- ۲۷.....۳-۳- کانی شناسی طلا.....
- ۲۸.....۴-۳- آلتراسیون در کانسارهای طلا.....
- ۲۹.....۵-۳- تأثیرات زیست محیطی معادن طلا.....
- ۳۰.....۶-۳- معادن طلا و آلودگی خاک و آب.....
- ۳۱.....۱-۶-۳- طلا.....
- ۳۲.....۲-۶-۳- آرسنیک.....
- ۳۴.....۳-۶-۳- بور.....
- ۳۴.....۴-۶-۳- کروم.....
- ۳۵.....۵-۶-۳- مس.....
- ۳۶.....۶-۶-۳- منگنز.....
- ۳۶.....۷-۶-۳- مولیبدن.....
- ۳۷.....۸-۶-۳- آنتیموان.....
- ۳۸.....۹-۶-۳- سرب.....
- ۴۰.....۱۰-۶-۳- سلنیم.....
- ۴۰.....۱۱-۶-۳- استرانسیم.....
- ۴۱.....۱۲-۶-۳- روی.....
- ۴۲.....۱۳-۶-۳- جیوه.....
- ۴۳.....۷-۳- عوامل تعیین کننده در انتقال یا رسوب گذاری عناصر.....
- ۴۳.....۱-۷-۳- پتانسیل یونی.....
- ۴۳.....۲-۷-۳- تبادل آنیونی و کاتیونی.....
- ۴۴.....۳-۷-۳- Eh و pH.....
- ۴۵.....۴-۷-۳- شدت هوازدگی.....
- ۴۶.....۵-۷-۳- بافت خاک.....
- ۴۷.....۸-۳- معادن طلا و کیفیت آب های زیرزمینی.....
- ۴۸.....۹-۳- مطالعات پیشین در منطقه.....

فصل چهارم: مواد و روش ها

- ۵۱.....۱-۴- مقدمه.....
- ۵۱.....۲-۴- نمونه برداری.....
- ۵۱.....۱-۲-۴- نمونه برداری از سنگ های منطقه.....
- ۵۲.....۲-۲-۴- نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه.....
- ۵۴.....۳-۴- آماده سازی نمونه ها.....

۵۴	.....	۱-۳-۴- آماده سازی نمونه های آب
۵۴	.....	۲-۳-۴- آماده سازی نمونه های سنگ
۵۵	.....	۴-۴- تعیین اسیدیته
۵۵	.....	۵-۴- تعیین هدایت الکتریکی
۵۵	.....	۶-۴- تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی
۵۵	.....	۷-۴- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین
۵۵	.....	۱-۷-۴- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین در آب
۵۶	.....	۲-۷-۴- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین در خاک
۵۶	.....	۸-۴- تهیه مقاطع نازک

فصل پنجم: خصوصیات سنگ شناسی و کانی شناسی منطقه

۶۴	.....	۱-۵- مقدمه
۶۴	.....	۲-۵- سنگ شناسی منطقه
۶۴	.....	۱-۲-۵- سنگ های آذرین
۶۴	.....	۱-۱-۲-۵- آندزیت های پورفیری
۶۵	.....	۲-۱-۲-۵- گرانودیوریت
۶۶	.....	۳-۱-۲-۵- گرانیت
۶۷	.....	۴-۱-۲-۵- دیوریت
۶۸	.....	۲-۲-۵- سنگ های دگرگونی
۷۰	.....	۳-۲-۵- سنگ های کربناته
۷۰	.....	۳-۵- کانی سازی در منطقه
۷۲	.....	۴-۵- تعیین همبستگی بین عناصر مختلف
۷۳	.....	۵-۵- غلظت عناصر و فلزات سنگین در سنگ های منطقه
۷۳	.....	۱-۵-۵- طلا
۷۳	.....	۲-۵-۵- آرسنیک
۷۳	.....	۳-۵-۵- بور
۷۴	.....	۴-۵-۵- کروم
۷۴	.....	۵-۵-۵- مس
۷۴	.....	۶-۵-۵- منگنز
۷۴	.....	۷-۵-۵- مولیبدن
۷۴	.....	۸-۵-۵- آنتیموان
۷۵	.....	۹-۵-۵- سلنیم
۷۵	.....	۱۰-۵-۵- استرانسیم
۷۵	.....	۱۱-۵-۵- سرب
۷۵	.....	۱۲-۵-۵- روی
۷۵	.....	۱۳-۵-۵- جیوه

فصل ششم: بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی

۸۱	۱-۶- مقدمه
۸۱	۲-۶- تعیین ضریب همبستگی بین پارامترهای مختلف فیزیکوشیمیایی
۸۳	۲-۶- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب زیرزمینی منطقه
۸۳	۱-۲-۶- تغییرات pH
۸۴	۲-۲-۶- بررسی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی
۸۴	۱-۲-۲-۶- کلر
۸۶	۲-۲-۲-۶- سولفات
۸۷	۳-۲-۲-۶- کربنات و بی کربنات
۸۹	۴-۲-۲-۶- نیترات
۹۰	۵-۲-۲-۶- سدیم
۹۱	۶-۲-۲-۶- کلسیم
۹۲	۷-۲-۲-۶- منیزیم
۹۴	۳-۲-۶- کل املاح محلول در آب (T.D.S) و هدایت الکتریکی (EC)
۹۵	۴-۲-۶- سختی
۹۶	۵-۲-۶- غلظت عناصر و فلزات سنگین
۹۶	۱-۵-۲-۶- طلا
۹۷	۲-۵-۲-۶- آرسنیک
۹۸	۳-۵-۲-۶- بور
۹۹	۴-۵-۲-۶- کروم
۱۰۰	۵-۵-۲-۶- مس
۱۰۱	۶-۵-۲-۶- منگنز
۱۰۲	۷-۵-۲-۶- مولیبدن
۱۰۳	۸-۵-۲-۶- گوگرد
۱۰۵	۹-۵-۲-۶- آنتیموان
۱۰۶	۱۰-۵-۲-۶- سلنیم
۱۰۷	۱۱-۵-۲-۶- استرانسیم
۱۰۸	۱۲-۵-۲-۶- سرب
۱۰۸	۱۳-۵-۲-۶- روی
۱۰۹	۱۴-۵-۲-۶- جیوه
۱۱۰	۳-۶- تعیین نوع و تیپ آب در منابع آب زیرزمینی منطقه
۱۱۱	۴-۶- مقایسه کیفیت منابع آب در فصول خشک و تر
۱۱۱	۱-۴-۶- چاه گلچین
۱۱۲	۲-۴-۶- چاه لکتو
۱۱۳	۳-۴-۶- قنات هیرد
۱۱۴	۴-۴-۶- قنات رحیمی
۱۱۵	۵-۴-۶- چاه ابربخه
۱۱۶	۶-۴-۶- قنات بصیران

۱۱۷	۶-۴-۷- قنات همت آباد.....
۱۱۸	۶-۴-۸- قنات نوری.....
۱۲۰	۶-۴-۹- چاه علیزاده.....
۱۲۱	۶-۴-۱۰- قنات شورابه.....

فصل هفتم: بررسی ارتباط کیفیت آب زیرزمینی با سنگ‌شناسی منطقه

۱۲۴	۷-۱- مقدمه.....
۱۲۴	۷-۲- مسیر حرکت آبراهه‌ها.....
۱۲۵	۷-۲-۱- آبراهه‌های شرقی- غربی.....
۱۲۵	۷-۲-۲- آبراهه‌های شمالی- جنوبی.....
۱۲۵	۷-۲-۳- آبراهه‌های غربی- شرقی.....
۱۲۵	۷-۳- روابط مابین عناصر در آب و خاک منطقه.....
۱۲۵	۷-۳-۱- طلا.....
۱۲۸	۷-۳-۲- آرسنیک.....
۱۳۰	۷-۳-۳- بور.....
۱۳۱	۷-۳-۴- کروم.....
۱۳۲	۷-۳-۵- مس.....
۱۳۴	۷-۳-۶- منگنز.....
۱۳۵	۷-۳-۷- مولیبدن.....
۱۳۶	۷-۳-۸- آنتیموان.....
۱۳۸	۷-۳-۹- سلنیم.....
۱۳۹	۷-۳-۱۰- استرانسیم.....
۱۴۰	۷-۳-۱۱- سرب.....
۱۴۲	۷-۳-۱۲- روی.....
۱۴۳	۷-۳-۱۳- جیوه.....
۱۴۴	۷-۴- بررسی مناطق آلوده.....

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱۴۷	۸-۱- مقدمه.....
۱۴۷	۸-۲- خصوصیات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه.....
۱۴۸	۸-۳- ضریب همبستگی بین پارامترهای مختلف در سنگ و آب.....
۱۴۸	۸-۴- پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب زیرزمینی منطقه.....
۱۴۹	۸-۵- غلظت عناصر و فلزات سنگین در آب.....
۱۵۰	۸-۶- نوع و تیپ آب در منابع آب زیرزمینی منطقه.....
۱۵۱	۸-۷- مقایسه کیفیت منابع آب در فصول خشک و تر.....
۱۵۱	۸-۸- ارتباط غلظت عناصر با سنگ‌های منطقه.....

۸-۹- بررسی مناطق آلوده..... ۱۵۲

۸-۱۰- پیشنهادها..... ۱۵۲

منابع..... ۱۵۳

فهرست جدول‌ها

فصل اول

- جدول ۱-۱- افت سالانه سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند ۸
- جدول ۱-۲- طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن ۹

فصل سوم

- جدول ۳-۱- جدایش یونی برخی عناصر بر مبنای پتانسیل یونی ۴۳
- جدول ۳-۲- ظرفیت تبادل کاتیونی برای برخی از اجزاء خاک ۴۴
- جدول ۳-۳- درجه تحرک برخی عناصر در Eh و pH های مختلف ۴۷

فصل چهارم

- جدول ۴-۱- مختصات محل‌های نمونه‌برداری سنگ‌ها ۵۲
- جدول ۴-۲- مختصات محل‌های نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی ۵۴
- جدول ۴-۳- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و دیگر پارامترهای آب در پایان فصل خشک ۵۸
- جدول ۴-۴- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و دیگر پارامترهای آب در پایان فصل تر ۵۹
- جدول ۴-۵- غلظت عناصر در نمونه‌های آب با استفاده از ICP-MS در پایان فصل خشک ۶۰
- جدول ۴-۶- غلظت عناصر در نمونه‌های آب با استفاده از ICP-MS در پایان فصل تر ۶۱
- جدول ۴-۷- غلظت عناصر در سنگ‌ها با استفاده از ICP-MS ۶۲

فصل پنجم

- جدول ۵-۱- ماتریس همبستگی بین عناصر مختلف در سنگ ۷۲

فصل ششم

- جدول ۶-۱- ماتریس همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر در منابع آبی منطقه ۸۲
- جدول ۶-۱- نوع و تیپ آب بر اساس TDS ۹۴
- جدول ۶-۱- طبقه‌بندی آب از نظر سختی ۹۶

فهرست شکل‌ها

فصل اول

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه ۵
- شکل ۱-۲- عکس ماهواره‌ای منطقه معدنی هیرد ۷
- شکل ۱-۳- میانگین بارندگی و درجه حرارت در یک دوره ۲۵ ساله در منطقه ۹
- شکل ۱-۴- مسیر حرکت آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه ۱۱

فصل دوم

- شکل ۲-۱- نمایش منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه تقسیمات ساختمانی- زمین‌شناسی ایران ۱۷
- شکل ۲-۲- نمایش منطقه معدنی هیرد بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران ۲۰
- شکل ۲-۳- روند عمومی گسل‌های موجود در منطقه ۲۱

فصل سوم

- شکل ۳-۱- نمودار Eh و pH در سیستم Au-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۱
- شکل ۳-۲- نمودار Eh و pH در سیستم As-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۳
- شکل ۳-۳- نمودار Eh و pH در سیستم B-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۴
- شکل ۳-۴- نمودار Eh و pH در سیستم Cr-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۵
- شکل ۳-۵- نمودار Eh و pH در سیستم Cu-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۵
- شکل ۳-۶- نمودار Eh و pH در سیستم Mn-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۶
- شکل ۳-۷- نمودار Eh و pH در سیستم Mo-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۷
- شکل ۳-۸- نمودار Eh و pH در سیستم Sb-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۸
- شکل ۳-۹- نمودار Eh و pH در سیستم Pb-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۳۹
- شکل ۳-۱۰- نمودار Eh و pH در سیستم Se-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۴۰
- شکل ۳-۱۱- نمودار Eh و pH در سیستم Sr-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۴۱
- شکل ۳-۱۲- نمودار Eh و pH در سیستم Zn-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۴۱
- شکل ۳-۱۳- نمودار Eh و pH در سیستم Hg-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ ۴۲
- شکل ۳-۱۴- برخی از محیط‌های طبیعی بر روی دیاگرام pH و Eh ۴۵

فصل چهارم

- شکل ۴-۱- محل‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه زمین‌شناسی ۵۳

فصل پنجم

- شکل ۵-۱- آندزیت پورفیری دگرسان شده ۶۵
- شکل ۵-۲- نمایی از پلاژیوکلاز (Pl) اپیدوتی شده (Ep) در آندزیت پورفیری ۶۵
- شکل ۵-۳- تجمع بلورهای هورنبلند سبز که به طور موضعی کلریتی شده (Hb) در آندزیت ۶۵

- شکل ۴-۵- بافت پورفیروئید در گرانودیوریت ۶۶
- شکل ۵-۵- نمایش کلریت (Chl) در گرانودیوریت ۶۶
- شکل ۶-۵- تبدیل هورنبلند به کلریت در گرانودیوریت ۶۶
- شکل ۷-۵- تبدیل هورنبلند (Hb) به اپیدوت (Ep) در گرانودیوریت ۶۶
- شکل ۸-۵- ارتوکلاز (Or) به همراه هورنبلند کلریتی شده (Hb) در گرانیته ۶۷
- شکل ۹-۵- تشکیل تورمالین (To) در گرانیته ۶۷
- شکل ۱۰-۵- پلاژیوکلاز (Pl)، آمفیبول (Hb) و بیوتیت (Bi) در دیوریت ۶۸
- شکل ۱۱-۵- بافت پرفیروئیدی در سنگ دیوریتی با پلاژیوکلازهایی با ماکل پلی سنتتیک ۶۸
- شکل ۱۲-۵- تبدیل شدگی هورنبلند به کلریت در دیوریت ۶۸
- شکل ۱۳-۵- تصویر میکروسکوپی نشان حضور گارنت (Gr) در اسکارن‌های شمال شرق منطقه ۶۹
- شکل ۱۴-۵- ولاستونیت (Wo) و گارنت (Gr) در اسکارن‌های شمال شرق منطقه ۶۹
- شکل ۱۵-۵- حضور کلسیت (Ca) و اپیدوت (Ep) در اسکارن‌های شمال شرق منطقه ۶۹
- شکل ۱۶-۵- اپیدوت و کلریت در شیل توفی دگرگون شده ۶۹
- شکل ۱۷-۵- نمایی از منطقه کانی‌سازی در شمال منطقه ۷۰
- شکل ۱۸-۵- پیریت‌زایی در امتداد شکستگی‌ها ۷۱
- شکل ۱۹-۵- آرسنوپیریت (Asp) به همراه پیروتیت (Py) ۷۱
- شکل ۲۰-۵- آرسنوپیریت (Asp) به همراه کالکوپیریت (Cpyr) ۷۱
- شکل ۲۱-۵- پیریت (Pyr) با سطح ناهموار ۷۲
- شکل ۲۲-۵- حضور مگنتیت در زون‌های کانه‌دار ۷۲
- شکل ۲۳-۵- مقادیر طلا در سنگ‌های منطقه ۷۶
- شکل ۲۴-۵- مقادیر آرسنیک در سنگ‌های منطقه ۷۶
- شکل ۲۵-۵- مقادیر بور در سنگ‌های منطقه ۷۶
- شکل ۲۶-۵- مقادیر کروم در سنگ‌های منطقه ۷۶
- شکل ۲۷-۵- مقادیر مس در سنگ‌های منطقه ۷۷
- شکل ۲۸-۵- مقادیر منگنز در سنگ‌های منطقه ۷۷
- شکل ۲۹-۵- مقادیر مولیبدن در سنگ‌های منطقه ۷۷
- شکل ۳۰-۵- مقادیر آنتیموان در سنگ‌های منطقه ۷۷
- شکل ۳۱-۵- مقادیر سلنیم در سنگ‌های منطقه ۷۸
- شکل ۳۲-۵- مقادیر استرانسیم در سنگ‌های منطقه ۷۸
- شکل ۳۳-۵- مقادیر سرب در سنگ‌های منطقه ۷۸
- شکل ۳۴-۵- مقادیر روی در سنگ‌های منطقه ۷۸
- شکل ۳۵-۵- مقادیر جیوه در سنگ‌های منطقه ۷۹

فصل ششم

- شکل ۱-۶- مقادیر pH در آب‌های زیرزمینی ۸۴
- شکل ۲-۶- تغییرات pH در آب‌های زیرزمینی ۸۴
- شکل ۳-۶- غلظت کلر در آب‌های زیرزمینی ۸۵
- شکل ۴-۶- پراکندگی کلر در آب‌های زیرزمینی منطقه ۸۵

- شکل ۵-۶- غلظت سولفات در آب‌های زیرزمینی ۸۷
- شکل ۶-۶- پراکندگی سولفات در آب‌های زیرزمینی منطقه ۸۷
- شکل ۷-۶- غلظت بیکربنات در آب‌های زیرزمینی ۸۸
- شکل ۸-۶- غلظت کربنات در آب‌های زیرزمینی ۸۸
- شکل ۹-۶- پراکندگی بیکربنات در آب‌های زیرزمینی منطقه ۸۸
- شکل ۱۰-۶- پراکندگی کربنات در آب‌های زیرزمینی منطقه ۸۹
- شکل ۱۱-۶- غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی ۸۹
- شکل ۱۲-۶- پراکندگی نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه ۹۰
- شکل ۱۳-۶- غلظت سدیم در آب‌های زیرزمینی ۹۱
- شکل ۱۴-۶- پراکندگی سدیم در آب‌های زیرزمینی منطقه ۹۱
- شکل ۱۵-۶- غلظت کلسیم در آب‌های زیرزمینی ۹۲
- شکل ۱۶-۶- پراکندگی کلسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه ۹۲
- شکل ۱۷-۶- غلظت منیزیم در آب‌های زیرزمینی ۹۳
- شکل ۱۸-۶- پراکندگی منیزیم در آب‌های زیرزمینی منطقه ۹۳
- شکل ۱۹-۶- غلظت کل املاح محلول در آب‌های زیرزمینی ۹۴
- شکل ۲۰-۶- پراکندگی کل املاح محلول در آب‌های زیرزمینی منطقه ۹۵
- شکل ۲۱-۶- مقایسه تغییرات کل املاح محلول و هدایت الکتریکی در آب‌های زیرزمینی ۹۵
- شکل ۲۲-۶- مقدار سختی کل در آب‌های زیرزمینی ۹۶
- شکل ۲۳-۶- غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی ۹۷
- شکل ۲۴-۶- پراکندگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه ۹۷
- شکل ۲۵-۶- غلظت بور در آب‌های زیرزمینی ۹۸
- شکل ۲۶-۶- پراکندگی بور در آب‌های زیرزمینی منطقه ۹۹
- شکل ۲۷-۶- غلظت کروم در آب‌های زیرزمینی ۱۰۰
- شکل ۲۸-۶- پراکندگی کروم در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۰
- شکل ۲۹-۶- غلظت مس در آب‌های زیرزمینی ۱۰۱
- شکل ۳۰-۶- پراکندگی مس در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۱
- شکل ۳۱-۶- غلظت منگنز در آب‌های زیرزمینی ۱۰۲
- شکل ۳۲-۶- پراکندگی منگنز در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۲
- شکل ۳۳-۶- غلظت مولیبدن در آب‌های زیرزمینی ۱۰۳
- شکل ۳۴-۶- پراکندگی مولیبدن در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۳
- شکل ۳۵-۶- غلظت گوگرد در آب‌های زیرزمینی ۱۰۴
- شکل ۳۶-۶- پراکندگی گوگرد در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۴
- شکل ۳۷-۶- غلظت آنتیموان در آب‌های زیرزمینی ۱۰۵
- شکل ۳۸-۶- پراکندگی آنتیموان در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۵
- شکل ۳۹-۶- غلظت سلنیم در آب‌های زیرزمینی ۱۰۶
- شکل ۴۰-۶- پراکندگی سلنیم در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۶
- شکل ۴۱-۶- غلظت استرانسیم در آب‌های زیرزمینی ۱۰۷
- شکل ۴۲-۶- پراکندگی استرانسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه ۱۰۷

- شکل ۶-۴۳- غلظت روی در آب‌های زیرزمینی..... ۱۰۸
- شکل ۶-۴۴- پراکندگی روی در آب‌های زیرزمینی منطقه..... ۱۰۹
- شکل ۶-۴۵- غلظت جیوه در آب‌های زیرزمینی ۱۰۹
- شکل ۶-۴۶- نمودار پایپر برای آب‌های زیرزمینی منطقه..... ۱۱۰
- شکل ۶-۴۷- نمودار استیف برای آب‌های زیرزمینی منطقه..... ۱۱۱
- شکل ۶-۴۸- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه گلچین..... ۱۱۲
- شکل ۶-۴۹- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه گلچین ۱۱۲
- شکل ۶-۵۰- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه لکتو..... ۱۱۳
- شکل ۶-۵۱- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه لکتو ۱۱۳
- شکل ۶-۵۲- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات هیرد..... ۱۱۴
- شکل ۶-۵۳- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات هیرد..... ۱۱۴
- شکل ۶-۵۴- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات رحیمی ۱۱۵
- شکل ۶-۵۵- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات رحیمی ۱۱۵
- شکل ۶-۵۶- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه ابربخه ۱۱۶
- شکل ۶-۵۷- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه ابربخه ۱۱۶
- شکل ۶-۵۸- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات بصیران..... ۱۱۷
- شکل ۶-۵۹- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات بصیران ۱۱۷
- شکل ۶-۶۰- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات همت آباد ۱۱۸
- شکل ۶-۶۱- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات همت آباد ۱۱۸
- شکل ۶-۶۲- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات نوری..... ۱۱۹
- شکل ۶-۶۳- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات نوری..... ۱۱۹
- شکل ۶-۶۴- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه علیزاده..... ۱۲۰
- شکل ۶-۶۵- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه علیزاده ۱۲۰
- شکل ۶-۶۶- غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات شورابه ۱۲۱
- شکل ۶-۶۷- غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات شورابه..... ۱۲۱

فصل هفتم

- شکل ۷-۱- مسیر حرکت آبراهه‌ها و محل‌های نمونه‌برداری از منابع آبی، بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۲۶
- شکل ۷-۲- مقادیر طلا در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران..... ۱۲۷
- شکل ۷-۳- تغییرات طلا در شرق منطقه اکتشافی شماره ۱ در دو گمانه حفر شده B6 و B7 ۱۲۷
- شکل ۷-۴- مقادیر آرسنیک در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران..... ۱۲۸
- شکل ۷-۵- تغییرات آرسنیک در شرق منطقه اکتشافی شماره یک در گمانه حفر شده ۱۲۹
- شکل ۷-۶- توزیع آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۲۹
- شکل ۷-۷- مقادیر بور در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۰
- شکل ۷-۸- توزیع بور در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران..... ۱۳۱
- شکل ۷-۹- مقادیر کروم در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۲
- شکل ۷-۱۰- توزیع کروم در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۲
- شکل ۷-۱۱- مقادیر مس در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۳

- شکل ۷-۱۲- تغییرات مس شرق در منطقه اکتشافی شماره یک در گمانه‌های حفر شده B6 و B7..... ۱۳۳
- شکل ۷-۱۳- توزیع مس در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱۳۴
- شکل ۷-۱۴- مقادیر منگنز در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۴
- شکل ۷-۱۵- توزیع منگنز در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱۳۵
- شکل ۷-۱۶- مقادیر مولیبدن در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۶
- شکل ۷-۱۷- توزیع مولیبدن در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۶
- شکل ۷-۱۸- مقادیر آنتیموان در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۷
- شکل ۷-۱۹- تغییرات آنتیموان در شرق منطقه اکتشافی یک در گمانه B7..... ۱۳۷
- شکل ۷-۲۰- توزیع آنتیموان در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۸
- شکل ۷-۲۱- مقادیر سلنیم در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۳۸
- شکل ۷-۲۲- توزیع سلنیم در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱۳۹
- شکل ۷-۲۳- مقادیر استرانسیم در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۴۰
- شکل ۷-۲۴- توزیع استرانسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱۴۰
- شکل ۷-۲۵- مقادیر سرب در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۴۱
- شکل ۷-۲۶- تغییرات سرب در شرق منطقه اکتشافی شماره یک در گمانه B6 و B7 ۱۴۱
- شکل ۷-۲۷- مقادیر روی در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۴۲
- شکل ۷-۲۸- تغییرات روی در شرق منطقه اکتشافی شماره یک در گمانه B6 و B7..... ۱۴۳
- شکل ۷-۲۹- توزیع روی در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱۴۳
- شکل ۷-۳۰- مقادیر جیوه در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران ۱۴۴
- شکل ۷-۳۱- نمایش غلظت ترکیبات و عناصر بالاتر از حد استاندارد بر روی عکس ماهواره‌ای ۱۴۵

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

ذخایر معدنی از مهمترین زیر ساخت‌های اقتصادی و صنعتی در هر جامعه‌ای محسوب می‌شوند. اکتشاف ذخایر معدنی، سابقه طولانی به قدمت تاریخ بشری دارد. از گذشته دور، انسان نیازهای خود را به طرق مختلف از زمین تأمین نموده است و این مسیر همراه با توسعه جوامع بشری به تکامل رسیده و در حال حاضر به یک دانش پیشرفته به نام دانش زمین‌شناسی بدل گردیده است.

در بین ذخایر معدنی، طلا از دیرباز مورد توجه بشر بوده و طی زمان همواره بر ارزش و اهمیت آن افزوده می‌شود. در نیمه دوم قرن بیستم، بخش قابل توجهی از سرمایه‌گذاری معدنی جهان، بر روی اکتشافات دو فلز طلا و مس (حدود ۵۰ درصد) صورت گرفته است. اکتشاف ذخایر طلا، در آخرین دهه این قرن از شکوفایی خاصی برخوردار بوده است. ایران نیز تحت‌تأثیر حرکت جهانی، طی چند سال اخیر، مبالغ زیادی را در زمینه اکتشاف طلا، سرمایه‌گذاری نموده است (علی محمدی ۱۳۸۶).

آمار بالا در تولید طلا، شتاب جوامع امروزی را، در اکتشاف، استخراج و فرآوری طلا نشان می‌دهد، به طوری که آفریقای جنوبی با ۷۲/۳ درصد تولید جهانی در رتبه اول و کشورهای ایالات متحده امریکا، استرالیا، کانادا، چین و روسیه به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند. حدود ۴ تا ۲۰ درصد طلای تولیدی در جهان مربوط به محصول جانبی سایر معادن از جمله معادن مس پورفیری است. ایران نیز تقریباً ۰/۲ درصد تولید طلای جهانی را در اختیار دارد (بصیری و نبی یان جوردی ۱۳۸۷).

ذخایر معدنی، گاه به طور طبیعی یکی از منابع مهم آلودگی در منطقه محسوب می‌شوند و در بسیاری موارد، محیط پیرامون خود را به شدت آلوده نموده و در نتیجه ساکنین این مناطق را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. انتشار آلودگی‌های این ذخایر از طریق آب، خاک و هوا، بیماری‌های متعددی در انسان و طیور ایجاد و گاه کشاورزی در منطقه را به صفر می‌رساند (زارع نقدهی و همکاران ۱۳۸۶). آلودگی آب‌های زیرزمینی، صرفاً مربوط به فعالیت‌های معدنی و انباشت سنگ‌های باطله نیستند و در واقع ذخایر، خود آلوده کننده محیط زیست به شمار می‌آیند و فعالیت‌های معدنکاری باعث افزایش نرخ آلودگی در آب، خاک و هوای اطراف می‌شود (Nordstrom 2008). در این بین، ذخایر طلا به علت

همراهی فلزات سنگین و مواد شیمیایی مورد استفاده در استخراج و فرآوری آن (همانند سیانید و جیوه)، از اهمیتی فراتر برخوردارند.

تحقیقات بسیاری در ارتباط با تأثیرات زیست‌محیطی حضور ذخایر طلا و فعالیت‌های بشری در مراحل اکتشاف، استخراج و فرآوری طلا در سطح جهان صورت گرفته است و اکنون نیز در حال انجام می‌باشد. هوازگی کانی‌های سولفیدی همانند پیریت و آرسنوپیریت و تعویض کاتیونی، مهمترین فرآیندهایی هستند که در کانسنگ طلا، کیفیت آب منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Kortatsi et al. 2007). غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، به علت هوازگی پیریت و ژپیس‌های ثانویه، همچنین فلزاتی مانند آرسنیک و آنتیموان به علت تجزیه آرسنوپیریت و استینیت در آب اطراف معادن طلا، بالا است (Armah et al. 2006, Lawrence and Higgs 2007). یکی از مهمترین عوامل ایجاد خطر در خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور غنا و جنوب کره، حضور ذخایر طلا می‌باشد (Kuma 2003, Kuma and Younge 2004, Armah et al. 2006). آلودگی فلزات سنگین در رودخانه Montana رومانی، که شامل تمرکز بالای آرسنیک، کادمیوم، منگنز، سرب و روی می‌باشد (Florea et al. 2005) و وجود غلظت بالای آرسنیک در آب‌های زیرزمینی شمال نوادا و حوضه Artiguas نیکاراگوئه (Earman and Hershey 2004, Mendoza and Barmen 2007) ناشی از ذخایر طلا و فعالیت‌های معدنی در مناطق ذکر شده می‌باشد.

از سویی، با گسترش جمعیت جهان، بالا رفتن استانداردهای زندگی و به دنبال آن، افزایش مصرف آب، استفاده از آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین آب بشر، مورد توجه زیادی قرار گرفته است (شعبانیان و همکاران ۱۳۸۴). ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه آن، در حدود ۲۵۰ میلی‌متر بوده که از یک سوم متوسط بارندگی سالانه جهان کمتر است و منابع آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب مصرفی (شرب، کشاورزی و صنعتی) در کشور ما می‌باشد. بنابراین، بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی، قبل از معدنکاری و در

طی مراحل مختلف، اکتشاف، استخراج و فرآوری‌های مواد معدنی، یکی از ضرورت‌های موضوعات تحقیقاتی می‌باشد.

با توجه به اهمیت بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی و تأثیرات بسزای زیست‌محیطی حضور ذخایر طلا و فعالیت‌های معدنی، در این تحقیق سعی بر آن است که میزان تأثیرگذاری حضور کانسار طلای هیرد (جنوب بیرجند) بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. این تحقیق کمک بسزایی در مدیریت صحیح آب و خاک و انجام برنامه‌ریزی مناسب جهت استخراج و فرآوری طلا در منطقه خواهد نمود.

۱-۲- طرح مسئله

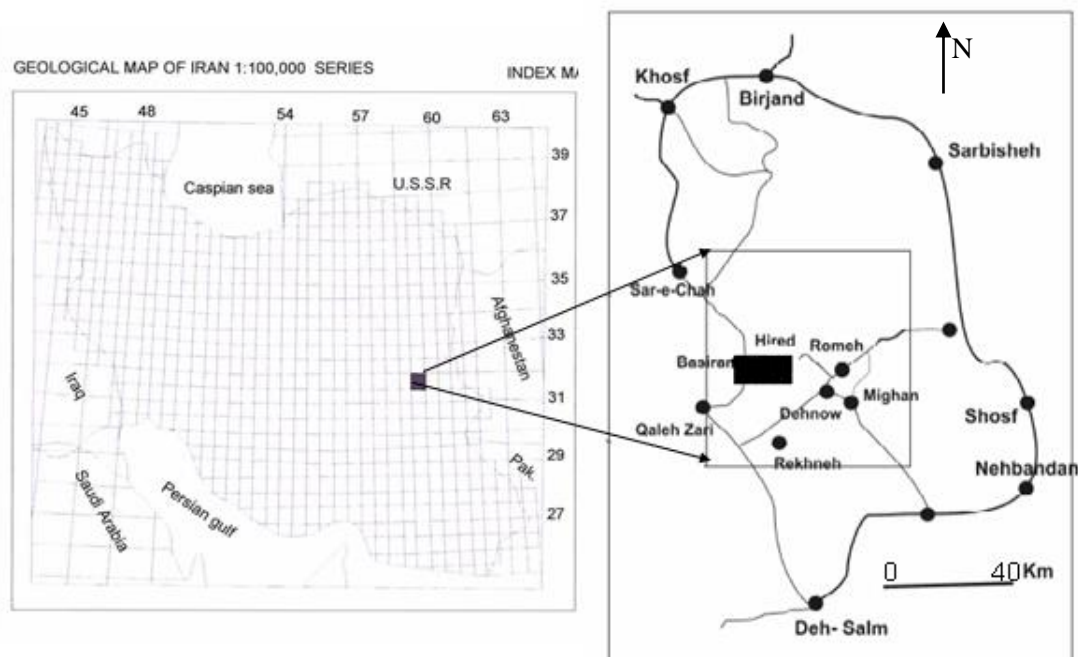
داشتن محیط زیست سالم، از اصول توسعه پایدار در هر کشوری است و بی توجهی به آن پیامدهای ناگواری را بر محیط و جوامع انسانی خواهد گذاشت. ذخایر معدنی مواد لازم برای حیات بشر را فراهم و از طرفی با افزودن آلودگی‌ها امکان حیات و استفاده از محیط زیست سالم را از بشر سلب می‌کنند (امیری ۱۳۸۶). با توجه به اینکه ایران یک کشور در حال توسعه است، برای پیشرفت خود ناچار به توسعه فعالیت‌های معدنکاری (اکتشاف، استخراج و فرآوری) می‌باشد. برای توسعه پایدار کشور لازم است تا جنبه‌های زیست‌محیطی معدنکاری در تمام مراحل اکتشاف، استخراج و فرآوری در نظر گرفته شود تا از افزایش آلودگی‌ها در منطقه جلوگیری به عمل آید.

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه ای و بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی و زیرزمینی (حفاری و ترانشه) که از سوی سازمان زمین‌شناسی صورت گرفت، منطقه هیرد را در سال ۱۳۷۹ به عنوان یک گستره اکتشافی طلا معرفی نمود (کریم پور و همکاران ۱۳۸۶). بدین منظور این تحقیق بر آن است که به تعیین کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه و نحوه پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر سنگین در منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها و قنات‌ها) بپردازد. همچنین با انجام بررسی‌های سنگ‌شناسی و مطالعه کانی-های منطقه، ارتباط سنگ‌شناسی منطقه با کیفیت آب را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد و در نهایت

نقشه‌ای از نحوه توزیع این عناصر در سنگ‌ها و منابع آب منطقه تهیه نماید. نتایج این تحقیق را می‌توان برای مدیریت صحیح، در جهت بهینه‌سازی در استخراج، احداث کارخانه فرآوری و محل ذخیره‌سازی باطله‌ها استفاده نمود.

۳-۱- خصوصیات منطقه

منطقه مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۱۲۸ کیلومتر مربع در جنوب بیرجند در استان خراسان جنوبی، بین طول‌های جغرافیایی $59^{\circ}05'00''$ و $59^{\circ}15'00''$ و عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ}54'00''$ و $31^{\circ}59'00''$ واقع شده است (شکل ۱-۱) و منطقه معدنی طلای هیرد بخشی از محدوده مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه (عسکری و صفری ۱۳۸۲)

دسترسی به محدوده مورد مطالعه از ۲ طریق امکان‌پذیر است. یکی از طریق جاده بیرجند- نهبندان که پس از عبور از شهرستان سربیشه و مزار سید علی، در سه راهی اسماعیل آباد، مسیر را به سمت غرب عوض کرده و با طی مسافت ۸۰ کیلومتر و عبور از آبادی‌های اسماعیل آباد، فرو آباد، چاه یزدان،

محل آباد و زهری به هیرد و بصیران می‌رسد. دومین مسیر جهت دسترسی به منطقه از طریق جاده بیرجند، خوسف، بصیران و هیرد است. داخل محدوده مورد مطالعه، به جز راه خاکی مسیر بصیران به هیرد و ده نو راه دیگری وجود ندارد (عسکری و صفری ۱۳۸۲).

۱-۴- زمین ریخت‌شناسی منطقه

زمین ریخت‌شناسی منطقه بیشتر به صورت ارتفاعات صخره‌ساز و کمتر به صورت محدوده‌های دشت و تپه ماهوری است. علت این نوع ریخت‌شناسی، وجود لیتولوژی‌های متفاوت و تأثیر عوامل زمین-ساختی به خصوص سامانه گسلی نه‌بندان در شرق محدوده، همراه با عوامل فرسایشی در این منطقه می‌باشد. روند عمومی رخنمون‌های صخره‌ساز منطقه به صورت شمال شرق، جنوب غرب است (عسکری و صفری ۱۳۸۲).

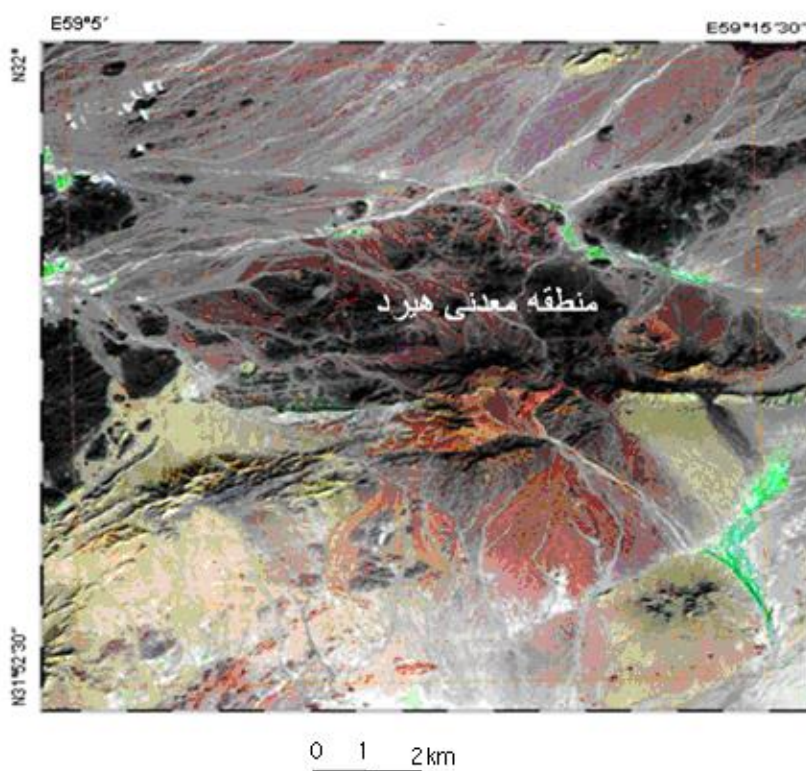
بر این اساس با توجه به تنوع لیتولوژی، سه حالت ریخت‌شناسی را می‌توان در منطقه مشاهده کرد که شامل:

(۱) ریخت‌شناسی صخره‌ساز و ارتفاع‌ساز که شامل توف‌های آندزیتی بلورین دانه ریز به رنگ تیره، توف شیشه‌ای، روانه‌های آندزیتی با سن ائوسن است که در برگیرنده بخش‌های جنوبی منطقه است.

(۲) ریخت‌شناسی نرم صاف و کم ارتفاع که بیشتر شامل پیروکسن‌آندزیت، آندزیت با بافت پرفیری و آندزی‌بازالت با سن بعد از ائوسن می‌باشد که بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد.

(۳) ریخت‌شناسی نرم و کم ارتفاع که نسبت به بقیه روشن‌تر و شامل توف‌های آندزیتی، دیوریت و میکروگرانودیوریت با سن بعد از ائوسن است و تقریباً در بخش‌های مرکزی و شمالی محدوده دیده می‌شود (علی محمدی ۱۳۸۶).

ارتفاع متوسط منطقه تقریباً ۱۵۰۰ متر می‌باشد. عمده‌ترین ارتفاعات را در منطقه کانی‌سازی داریم. در قسمت‌های شمالی و خصوصاً جنوبی از ارتفاعات کاسته می‌شود. بلندترین ارتفاع در منطقه زیر سایه در محل کانی‌سازی با ۱۸۲۳ متر و کمترین ارتفاع در روستای علی آباد (شمال غرب منطقه مورد مطالعه) با ۱۳۸۰ متر قرار دارد. عکس ماهواره‌ای و ارتفاعات منطقه در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲: عکس ماهواره‌ای منطقه معدنی هیرد

۱-۵- اقلیم و پوشش گیاهی منطقه

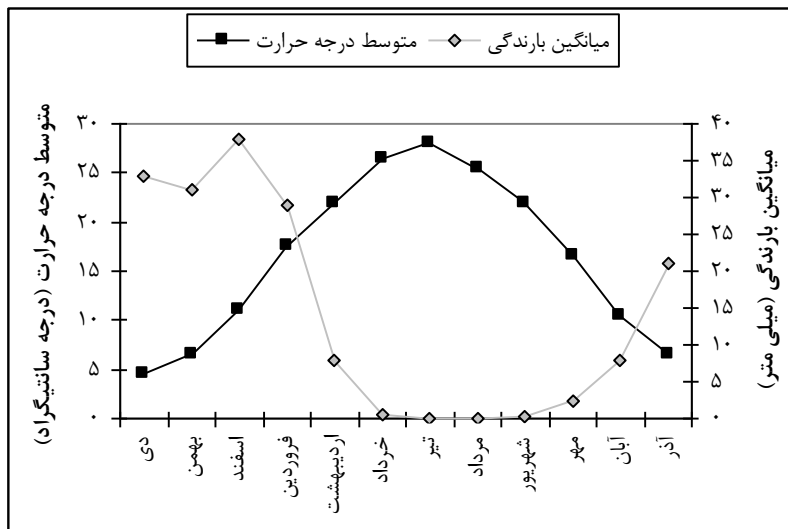
ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک، دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در سال‌های اخیر نیز خشک‌سالی در کشور، خسارات زیادی به بار آورده است. منابع آب سطحی و زیرزمینی خراسان جنوبی طی چند سال اخیر دچار کاهش شدیدی شده و با افزایش شوری و املاح، کیفیت آب کاهش یافته است. اکثر قنات‌ها خشک شده و سطح منابع زیرزمینی، کاهش یافته به

طوری که در بیشتر دشت‌های منطقه از نظر حفر چاه ممنوعه اعلام شده است (مرکز آمار ایران ۱۳۸۷). در جدول ۱-۱ افت سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند آورده شده است (لیاقت ۱۳۸۷). بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۱ - ۱۳۸۶) متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد، تیر ماه گرمترین ماه سال و سردترین ماه سال دی می‌باشد. همچنین متوسط بارندگی سالیانه ۱۷۱/۵ میلی‌متر و پر باران‌ترین ماه سال اسفند و کم باران‌ترین آن تیر و مرداد ماه است (سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۳۸۷).

جدول ۱-۱: افت سالانه سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند (لیاقت ۱۳۸۷)

سال آبی	میزان افت (cm)	متوسط افت (cm)
۶۵-۶۶	-۱۸	-۲۰/۵
۶۶-۶۷	-۱۹	
۶۷-۶۸	-۲۱	
۶۸-۶۹	-۱۹	
۶۹-۷۰	-۳۶	
۷۰-۷۱	-۳۷	
۷۱-۷۲	+۵	
۷۲-۷۳	-۳۹	
۷۳-۷۴	-۲۰	
۷۴-۷۵	+۶	
۷۵-۷۶	-۲۱	
۷۶-۷۷	-۳۳	
۷۷-۷۸	-۱۵	
۷۸-۷۹	-۶۳	-۶۱/۵
۷۹-۸۰	-۵۶	
۸۰-۸۱	-۴۹	
۸۱-۸۲	-۶۴	
۸۲-۸۳	-۹۵	
۸۳-۸۴	-۴۲	

با ترسیم میانگین بارندگی و درجه حرارت در یک دوره ۲۵ ساله مشخص گردید، که اواخر اردیبهشت پایان فصل تر و اواخر مهر ماه پایان فصل خشک می‌باشد (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: میانگین بارندگی و درجه حرارت در یک دوره ۲۵ ساله در منطقه

برای تعیین اقلیم می‌توان از فرمول دمارتن استفاده نمود (علیزاده ۱۳۸۱):

$$\frac{P}{T+10} = I$$

فرمول شماره ۱-۱:

که در آن P میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)، T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) و I ضریب خشکی دمارتن می‌باشد. بر اساس فرمول دمارتن ۶ نوع آب و هوا قابل طبقه‌بندی می‌باشد (جدول ۱-۲). ضریب خشکی دمارتن در منطقه مورد مطالعه ۰/۵۴ است و در نتیجه منطقه دارای آب و هوای خشک است.

جدول ۱-۲: طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۸۱)

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه‌خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه‌مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

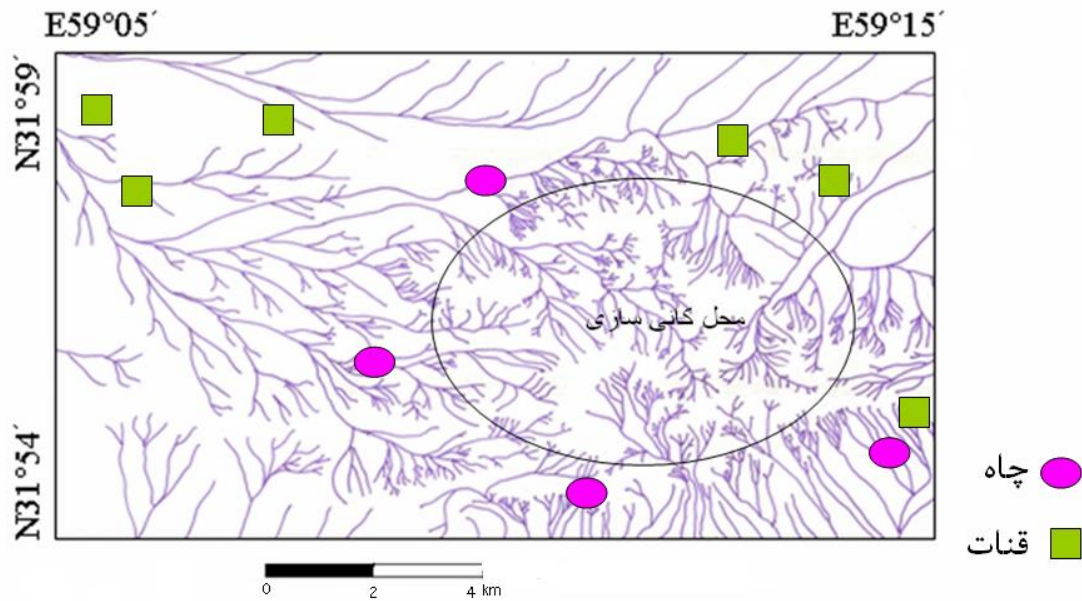
مهمترین ویژگی‌های آب و هوایی منطقه شامل تراکم کم ابرها، رطوبت نسبی کم، وزش بادهای خشک و تند شمالی-جنوبی و تابش شدید خورشید می‌باشد (احمدیان ۱۳۷۵). این منطقه از نظر

پوشش گیاهی فقیر و بوته‌های نواحی بیابانی مانند گون، جارو، اشکان، سارو، گز، طاغ و قبیچ تنها گیاهان این منطقه محسوب می‌شوند. از این رو، به دلیل فقر در پوشش گیاهی و میزان کم آب باران که غالباً به صورت رگبار جاری می‌شود، آب امکان نفوذ در خاک، به ویژه مناطق شیب‌دار را پیدا نمی‌کند و به صورت سیلاب‌های فصلی زندگی انسان، دام و گیاه را به مخاطره می‌اندازد (مهدوی ۱۳۷۲).

۱-۶- هیدرولوژی و هیدرژئولوژی منطقه

رودخانه‌های دائمی، فصلی و مسیل‌ها در حوضه آبرگیر، نقش اساسی در تغذیه سفره آب زیرزمینی دارند. مقدار کم نزولات جوی و سرعت تبخیر زیاد مانع از وجود رودخانه‌های دائمی در این ناحیه شده و آب‌های سطحی منطقه، تنها رودخانه‌های فصلی هستند که هنگام بارندگی به مدت کوتاهی جاری می‌شوند که نه تنها فرصت استفاده مناسب از آن‌ها نیست، بلکه موجب فرسایش شدید خاک نیز می‌شوند (عسکری و صفری ۱۳۸۲). آبراهه‌ها از محل کانی‌سازی که مهمترین ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند، منشأ و به اطراف پراکنده می‌شوند (شکل ۱-۴). در منطقه مورد مطالعه آبخوان‌ها از نوع آبرفتی و سازند سخت بوده که در شمال غربی منطقه، معمولاً از نوع آبرفتی و در بخش‌های دیگر از نوع سازند سخت می‌باشند.

جهت جریان آب زیرزمینی در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه، شرقی- غربی و در بخش‌های جنوبی، شمالی- جنوبی و در بخش‌های شرقی، غربی- شرقی می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۳۸۷).



شکل ۱-۴: مسیر حرکت آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه

قنات‌ها و چاه‌های بسیاری همانند چاه ابریکه در جنوب غرب، چاه محمد رحیم در جنوب، قنات شورابه و گلچین در شرق، قنات هیرد، رحیمی، چاه چمن آرا و چوپانی در شمال شرق، چاه محمدرمضان و علیزاده در شمال، قنات همت آباد، کمرسبز، نوری، بصیران، علی آباد، خالق آباد، اکبری و میان دشت در شمال غرب را می‌توان نام برد.

مهمترین قنات‌های منطقه، قنات بصیران و هیرد بوده که تأمین‌کننده آب ساکنین روستای بصیران و هیرد می‌باشند. از آب این قنات‌ها علاوه بر آشامیدن، برای کشاورزی نیز استفاده می‌شود. قنات همت آباد، تأمین‌کننده آب روستای همت آباد و قنات نوری مورد استفاده ساکنین روستای خونی آباد می‌باشد. افراد کلاته‌های پراکنده در منطقه نیز، از چاه‌ها و قنات‌های اطراف استفاده می‌کنند.

۱-۷- جغرافیای انسانی

از آنجا که منطقه مورد مطالعه در نواحی کویری کشور قرار گرفته و به دلیل تبخیر فراوان و عدم وجود رودخانه‌های دائمی، فقط در مناطقی که دسترسی به آب امکان‌پذیر بوده، روستاها و کلاته‌هایی

کوچک بنا شده است. مهمترین روستاهای منطقه که به دهستان قلعه زری از توابع بخش خوش شهرستان بیرجند تعلق دارند، به قرار زیر است:

روستای هیرد در شمال شرق منطقه، دارای ۲۵ خانوار می‌باشد. روستای بصیران در حدود ۱۰ کیلومتری غرب روستای هیرد، دارای ۵۸ خانوار است که بر اساس سرشماری مرکز آمار ایران (۱۳۸۵) ۳۱۳ نفر جمعیت دارد. روستای همت آباد، علی آباد، خونی آباد، حسین آباد، اکبریه، میان دشت، فخرآباد در شمال غرب منطقه که معمولاً هر کدام ۱۵ تا ۲۵ خانوار دارند. علاوه بر این، کلاته‌هایی کوچک همانند کلاته محمد رمضان و همت آباد در مرکز و کلاته محمد رحیم در جنوب منطقه وجود دارد. امرار معاش اهالی منطقه، بیشتر دامپروری و در نقاطی کشاورزی‌های کوچک و سنتی با استفاده از رشته قنات‌های موجود می‌باشد. به دلیل نزدیکی به معادن مختلفی چون مس قلعه زری و سنگ‌های تزئینی اطراف، برخی از اهالی در این معادن مشغول به کار می‌باشند. در بین ساکنین بیماری‌های گوارشی (اسهال و استفراغ)، سوزش و قرمزی چشم به وفور دیده می‌شود.

۱-۸- ضرورت تحقیق

ذخایر معدنی در اکثر جوامع، به عنوان یکی از عوامل زیربنایی اقتصاد، مورد توجه می‌باشند. لیکن بدون توجه به اثرات سوء زیست‌محیطی و عواقب فعالیت‌های معدنکاری، جامعه انسانی باید هزینه زیادی را برای پاکسازی اثرات آن‌ها، متحمل گردد. بنابراین برآورد تأثیرات زیست‌محیطی حضور معادن و معدنکاری در بدو فعالیت معدن الزامی می‌باشد. افزایش نگرانی‌های ناشی از اثرات ذخایر طلا به خصوص اکسایش کانی‌های سولفیدی و تأثیر نامطلوب بر محیط زیست، موجب شده که تحقیقات زیادی در این زمینه صورت پذیرد (Aykol et al. 2003, Earman and Hershey 2004, Rao and Reddy 2006, Hakkou et al. 2008, Nordstrom 2008).

از آن جایی که بحران آب از چالش‌های مهم منطقه خاورمیانه و خصوصاً ایران می‌باشد، محدودیت منابع آبی در آینده مشکلات جدی را ایجاد می‌نماید. خراسان جنوبی از جمله مناطق خشک کشور است که به دلیل اندک بودن ریزش‌های جوی از وجود آب‌های سطحی دائمی کم بهره است. در این راستا در جهت برآورد و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کانه‌زایی طلای هیرد بر منابع آب زیرزمینی منطقه، تحقیق حاصل طراحی شد. این در حالی است که، مهمترین منابع آبی موجود را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهد که سفره آن‌ها کوچک و متأثر از کانسار طلا می‌باشد. از آن جایی که معدن در مرحله اکتشافی می‌باشد و تاکنون هیچ گونه کار زیست‌محیطی در منطقه انجام نشده است، بنابراین تعیین آلودگی در آب و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا، جهت مدیریت صحیح معدنکاری در آینده ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۹- اهداف تحقیق

در این تحقیق سعی بر آن است که، از آب‌های زیرزمینی منطقه در پایان دو فصل تر و خشک نمونه- برداری شده و نمونه‌ها برای تعیین غلظت آنیون و کاتیون‌های مهم و همچنین فلزات سنگین تحت آنالیز قرار گرفته تا تیپ آبی، نوع و غلظت فلزات سنگین منطقه تعیین شود. خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت ارتباط کانی‌سازی طلا و سنگ‌های منطقه با کیفیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مشخص گردد. در این راستا اهداف جزئی زیر مد نظر می‌باشد:

- ۱- تعیین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، عناصر مختلف و دیگر پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند pH، هدایت الکتریکی، سختی، کل املاح محلول در نمونه‌های آبی.

- ۲- بررسی خصوصیات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه از طریق مطالعه مقاطع نازک و صیقلی.

- ۳- تعیین مقدار عناصر در سنگ‌های منطقه.

- ۴- مقایسه کیفیت آب‌ها با استانداردهای آب آشامیدنی از نظر غلظت عناصر و پارامترهای مهم.

- ۵- نمایش توزیع عناصر در منابع آب زیرزمینی و همچنین سنگ‌های منطقه.

۶- تعیین ارتباط بین کانی‌سازی انجام گرفته با آلودگی منابع آبی منطقه.

۷- تهیه نقشه پراکندگی عناصر در آب و سنگ‌های منطقه با استفاده از نرم افزار Global mapper.

۱-۱۰- روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق، شامل بررسی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران و ۱:۲۰۰۰۰۰ هیرد، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ بصیران، بررسی مطالعات قبلی انجام شده در منطقه و دیگر نقاط جهان در ارتباط با موضوع تحقیق، تعیین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، انجام نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی و سنگ‌های منطقه، انجام آزمایشات لازم بر روی نمونه‌های آبی و سنگی، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها، جمع بندی اطلاعات و داده‌های بدست آمده و تعیین ارتباط بین سنگ‌ها و کانه‌زایی صورت گرفته، با آلودگی آب‌های منطقه و در نهایت ارائه پایان‌نامه می‌باشد.

۱-۱۱- سازمان بندی پایان نامه

چگونگی انجام و نتایج این تحقیق در ۸ فصل سازمان بندی گردیده که به ترتیب ذیل می‌باشد:

فصل اول: کلیات.

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه معدنی هیرد.

فصل سوم: مروری بر مطالعات گذشته.

فصل چهارم: مواد و روش‌ها.

فصل پنجم: خصوصیات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه.

فصل ششم: بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی.

فصل هفتم: بررسی ارتباط کیفیت منابع آب زیرزمینی با سنگ‌شناسی منطقه.

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.

در قسمت انتهایی پایان‌نامه، منابع مورد استفاده آورده شده است.

فصل دوم

زمین‌شناسی منطقه معدنی هیرد

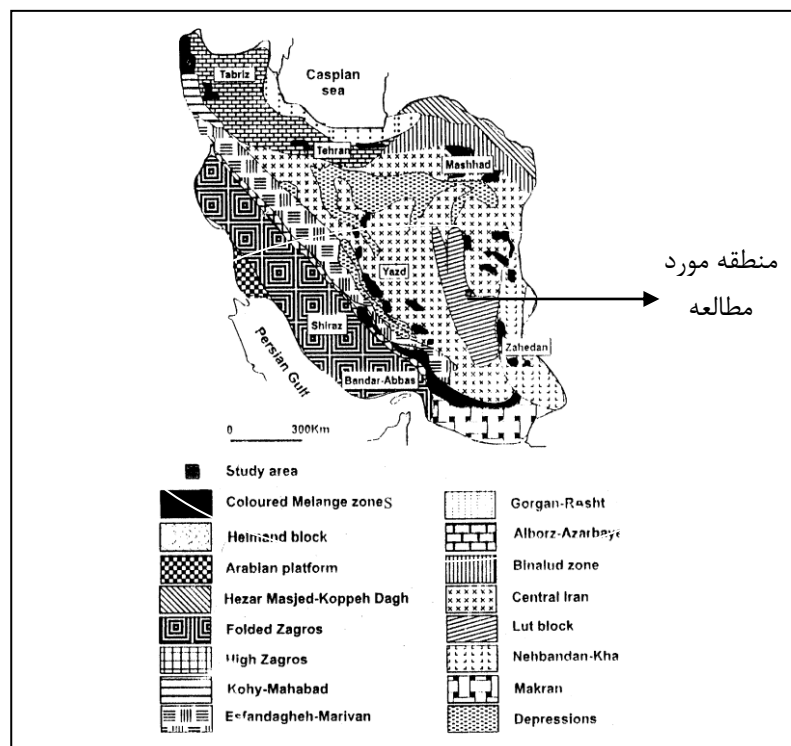
۲-۱- مقدمه

در سال ۱۳۷۹، اکتشافات ژئوشیمیایی در محدوده نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران توسط کارشناسان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفت که منجر به شناسایی آنومالی‌های معدنی قابل توجهی در منطقه بصیران شد. به جهت کنترل این ناهنجاری‌ها در منطقه، برداشت نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی و کانی‌های سنگین انجام گرفت. نتیجه عملیات اکتشافی فوق الذکر، شناسایی مناطق امید بخش معدنی متعدد بود. منطقه طلای هیرد، یکی از ۲۵ منطقه مستعد معرفی شده می‌باشد که ۹۷ کیلومتر مربع مساحت دارد و به عنوان اولویت نخست، جهت فاز بعدی اکتشافات در منطقه و تهیه نقشه زمین‌شناسی-معدنی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ انتخاب گردید (هزاره و امیدوار ۱۳۸۱). نتایج بررسی‌ها، مقادیر بالای عناصر Au، As، Ag، Bi، Cu، Sb، Mn، Ba، Sr، Pb را در نمونه‌های آبراه‌ای و لیتوژئوشیمیایی نشان داد. همچنین مقادیر قابل توجهی مگنتیت، هماتیت، پیریت، طلا، گارنت کلسیم‌دار، لیمونیت، شلیت، بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن در نمونه‌های کانی سنگین برداشت شده، مشاهده گردید. مرحله بعد با هدف شناخت مناطقی با بیشترین پتانسیل معدنی یا شناسایی اهداف معدنی (Target)، به انجام رسید. در این ارتباط نمونه‌های برداشت شده، از لحاظ مینرالوگرافی، پتروگرافی و آنالیز شیمی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت ۴ منطقه معدنی مشخص گردید (عسکری و صفری ۱۳۸۲). در این فصل به بررسی سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شناسی ساختمانی، آلتراسیون‌های موجود و نوع کانی‌سازی در منطقه معدنی هیرد پرداخته شده است.

۲-۲- موقعیت زمین‌شناسی منطقه

منطقه شرق ایران زون جوش خورده‌ای است که دو بلوک لوت و افغان را به هم وصل کرده و در دوره کوتاه تکوین خود، حوادث زیادی چون ریفت‌زایی، فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر بلوک افغان، ماگماتیسیم، تصادم بلوک لوت با زون فلیش و خاتمه فرورانش، جایگزینی افیولیت‌ها در کنار گسل‌ها و رورانگی‌ها در آن اتفاق افتاده است (اشراقی ۱۳۸۴). منطقه مورد مطالعه، از نظر تقسیمات ساختاری

در منتهی‌الیه شرق بلوک لوت قرار دارد. مرز شرقی آن گسل نهبندان و حوضه فلیشی شرق ایران و مرز غربی آن گسل نایبند و بلوک طبس است. در نقشه زمین‌ساخت ایران، مرز شمالی این بلوک فرونشست جنوب کاشمر و مرز جنوبی آن به فرونشست جازموریان بسته می‌شود (آقائباتی ۱۳۸۴). در شکل ۱-۲، منطقه مورد نظر بر روی نقشه تقسیمات ساختمانی - زمین‌شناسی ایران نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲: نمایش منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه تقسیمات ساختمانی - زمین‌شناسی ایران (آقائباتی ۱۳۸۴)

۳-۲- سنگ‌شناسی محدوده معدنی طلای هیرد

همانطور که در نقشه زمین‌شناسی بصیران (شکل ۲-۲) ملاحظه می‌شود، قدیمیترین سنگ‌های منطقه، شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک هستند که به صورت دگرشیبی زاویه‌دار توسط رسوبات آهکی کرتاسه بالا پوشیده شده‌اند. این توالی شامل واحدهای شیلی، کنگلومرای - ماسه سنگی، آهکی مارنی، توف آهکی و آهک ماسه‌ای است، که توسط کنگلومرای قاعده‌ای پالئوسن و کنگلومرای قاعده‌ای ائوسن به سکانس ماگمایی ترشیری می‌رسد. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در نقشه شامل سنگ

های آندزیتی، آندزیت‌های سبزرنگ، آندزیت‌های آلتزه، آندزیت‌های آمیگدالوئیدال، کریستال توف، توف های ماسه‌سنگی، آندزیت پورفیری، بازالت و تراکی بازالت می‌باشد (عسکری و صفری ۱۳۸۲).
توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیتی، کوارتزدیوریتی، گرانودیوریتی با سن بعد از ائوسن در سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی نفوذ کرده و باعث هورنفلسی شدن، اسکارنی شدن، متاسوماتیسم و در نهایت موجب کانه‌زایی طلا شده است (اشراقی ۱۳۸۴).

۲-۴- مناطق کانی‌سازی در منطقه معدنی هیرد

کانی‌سازی در منطقه معدنی هیرد، در چهار منطقه، به نام‌های منطقه اکتشافی یک (Target 1) تا منطقه اکتشافی چهار (Target 4) مشاهده می‌شود (شکل ۲-۲). موقعیت، نوع کانی‌سازی و کانی‌شناسی چهار منطقه اکتشافی در زیر آورده شده است (عسکری و صفری ۱۳۸۲، اشراقی ۱۳۸۴، کریم پور و همکاران ۱۳۸۶).

۲-۴-۱- منطقه اکتشافی شماره یک

منطقه اکتشافی شماره یک در بخش‌های میانی محدوده مطالعاتی واقع شده و از گسترش نسبتاً زیادی برخوردار است (شکل ۲-۲). این منطقه اکتشافی مهمترین بخش کانی‌سازی منطقه است. در این ناحیه زون گسلی به طول بیش از ۴ کیلومتر وجود دارد، که روند بخش غربی با بخش شرقی آن متفاوت بوده و تحدبی به سمت شمال دارد. کانی‌سازی در قسمت جنوبی گسل مشاهده و نوع آن در بخش غربی و شرقی با هم متفاوت است. از آنجائی که کانی‌سازی استوک ورک، کانی‌سازی اصلی محدوده معدنی هیرد است و منشأ محلول ماگمایی کانی‌ساز، توده‌های گرانیتوئیدی نوع I هستند، کانی‌سازی اصلی منطقه تنها در بخش شرقی منطقه اکتشافی یک (به دلیل توده‌های نفوذی I متعدد و کانی‌سازی استوک‌ورک در این بخش) مشاهده می‌شود. این بخش نزدیک‌ترین مکان به توده‌های منشأ اصلی است. کانی‌شناسی رگچه‌ها عمدتاً شامل آرسنوپیریت و پیریت است. کانی‌سازی بخش

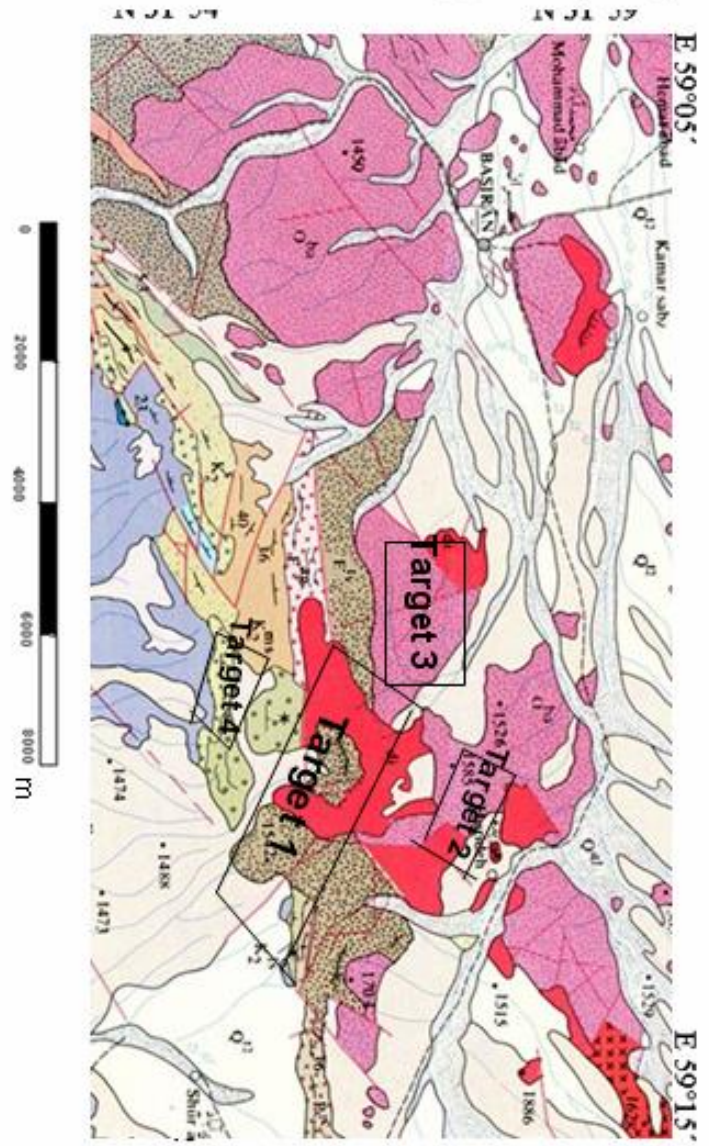
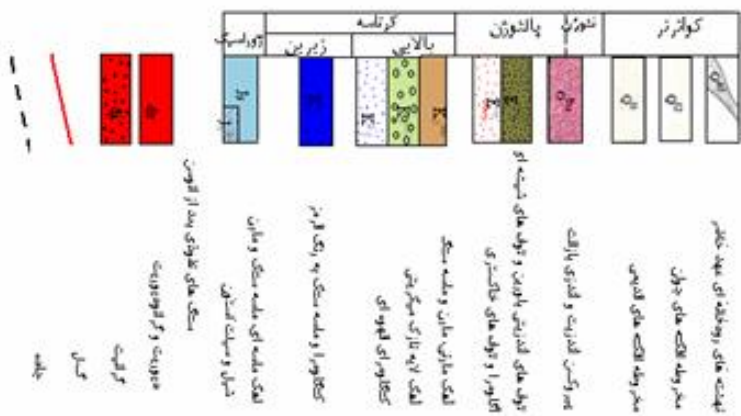
غربی منطقه اکتشافی یک (در امتداد بخش غربی گسل بزرگ) از نوع اسکارنی مرتبط با زون گسلی است. محلول کانی‌ساز، از توده‌های گرانیتوئیدی نوع I سرچشمه گرفته است و از طریق گسل به سطح راه یافته است. تفاوت نوع کانی‌سازی در قسمت‌های مختلف منطقه باعث شده که کانی‌سازی حالت بی‌نظمی داشته و از نظر عیار غیرمتجانس باشد. کانی‌شناسی بخش غربی شامل پیریت+ آرسنوپیریت ± کالکوپیریت+ اکسید آهن ثانویه+ تورمالین ± کلریت ± سربیسیت ± اپیدوت ± کلسیت ± ولاستونیت ± هورنبلند است.

۲-۴-۲- منطقه اکتشافی شماره دو

منطقه اکتشافی شماره دو در شمال شرق نقشه، حد فاصل روستای هیرد و منطقه اکتشافی شماره یک قرار گرفته است (شکل ۲-۲). کانی‌سازی در این منطقه از نوع رگه‌ای مرتبط با زون گسلی است. بزرگ‌ترین زون گسلی این محدوده به طول ۳۰۰ متر و با ضخامت ۲۰ سانتی متر تا ۴ متر درون توده‌های دیوریتی و سنگ‌های آتشفشانی در حد آندزیت و لایتیت است که کانی‌سازی مس به صورت کربناته و سیلیکاته در این منطقه به چشم می‌خورد.

۲-۴-۳- منطقه اکتشافی شماره سه

منطقه اکتشافی شماره سه در شمال غرب نقشه و در فاصله چهار کیلومتری جنوب غربی روستای هیرد واقع شده است (شکل ۲-۲). کانی‌سازی در این منطقه از نوع رگه‌ای درون زون‌های گسلی و به طور محدود جانشین است. محلول ماگمایی- گرمایی کانی‌ساز از توده‌های گرانیتوئیدی نوع I منشأ گرفته است. کانی‌شناسی این بخش شامل پیریت+ آرسنوپیریت ± کالکوپیریت+ اکسید آهن ثانویه+ تورمالین ± کلریت ± هورنبلند است.



شکل ۲-۳: نمایش منطقه معدنی هیرد بر روی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بصیران (بهریزی و خان ناظر ۱۳۷۱)

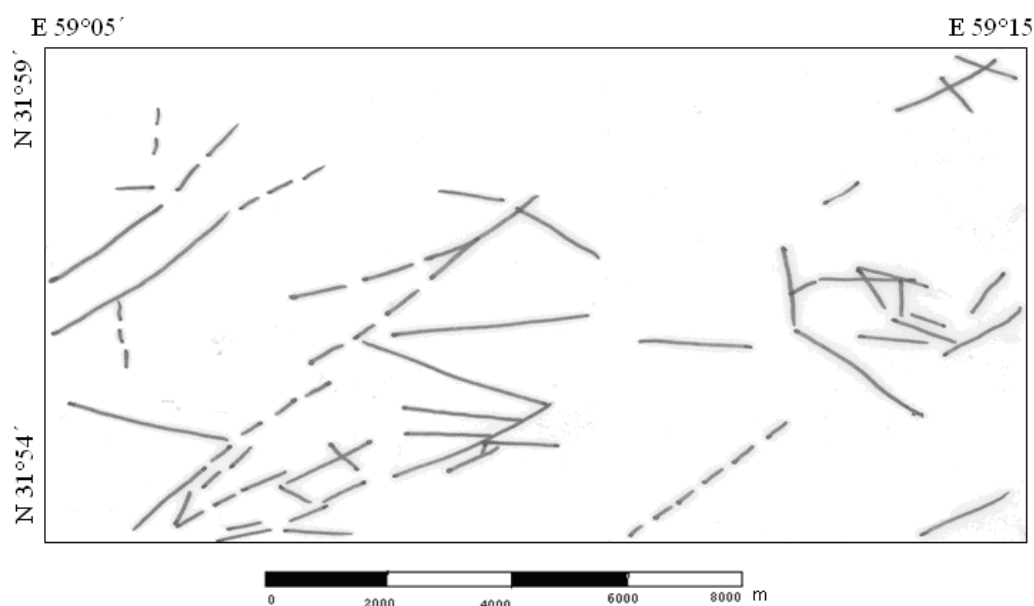
۲-۴-۴- منطقه اکتشافی شماره چهار

منطقه اکتشافی شماره چهار، در جنوب محدوده معدنی هیرد در امتداد گسلی با راستای شرقی- غربی قرار گرفته است. بخش اعظم آن توسط واریزه و آبرفت پوشیده شده است. کانی‌های پیریت+ کالکوپیریت+ کربنات‌های مس+ اکسید و هیدروکسید ثانویه آهن در آن دیده می‌شود.

۲-۵- زمین‌شناسی ساختمانی محدوده اکتشافی هیرد

در جنوب غربی نقشه ۱:۲۰۰۰۰ هیرد (شکل ۲-۲)، مهمترین چین‌خوردگی که دیده می‌شود، دارای دو فاز چین‌خوردگی یکی در ژوراسیک پایانی (نئوسیمین) و دیگری در کرتاسه پایانی (لارامید) است. تحت تأثیر فاز کوهزایی نئوسیمین کلیه واحدهای شیلی و ماسه‌سنگی ژوراسیک چین‌خورده شده و چین‌های جناغی در منطقه به وجود آمده است. در فاز کوهزایی لارامید، سازندهای کرتاسه و ماقبل آن تحت تأثیر قرار گرفته‌اند (عسکری و صفری ۱۳۸۲).

ارتفاعات منطقه از روند عمومی گسل‌های موجود در منطقه (شمال شرقی- جنوب غربی) و تا حدودی (شرقی- غربی) پیروی می‌کند (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: روند عمومی گسل‌های موجود در منطقه (عسکری و صفری ۱۳۸۲)

۲-۶- آلتراسیون‌های منطقه

آلتراسیون‌های سطحی و زیرسطحی در منطقه معدنی هیرد، به صورت زیر می‌باشد.

۲-۶-۱- آلتراسیون‌های سطحی

برپایه برداشت‌های صحرائی و مطالعات آزمایشگاهی چهار نوع آلتراسیون در واحدهای سطحی منطقه هیرد مشاهده می‌شود (کریم پور و همکاران ۱۳۸۶). زون‌های آلتراسیون سطحی عبارتند از:

۲-۶-۱-۱- زون پروپلیتی ± سیلیسی ± سریسیتی

این زون بخش وسیعی از محدوده معدنی هیرد را شامل می‌شود. اکثریت سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه دارای زون پروپلیتی ± سیلیسی ± سریسیتی هستند. ولی شدت آلتراسیون در نقاط مختلف متفاوت است. کانی ثانویه این زون کلریت است. کلریت عمدتاً در متن سنگ و گاهی به صورت رگچه‌های باریک مشاهده می‌شود. کلسیت دیگر کانی ثانویه موجود در این زون است که در قسمت‌های مرکزی منطقه معدنی هیرد دیده می‌شود.

۲-۶-۱-۲- زون تورمالین- سریسیت

این زون در جنوب شرقی روستای هیرد مشاهده می‌شود. تورمالین به شکل شعاعی در سنگ‌ها دیده می‌شود. پلاژیوکلازها در برخی نقاط تا ۱۰۰ درصد به سریسیت تبدیل شده‌اند. کانی‌های آهن و منیزیم‌دار نیز تا ۵۰ درصد به کلریت تبدیل شده‌اند و در متن سنگ نیز وجود دارد.

۲-۶-۱-۳- زون تورمالین- کلریت

این زون در دیوریت‌های شرق منطقه و محدوده منطقه اکتشافی دو و همچنین بیوتیت هورنبلند گرانیت در منطقه اکتشافی شماره سه مشاهده می‌شود. تورمالین، کلریت و مقدار جزئی سریسیت، کلسیت و همچنین کوارتز در این زون وجود دارد.

۲-۶-۱-۴- زون کوارتز- تورمالین- سریسیت

این زون مهمترین آلتراسیون همراه با کانی‌سازی اصلی منطقه (کانی‌سازی استوک‌ورک) است. در محدوده منطقه اکتشافی شماره یک مشاهده می‌شود. رگه‌های کوارتز- تورمالین به عرض ۰/۵ تا ۵ سانتی‌متر واحدهای سنگی (توده‌های نفوذی و شیل‌های سیلیسی‌شده) را قطع نموده‌اند. در این زون تورمالین، دراویت، کوارتز، سریسیت و کانی‌های سولفیدی مشاهده می‌شود.

۲-۶-۲- آلتراسیون‌های تحت‌الارضی

دو نوع آلتراسیون در واحدهای تحت‌الارضی منطقه معدنی هیرد مشاهده می‌شود (کریم پور و همکاران ۱۳۸۶). زون‌های آلتراسیون تحت‌الارضی عبارتند از:

۲-۶-۲-۱- زون کوارتز+ تورمالین ± سریسیت ± کلسیت ± کلریت

این زون مهمترین آلتراسیون محدوده اکتشافی هیرد و همراه اصلی کانی‌سازی استوک‌ورک است. کانی‌های کوارتز، تورمالین، سریسیت، کلسیت و کلریت با مقادیر متفاوت در اعماق مختلف در غالب رگچه همراه با کانی‌های سولفیدی مشاهده می‌شود. این زون در بخش شرقی منطقه اکتشافی شماره یک وجود دارد.

۲-۶-۲-۲- زون پروپلیتی

این زون در واحدهای نفوذی تیپ I و همچنین سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شود. کانی اصلی این زون کلریت است. اپیدوت نیز به مقدار ۴ تا ۵ درصد وجود دارد و مقدار آن در منطقه اکتشافی شماره سه بیشتر است. فلدسپات‌ها نیز به صورت بسیار جزئی به سریسیت تبدیل شده‌اند.

۲-۷- نوع کانی سازی

کانه‌زایی طلای هیرد را می‌توان در رده ذخایر طلای مرتبط با نفوذی‌های گرانیتوئیدی (gold deposits related to granitoid intrusions) قرار داد (اشراقی ۱۳۸۴، کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶). این ذخایر از نظر موقعیت تکتونیکی در حواشی صفحات، در مناطقی که فرورانش و برخورد بین دو صفحه، صورت گرفته است، تشکیل شده‌اند (Thompson and Newberry 2000). دلیل اصلی ماگماتیسم در بلوک لوت همین عامل می‌باشد و کانه‌زایی طلای هیرد نیز در چنین موقعیت تکتونیکی قرار گرفته است (Camp and Griffis 1982, Tirrul et al. 1983). در این دسته از کانسارها سنگ میزبان را توده‌های نفوذی با ترکیب گرانودیوریتی، گرانیتی، دیوریتی و مونزونیتی تشکیل داده و این سیستم‌ها از نوع ماگمایی- هیدروترمالی هستند. برخی ویژگی‌های این ذخایر عبارتند از:

- ۱- همراهی با نفوذی‌های ساب‌آلکالن مت‌آلومینوس حدواسط تا اسیدی.
- ۲- مجموعه فلزی شامل طلا و عناصر آرسنیک، آنتیموان و تنگستن.
- ۳- مقدار کانی سولفیدی کم و اغلب کمتر از ۵ درصد.
- ۴- داشتن سیال هیدروترمالی کربونیک (Thompson et al. 1999).

فصل سوم

مروری بر مطالعات گذشته

۳-۱- مقدمه

ذخایر معدنی در هر کشور، تأثیر مهمی در استقلال صنعتی آن داشته و در افزایش درآمد و تولید ناخالص داخلی کشور، نقش بسزایی ایفا می‌کنند. در این بین، معادن طلا به عنوان یک شاخص حساس نسبت به شرایط ملی و بین‌المللی، از جایگاه ویژه‌ای در سرتاسر جهان، برخوردار می‌باشند. از سویی دیگر، مناطق کانی‌سازی، به عنوان پتانسیل‌های ایجاد آلودگی در آب و خاک مناطق پایین دست محسوب می‌شوند. اگر چه طبیعت از قابلیت و توان خود پالایی معینی، در مقابل آلاینده‌های مختلف برخوردار می‌باشد، اما کثرت و فزونی مواد آلوده‌کننده در اغلب حالات این خاصیت بهینه‌سازی را از آن سلب کرده و سبب تغییراتی اساسی در اکوسیستم و نابودی بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری می‌شود. در شرایط کنونی با توجه به محدود بودن منابع و ذخایر آب شیرین و رشد جمعیت، آلودگی اکوسیستم‌های آب شیرین بالاخص منابع آب زیرزمینی نگران‌کننده می‌باشد. آلودگی فلزات سنگین در این محیط‌ها، به دلیل سمی بودن، زمان ماندگاری بالا و قابلیت تجمع در بافت جانداران، از اهمیت اکولوژیک و بیولوژیکی زیادی برخوردار می‌باشد.

در این فصل ابتدا معادن طلا در جهان و ایران و اثرات زیست‌محیطی معادن طلا، شرح داده خواهد شد. سپس عناصر سنگین معمول در معادن طلا و عوامل تعیین‌کننده در انتقال و رسوب‌گذاری آن‌ها بررسی می‌شود. در انتها ارتباط با کیفیت آب‌های زیرزمینی در اطراف معادن طلا در جهان و مطالعات پیشین منطقه بحث و بررسی می‌شود.

۳-۲- معادن طلا در جهان و ایران

قدیمیترین معدن طلای جهان در مصر قرار دارد و مربوط به واحدهای سنگی پرکامبرین می‌باشد. در این دوره طلا، به شکل رگه‌های کوارتز طلادار، پلاستی تغییر شکل یافته، اسکارن، رگه‌های چند فلزی، سولفید فلزی، سولفید توده ای و انتشاری دیده می‌شود. این کانسارها در امریکای شمالی، کانادا و داکوتای جنوبی نیز کشف شده‌اند. انواع مختلف کانسارهای طلا در کشورهای اروپایی مانند

کشورهای سوئد، نروژ، فنلاند و روسیه هم مشاهده می‌شود. از معادن طلای مهم اروپا، معادن کولا و هاوری در فنلاند می‌باشد (بصیری و نبی‌یان جوردی ۱۳۸۷).

شکل‌گیری ذخایر طلا در ایران با پیدایش و شکل‌گیری پوسته ایران زمین و عملکرد فعالیت‌های زمین‌ساختی - ماگمایی (پروتروزوئیک پسین و فانروزوئیک)، همراه بوده است که در این میان رخداد زمین‌شناسی پیرنه (ائوسن - الیگوسن تا میوسن) وسیع‌ترین و متنوع‌ترین ذخایر معدنی به ویژه طلا و مس ایران را ایجاد نموده است (مقصودی و همکاران ۱۳۸۴). مجتمع طلای مونه گلیپایگان، یکی از مهمترین مناطق معدنی طلا در ایران است که پتانسیل‌های شناخته شده در آن شامل چاه خاتون، سنجد، دره اشکی، قره قرم، تنگه زر، چاه باغ، چاه علامه، چمشه گوهر و سه کلب می‌باشد (بصیری و نبی‌یان جوردی ۱۳۸۷).

۳-۳- کانی‌شناسی طلا

در محیط‌های رسوبی، کانی‌های سنگین از دو منشأ کاملاً مستقل (سنگ‌ساز و کانسارساز) و تحت تأثیر هوازدگی به وجود می‌آیند. کانی‌های سنگین سنگ‌ساز همانند پیروکسن، آمفیبول و تورمالین می‌باشند. اما کانی‌های کانسارساز که اکثراً به صورت گروهی از سنگ مادر جدا شده و در محیط رسوبی تجمع می‌یابند، نقش مهمی در اکتشاف کانسارهای اولیه و کانسارهای ثانویه رسوبی دارند. وجود کانی‌های سینابر (HgS)، اورپیمنت (As_2S_3)، رالگار (AsS)، استینیت (Sb_2S_3)، کاسیتريت (SnO_3) و ولفرامیت [$(Fe,Mn)WO_4$] در حوضه رسوبی می‌تواند نشانه‌ای از حضور کانی‌های طلا در منطقه باشد (مقصودی و همکاران ۱۳۸۴). طلای موجود در این رسوبات معمولاً قطری کمتر از ۵ میکرومتر دارد، اما تا ۲۰۰ میکرومتر هم می‌رسد (Leak et al. 1998).

طلا با سولفیدهای فلزی غیر آهنی و کانی‌های وابسته به آن ارتباط بسیار نزدیکی دارد و اغلب با این سولفیدها و یا کانی‌های ناشی از اکسیدشدگی آنها همراه است که معمولاً شامل کالکوپیریت، اسفالریت، آرسنوپیریت، پیریت، لیمونیت و ... می‌باشد. کانی‌های اصلی طلا شامل کالاوریت ($AuTe_2$).

سیلوانیت $[(Ag, Au)Te_2]$ ، کرنیت $[(Au, Ag)Te_2]$ ، پتزیت $[(Ag_3, Au)Te_2]$ و مالونیت (Au_2Bi) می‌باشند (مقصودی و همکاران ۱۳۸۴).

۳-۴- آلتراسیون در کانسارهای طلا

تغییرات شیمیایی و کانی‌شناختی در اثر آب‌های گرمایی یا ماگمایی در سنگ‌ها آلتراسیون نامیده می‌شود. طی این فرآیند، با توجه به ترکیب شیمیایی سیال و سنگ مادر، واکنش‌های شیمیایی و ژئوشیمیایی خاصی رخ می‌دهد که سبب افزایش یا کاهش عناصری خاص در سنگ اولیه می‌شود. گسترش و شدت آلتراسیون به عوامل مختلفی از جمله حجم محلول‌های گرمایی یا ماگمایی، میزان ساختمان‌های اولیه و ثانویه مفید، واکنش‌پذیری سنگ‌ها، دما و فشار محلول بستگی دارد (کریم پور و سعادت ۱۳۸۴). برخی از آلتراسیون‌هایی که در ذخایر طلا معمولاً دیده می‌شوند، به قرار زیر می‌باشند (شهاب پور ۱۳۸۵):

۱- سریسیتی (رسی پیشرفته): در این آلتراسیون، کانی‌های فلدسپار و مسکویت به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند که طی آن عناصر قلیایی کاهش می‌یابد. این آلتراسیون در اطراف کانسارهای رگه‌ای همراه با سنگ‌های آذرین اسیدی روی می‌دهد. کانی‌های شاخص آن دیکیت، کائولینیت، پیروفیلیت و کوارتز و کانه‌های آن معمولاً کولیت، دیژنیت، پیریت و انارژیت می‌باشد.

۲- پروپلیتی: این آلتراسیون با تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت و کانی‌های مافیک به کلریت، که باعث کاهش عناصر قلیایی و قلیایی خاکی و افزایش آب می‌شوند، همراه است. این آلتراسیون در ارتباط با سنگ‌های حد واسط و بازی بوده و کانی‌های کلریت، اپیدوت، آلبیت، کلسیت، دولومیت و آنکریت و به مقدار کم پیریت و مگنیت در آن دیده می‌شوند.

۳- تورمالینی شدن: معمولاً در رگه‌های طلا و کانسارهای قلع دیده می‌شود، که طی آن ارتوکلاز به تورمالین تبدیل شده و بور در سنگ افزایش می‌یابد. کانی مشخص آن تورمالین، کالکوپیریت، طلا و کاسیتريت می‌باشد.

۴- آلبیتی شدن: در اطراف بعضی از رگه‌های طلا و سنگ‌های اسیدی دیده می‌شود. در این دگرسانی، پلاژیوکلازها به آلبیت تبدیل شده که باعث افزایش سدیم و کاهش پتاسیم و کلسیم می‌شوند. کانی مشخص آن آلبیت و کانه‌های آن طلا و کالکوپیریت می‌باشند.

۵- کلریتی: این آلتراسیون همراه با رگه‌های حاوی قلع مشاهده می‌شود و طی آن کانی‌های مافیک به کلریت تبدیل که باعث افزایش آهن و منیزیم در سنگ می‌شود. کانی‌های اصلی آن کلریت، کاسیتريت و نقره می‌باشد.

۶- پیریتی شدن: این آلتراسیون، در کانسارهای رگه‌ای طلا با تبدیل کانی‌های مافیک و اکسیدهای آهن به پیریت و افزایش گوگرد در سنگ همراه می‌باشد. کانی‌های مشخصه آن پیریت، کالکوپیریت و طلا می‌باشد.

۳-۵- تأثیرات زیست‌محیطی معادن طلا

تشکیل کانسارهای فلزی همانند طلا، نقره و مس در نتیجه فرآیندهای کانه‌زایی، سبب افزایش مقادیر زمینه (طبیعی) این عناصر می‌شود. کانی‌سازی و آلتراسیون‌های ناشی از آن‌ها در سنگ‌های اولیه، باعث آزادسازی، تمرکز و تخلیه بسیاری از عناصر سمی و سنگین و شبه‌فلزی در آب و خاک مناطق اطراف می‌شود (طلایی و پیروان ۱۳۸۵). معمولاً آب در این مناطق حاوی مواد حل شده و معلق فراوان است که برخورد آن با سفره‌های آب زیرزمینی باعث آشفستگی، رسوب مواد، تغییر دما و تغییر ترکیب شیمیایی این آب‌ها می‌شود (کشاورزی و همکاران ۱۳۸۷). آب‌های زیرزمینی در این مناطق معمولاً دارای سختی بالا بوده و اغلب نامطلوب و بد شناخته می‌شوند و جهت شرب، کشاورزی و صنعت نامطلوب می‌باشد (Dongarra et al. 2009).

از دیدگاه زیست‌محیطی ذخایر طلا به دلیل همراهی با کانی‌های سولفیدی و فلزات سنگین و سمی مانند آرسنیک، آنتیموان، سرب، روی و مس بسیار حائز اهمیت می‌باشند (Smedley et al. 2007). گسترش و غلظت فلزات در اطراف ذخایر طلا به فاکتورهای هوازدگی شیمیایی منطقه بستگی دارد

(Silva et al. 2004). هوازدگی کانی‌های سیلیکات آلومینیم، اکسیداسیون پیریت، آرسنوپیریت و دیگر کانی‌های سولفیدی و تعویض کاتیونی در سنگ‌های معدنی طلا، کیفیت آب و خاک مناطق پایین دست را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Lawrence and Higgs 2007, Kortatsi et al. 2007). ذخایر فلزی مهمترین منبع آزدسازی این عناصر به محیط می‌باشند (Aykol et al. 2003). پدیده انحلال، رسوب، جذب سطحی و واجدبی تأثیری تعیین‌کننده در رفتار عناصر و کنترل تحرک آن‌ها در محیط دارند (Jung et al. 2005, Brakouch et al. 2007). عناصر که تحرک کمتری دارند، در محیط رسوبی باقی می‌مانند. فاصله و سرعت مهاجرت یک عنصر بر اساس درجه تحرک و دسترس زیستی آن متفاوت است (لیاقت ۱۳۷۹). عناصر بر اساس فاکتورهای شیمیایی همانند دما، pH، Eh و یا عوامل فیزیکی (بافت رسوب و اندازه دانه)، ترکیب ماتریکس (کانی‌شناسی و مقدار ماده آلی) و فاکتورهای بیوشیمیایی مانند باکتری‌های احیا کننده در محیط رسوبی به اشکال مختلف جابجا می‌شوند (Barkouch et al. 2007, Hong et al. 2007).

۳-۶- معادن طلا و آلودگی خاک و آب

عناصر سنگین از جمله عناصر سازنده اتمسفر، هیدروسفر و لیتوسفر می‌باشند که به طرق مختلف و از منشأهای متفاوت وارد این محیط‌ها شده و با غلظت‌های مختلف متمرکز می‌شوند. فلزات سنگین موجود در رسوبات به صورت طبیعی از فرسایش بر جای سنگ‌های حاوی این فلزات و رسوب‌زایی حاصل از آن، در محیط رسوبی مجتمع می‌شوند. یکی از مهمترین عوامل ایجاد خطر در خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی غنا و جنوب کره، ذخایر طلا می‌باشند (Kuma 2003, Kuma and Younge 2004, Armah et al. 2006). غلظت آرسنیک در خاک‌های اطراف معدن Ashanti در مرکز غنا به ۱۸۹ تا ۱۰۲۵ ppm و در آب‌های سطحی به ۱۷۵ ppb و در آب‌های زیرزمینی به ۱۶۴ ppb می‌رسد (Smedley et al. 2007).

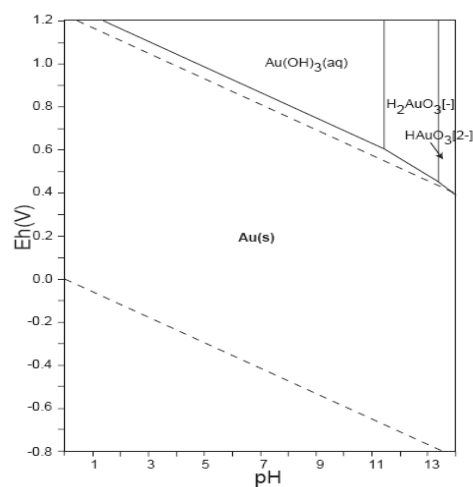
ذخایر معدنی طلا در شمال نوادا با افزایش اسیدیته، افزایش سطح جامدات معلق و غلظت فلزات سنگین، روز به روز بر آلودگی آب‌های منطقه می‌افزایند (Earman and Hershey 2004).

سفره آب زیرزمینی در حوضه Artiguas در نیکاراگوئه حاوی فلزات سنگین بالایی (آرسنیک ۵۴ ppb و سرب ۳۰ ppb) می‌باشد، که ناشی از ذخایر طلا و فعالیت‌های معدنی در این منطقه می‌باشد (Mendoza and Barmen 2007).

آرسنیک موجود در خاک و آب، در اطراف معدن طلای موته، ناشی از کانی‌سازی طلا در منطقه بوده که فعالیت‌های معدنی نقش مهمی در تحرک مجدد آن داشته است (کشاورزی و همکاران ۱۳۸۷).

۳-۶-۱- طلا

طلا با عدد اتمی ۷۹، دارای ۱۴ ایزوتوپ می‌باشد که تنها ایزوتوپ پایدار آن ^{197}Au است. فراوانی طلا در پوسته زمین در حدود ۲ ppb است. وجود مواد آلی با شرایط احیایی در محیط ته‌نشست می‌تواند منجر به افزایش تمرکز طلا در محیط‌های دریایی شود. طلا در گستره وسیعی از Eh و pH به صورت غیر محلول می‌باشد (شکل ۳-۱). به دلیل غیر محلول بودن طلا، میزان آن در آب معمولاً بسیار پایین می‌باشد.



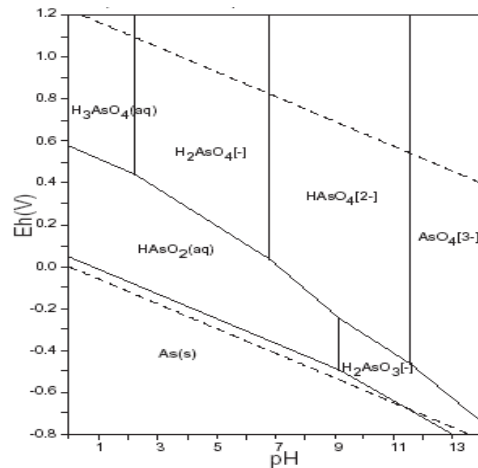
شکل ۳-۱: نمودار Eh و pH در سیستم Au-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۶-۲- آرسنیک

آرسنیک عنصری رایج در اتمسفر، هیدروسفر، بیوسفر و بیستمین عنصر فراوان لیتوسفر می‌باشد. عدد اتمی آن ۳۳ و دارای فراوانی ۲ تا ۵/۱ ppm در پوسته زمین است. آرسنیک در ۲۰۰ شکل مینرالی مختلف ظاهر می‌شود که به طور تقریبی شامل ۶۰ درصد آرسنات‌ها، ۲۰ درصد سولفات‌ها و سولفیدها و ۲۰ درصد آرسنیدها و آرسنیت‌ها، اکسیدها، سیلیکات‌ها و آرسنیک فلزی می‌باشد (Garelick et al. 2005). (2005 آرسنیک در آرسنوپیریت، اورپیمنت و رالگار و به مقدار کم در پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت دیده می‌شود (Garelick et al. 2005, Kelepertsis et al. 2006).

آرسنوپیریت (FeAsS)، معمول‌ترین کانی در ذخایر طلا دار است. این کانی در سیستم مونوکلینیک متبلور می‌شود و حاوی حدود ۴۶ درصد آرسنیک می‌باشد. اورپیمنت (As_2S_3) و رالگار (AsS)، حاوی حدود ۷۰ درصد آرسنیک بوده و در سیستم مونوکلینیک متبلور می‌شوند. آرسنیک در ذخایر فلزی مثل سرب-روی و مس انارژیت‌دار، ذخایر مس پیریتی-آرسنیک و نقره طبیعی و ذخایر طلای آرسنیک و برخی ذخایر غیر فلزی مثل کانی‌های رسی، مواد آلی و زغال سنگ یافت می‌شود. سولفیدهای فلزی غنی از آرسنیک همانند پیریت، یک منشأ مهم آرسنیک در محیط می‌باشند.

آرسنیک طی فرآیندهای هوازدگی از سنگ‌ها شسته و نهایتاً وارد آب می‌شود. مقدار آرسنیک در آب دریا معمولاً بین ۱ تا ۸ ppb می‌باشد. اما در آب‌های مناطق معدنی به ۱۴/۰ تا ۱/۲ ppm افزایش می‌یابد. آرسنیک عنصری نامحلول در آب است. در حالی که بسیاری از ترکیبات آرسنیک در آب محلول هستند. در آب‌های سطحی دارای اکسیژن کافی، $As(v)$ و در شرایط احیا، $As(III)$ غالب می‌باشند (Terlecka 2005). توزیع گونه‌های معدنی در سیستم‌های آبی به وسیله pH و Eh کنترل می‌شود (شکل ۲-۳).



شکل ۳-۲: نمودار Eh و pH در سیستم As-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

با افزایش pH، غلظت آرسنیک محلول در آب افزایش می‌یابد. آهن و منیزیم نیز نقش مهمی در آزاد-سازی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی دارد. آنیون‌ها مثل کربنات، فسفات و سولفات نیز در تحرک آرسنیک اثر دارند (Villaescusa and Bollinger 2008). آرسنات‌ها تحرک کمی در محیط دارند و به سادگی رسوب کرده و به شدت جذب خاک و رسوبات می‌شوند.

گزارش‌های متعددی از مسمومیت‌های آرسنیک ناشی از آب آشامیدنی آلوده در بنگلادش، آرژانتین، هند و ایالات متحده آمریکا وجود دارد. شش ناحیه در آسیا با غلظت بالایی از آرسنیک در آب زیرزمینی شناخته شده‌اند که شامل کامبوج، لائوس، پاکستان، ویتنام و نپال می‌باشند (Garelick et al. 2005, Pandey et al. 2006, Woolee et al. 2006, Katsoyiannis 2006).

در اطراف معادن طلا در شرق غنا، غلظت آرسنیک در رسوبات از ۹۴۲ تا ۱۰۲۰۰ ppm و در آب‌های زیرزمینی ۸/۵ تا ۹۰/۴ ppb می‌رسد (Armah et al. 2006). همچنین غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی در نزدیکی ذخایر طلا در شمال شرق بنگلادش، به ۵۰ ppb و در برخی از نقاط به ۲۰۰ ppb می‌رسد (Jahan et al. 2006, Hossain and Hill 2007).

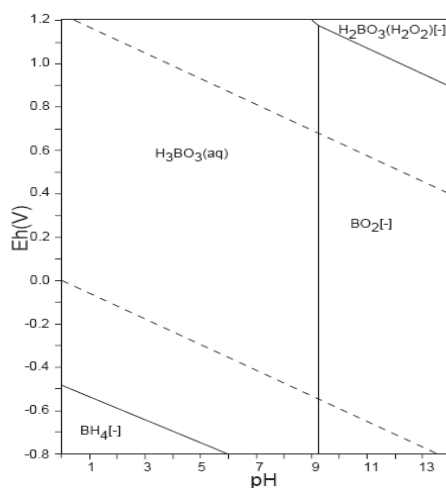
در اطراف معدن طلای موته گلپایگان، غلظت آرسنیک در رسوبات (از ۱۰ تا ۴۵ ppm) و آب‌های زیرزمینی (از ۱۰ تا ۱۵ ppb)، تجاوز از حدود استاندارد را نشان می‌دهد (کشاورزی و همکاران ۱۳۸۷).

۳-۶-۳- بور

بور با عدد اتمی ۵، سی امین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی متوسط آن ۱۰ ppm می-باشد. کانی‌های گروه بورات به دو رده بورات‌های هیدراته و غیر هیدراته تقسیم‌بندی می‌گردند که هر یک دارای کانی‌های متعددی می‌باشند. تورمالین و ساسولیت جزء کانی‌های غیر هیدراته و براکس و کلمانیت جزء کانی‌های هیدراته می‌باشند.

معمولاً در رگه‌های طلا، آلتراسیون‌های تورمالینی دیده می‌شود که طی آن ارتوکلاز به تورمالین تبدیل شده و بور در سنگ افزایش می‌یابد. بور در حین هوازدگی سنگ‌ها، وارد محیط می‌شود. این عنصر در گستره وسیعی از pH و Eh به صورت محلول در آب می‌باشد (شکل ۳-۳).

غلظت بور در آب رودخانه‌هایی که از مابین سنگ‌های معدنی و باطله‌های معدن طلای Tarkwa در غنا می‌گذرند به ۷۰۰ ppb می‌رسد (Kuma and Younger 2004). همچنین غلظت بور در آب‌های اطراف معادن طلا در شرق نیکاراگوئه، ۱۲۰۰ ppb می‌باشد (Mendoza and Barmen 2007).

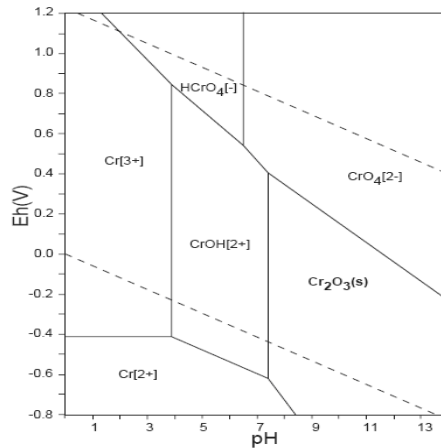


شکل ۳-۳: نمودار Eh و pH در سیستم B-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۶-۴- کروم

کروم دارای عدد اتمی ۲۴ و میانگین آن در پوسته زمین حدود ۱۰۰ ppm است. کروم می‌تواند از هوازدگی سنگ‌های آذرین قلیائی و سرپانتین به محیط وارد شود. کروم معمولاً در pHهای پایین تر از

۷ در آب محلول و در pHهای بالاتر از رسوب می‌نماید (شکل ۳-۴). غلظت کروم در آب‌های منطقه Smelter در نزدیکی معادن طلا در نیوزلند تا ۶۵ ppm می‌رسد (Wilson 2004).

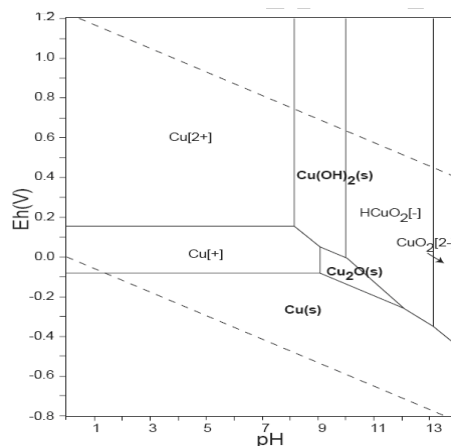


شکل ۳-۴: نمودار Eh و pH در سیستم Cr-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۶-۵- مس

مس با عدد اتمی ۲۹، دارای فراوانی ۵۵ ppm در پوسته زمین می‌باشد. مس یک عنصر کالکوفیل تیپیک است و از این رو کانی‌های سولفیدی و بیشتر کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت را تشکیل می‌دهد. کالکوپیریت یکی از کانی‌های معمول در مناطق معدنی طلا می‌باشد.

مس معمولاً در pHهای پایین به صورت محلول در آب بوده و در pHهای بالا رسوب می‌نماید (شکل ۳-۵).



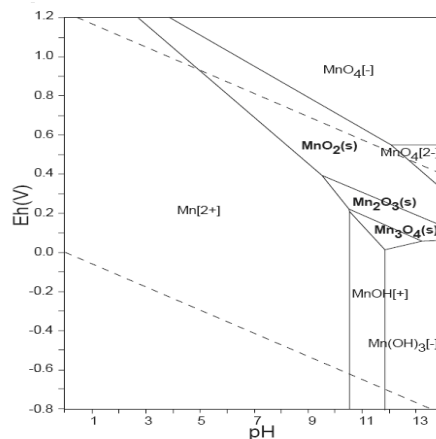
شکل ۳-۵: نمودار Eh و pH در سیستم Cu-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

غلظت مس در آب‌های سطحی، در پایین دست معدن طلا در رومانی، از ۵۴ تا ۱۷۰ ppb می‌رسد (Florea et al. 2005).

۳-۶-۶- منگنز

منگنز با عدد اتمی ۲۵، دوازدهمین عنصر فراوان در پوسته زمین است. فراوانی آن در پوسته زمین ۹۵۰ ppm می‌باشد. این عنصر در طبیعت به صورت خالص تشکیل نمی‌شود و بیشتر به صورت اکسید، کربنات و سیلیکات وجود دارد. منگنز در بسیاری از کانی‌های موجود در پوسته زمین وجود دارد. با توجه به تحرک کم منگنز در سطح، احتمال ورود آن به آب‌های زیرزمینی کم می‌باشد (شکل ۳-۶).

غلظت منگنز در رودخانه‌های اطراف معادن طلا در شمال نوادا به ۴۵ ppb و در شمال رومانی به ۱۳۸ ppb می‌رسد (Earman and Hershey 2004, Florea et al. 2005).



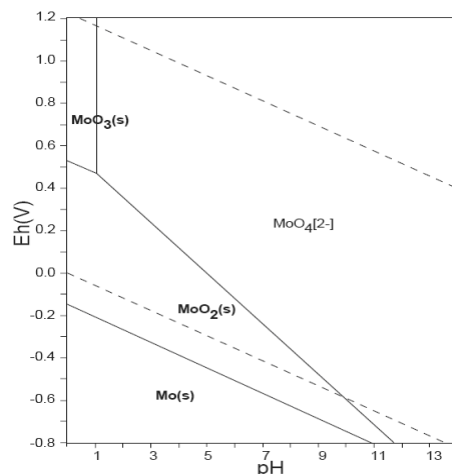
شکل ۳-۶: نمودار Eh و pH در سیستم Mn-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۴-۷- مولیبدن

مولیبدن دارای عدد اتمی ۴۲ و فراوانی ۱/۵ ppm در پوسته زمین می‌باشد. این عنصر دارای خاصیت کالکوفیلی و سیدروفیلی است. کانی اصلی مولیبدن، مولیبدنیت با فرمول (MoS₂) می‌باشد. مولیبدن معمولاً همراه دیگر فلزات سنگین در مناطق معدنی دیده می‌شود.

مولیدنیت و دیگر کانی‌های مولیبدن دار طی هوازگی انحلال یافته و مولیبدن به صورت آنیون MoO_4^{2-} در محلول خاک قرار می‌گیرد. جذب سطحی این عنصر بر سطوح کلوئیدهای آلی و معدنی شدیداً تحت تأثیر pH خاک است، به نحوی که در pH اسیدی به سرعت جذب سطحی می‌شود و کمتر به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود (چراتی و همکاران ۱۳۸۶) (شکل ۳-۷).

غلظت مولیبدن در خاک‌های اطراف معادن طلا در شرق غنا به ۹۰ تا ۳۰۰ ppm و در آب‌های سطحی به ۸۳ ppb و در آب‌های زیرزمینی به ۶۰ ppb می‌رسد (Armah et al. 2006).



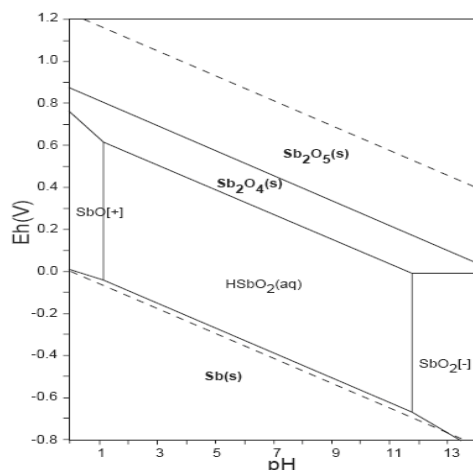
شکل ۳-۷: نمودار Eh و pH در سیستم Mo-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۶-۸- آنتیموان

آنتیموان دارای عدد اتمی ۵۱ و فراوانی تقریبی ۰/۲ تا ۰/۵ ppm در پوسته زمین می‌باشد. آنتیموان معمولاً در کانسارهای طلا همراه با کانی‌های سولفیدی دیده می‌شوند. آنتیموان از اکسیداسیون استینیت (Sb_2S_3) و دیگر کانی‌های آنتیموان دار به محیط وارد می‌شود. استینیت معمولاً همراه آرسنوپیریت و دیگر کانی‌ها در ذخایر طلا دیده می‌شود. با این حال این عنصر تحرک کمی داشته و به سرعت جذب اکسیدهای آهن خاک شده و در خاک تمرکز می‌یابد. اکسیدهای Sb(III) و Sb(V) بیشتر از سایر ترکیبات در محیط‌های مختلف تمرکز می‌یابد. این تمرکز در آب و گیاه معمولاً کمتر از تمرکز آن در خاک می‌باشد. اما اگر اسیدیته آب نسبتاً قوی باشد بر میزان تمرکز آن در آب افزوده

می‌شود (Wilson 2004). حلالیت آنتیموان کاملاً بستگی به Eh و pH محیط دارد. آنتیموان معمولاً

در سطح رسوب و کمتر وارد آب های زیرزمینی می‌شود (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸: نمودار Eh و pH در سیستم Sb-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

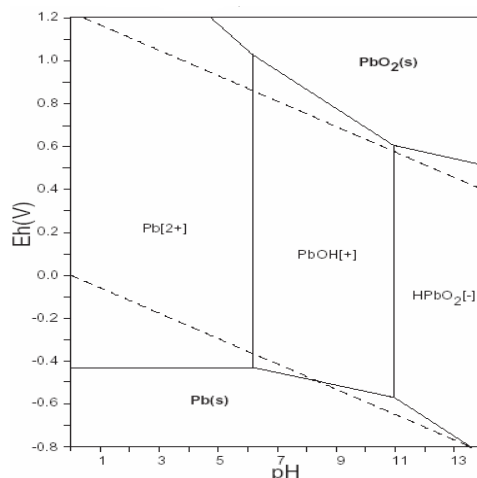
مناطق کانی سازی و آلتزه شمال مشکین شهر به عنوان محل تمرکز آنتیموان با غلظت‌های بالا شناخته شده است (طلایی و پیروان ۱۳۸۵). غلظت آنتیموان در خاک‌های اطراف معدن طلا Ashanti در مرکز غنا به ۱۰۲ تا ۷۵۰ ppm و در آب‌های سطحی ۱۲۰ ppb و در آب‌های زیرزمینی ۹۰ ppb می‌رسد (Smedley et al. 2007). در اطراف معادن طلا در شرق غنا غلظت آنتیموان در رسوبات ۸/۵ تا ۹۰ ppm و در آب‌های زیرزمینی به ۹ تا ۷۵ ppb می‌رسد (Armah et al. 2006).

۳-۶-۹- سرب

سرب عنصری سمی و سنگین دارای عدد اتمی ۸۲ و میانگین آن در سنگ‌های پوسته ۱۳ ppm می‌باشد. سرب بطور طبیعی در سنگ‌های مختلف و با غلظت‌های متفاوت وجود دارد و در حین هوازدگی و فرسایش شیمیایی کانی‌ها به درون خاک، آب و هوا وارد می‌شود و در نهایت با ورود به گیاهان به زنجیره غذایی راه می‌یابد. معمولاً سرب همراه با آرسنیک و آنتیموان در ذخایر طلا دار دیده می‌شود. گالن (PbS) مهمترین کانی سرب بوده و حاوی ۸۶/۶ درصد سرب است. سایر کانی‌های آن

سرویسیت (PbCO_3) و انگلیت (PbSO_4) می‌باشد. انحلال پذیری گالن با افزایش غلظت H^+ آب به طور خطی افزایش می‌یابد (Patel et al. 2006).

تمرکز سرب محلول در بیشتر آب‌های طبیعی که دارای دی‌اکسیدکربن و pH حدود ۷ هستند بسیار پایین است و معمولاً کمتر از ۱۰ ppb می‌باشد. حلالیت کم سرب به سبب توانایی این عنصر، در تشکیل ترکیبات کربنات (PbCO_3) معمولاً باعث ایجاد ترکیبات نامحلول در آب می‌شود. بنابراین حلالیت سرب در آب‌ها توسط کربنات سرب و نیز درجه قلیایی بودن کنترل می‌شود. پائین آمدن pH بر روی حلالیت این عنصر و کانی‌های آن تأثیر بسزایی دارد و حمل این عنصر توسط آب‌های سطحی و زیرزمینی را امکان‌پذیر می‌سازد (Lee 2003). آب‌هایی با pH پایین، دارای تمرکز بالایی از سرب می‌باشند (شکل ۳-۹). سرب پیوند قوی با اجزاء خاک برقرار می‌کند و کمتر در دسترس بیولوژیکی قرار می‌گیرد. سرب در خاک به صورت Pb^{+2} جذب رس، مواد آلی، اکسید آهن و آلومینیم می‌شود (میراحمدی و صفری سنجانی ۱۳۸۶). غلظت سرب در خاک‌های اطراف معدن طلای Tarkwa در غنا به ۲۵۰ ppm و در آب‌های سطحی ۷۵ ppb و در آب‌های زیرزمینی به ۵۲ ppb می‌رسد (Kuma and Younge 2004). همچنین غلظت سرب، در آب‌های زیرزمینی در اطراف معادن طلا در ایالت Chhattisgarh هند، به ۵۲ ppb می‌رسد (Patel et al. 2006).

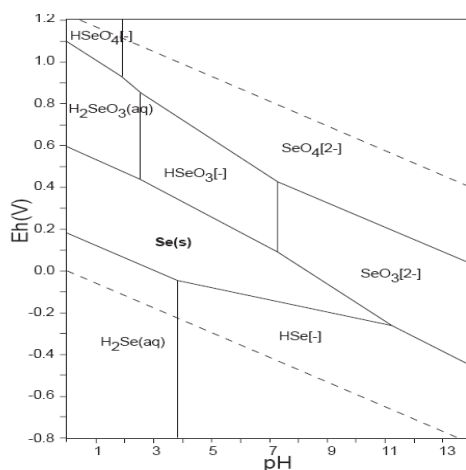


شکل ۳-۹: نمودار Eh و pH در سیستم Pb-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۶-۱۰- سلنیم

سلنیم دارای عدد اتمی ۳۴ و فراوانی آن در پوسته زمین ۳۶ ppm است. این عنصر در معادن سولفیدی همانند ذخایر طلا همراه پیریت یافت می‌شود. سلنیم در آب معمولاً به صورت محلول بوده و در پتانسیل اکسیداسیون- احیا ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی ولت رسوب می‌نماید (شکل ۳-۱۰).

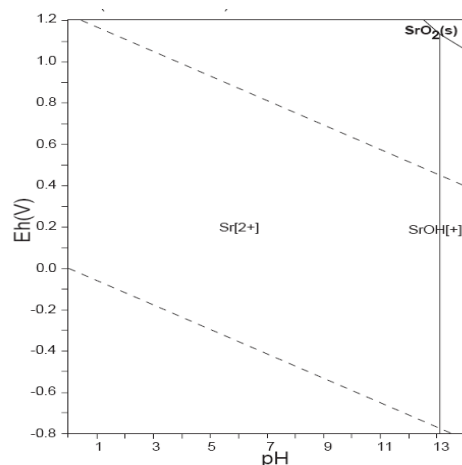
بررسی خاک‌های اطراف معدن طلا در ونزوئلا، معلوم می‌سازد که غلظت سلنیم در خاک به ۲۱۵ ppm و در آب به ۳۵ ppb می‌رسد (Sanchez et al. 2006).



شکل ۳-۱۰: نمودار Eh و pH در سیستم Se-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۶-۱۱- استرانسیم

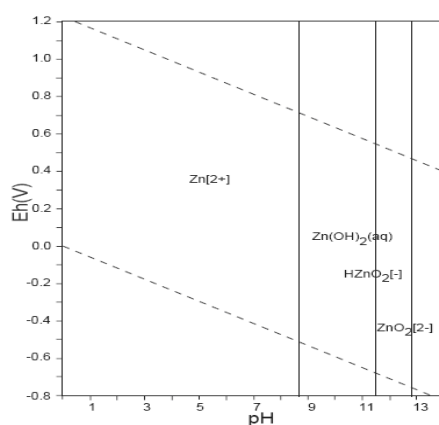
استرانسیم با عدد اتمی ۳۸ و به طور میانگین ۰/۰۳۴ درصد از کل سنگ‌های آذرین را تشکیل می‌دهند. شعاع یونی استرانسیم ۱/۱۲ آنگستروم بوده و جزء کاتیون‌های قابل حل در آب می‌باشد (شکل ۳-۱۱). غلظت استرانسیم در آب‌های زیرزمینی در اطراف معادن طلا در قسمت‌های مرکزی هند در ایالت Chhattisgarh به ۱۲۰۰ ppb (Patel et al. 2006) و در آب‌های زیرزمینی اطراف معادن طلا در شرق نیکاراگوئه، به ۱۶۳۰ ppb می‌رسد (Mendoza and Barmen 2007).



شکل ۳-۱۱: نمودار Eh و pH در سیستم Sr-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

۳-۶-۱۲- روی

روی بیست و هشتمین عنصر فراوان در سنگ‌های پوسته، با فراوانی ۶۵ ppm می‌باشد. روی غالباً در طبیعت بصورت سولفور یافت می‌شود و مهمترین کانی آن، اسفالریت (ZnS) می‌باشد. اسفالریت معمولاً همراه با گالن و کالکوپریت در کانسارهای سولفیدی دیده می‌شود. روی به راحتی در آب حل شده و به صورت محلول می‌ماند (شکل ۳-۱۲).



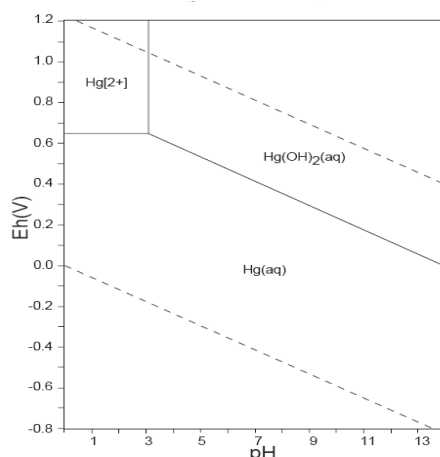
شکل ۳-۱۲: نمودار Eh و pH در سیستم Zn-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

در زهاب اسیدی معادن سولفیدی، غلظت روی، ۲۵۰ ppb می‌باشد (Hakkou et al. 2008). در آب-های اطراف معادن طلا در جنوب کره، غلظت روی تا ۳۱۵ ppb می‌رسد (Hong et al. 2007).

۳-۶-۱۳- جیوه

جیوه دارای عدد اتمی ۸۰ و فراوانی متوسط آن ۸۰ ppb در پوسته زمین و ۰/۰۷ ppb در آب‌های سطحی می‌باشد. جیوه معمولاً به صورت سولفید و کلرور بوده و مهمترین کانی آن سینابر می‌باشد. سینابر می‌تواند همراه دیگر کانی‌های سولفیدی در مناطق معدنی دیده شود.

میزان غلظت جیوه در خاک با افزایش درصد رس و میزان ماده آلی افزایش می‌یابد. عامل pH بر روی تحرک و یا پایداری عنصر جیوه بسیار اثرگذار می‌باشد. در pH های اسیدی تحرک جیوه بالا بوده و در pH های خنثی تا قلیایی تحرک آن کمتر شده و عنصر به حالت پایدار در می‌آید (رفیعی و همکاران ۱۳۸۷). جیوه به راحتی در آب حل می‌شود (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳: نمودار Eh و pH در سیستم Hg-O-H در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار (Takeno 2005)

جیوه معمولاً در فرآیند استحصال طلا کاربرد دارد، بنابراین غلظت این عنصر در نزدیکی کارخانه‌های فرآوری و محل انباشت باطله‌ها زیاد می‌باشد. میزان بالای جیوه (۷۸ ppm) در خاک‌های اطراف معدن طلا در ونزوئلا، حاصل فرآیند استحصال طلا و محل نامناسب انباشت باطله‌ها می‌باشد (Sanchez et al. 2006).

۷-۳- عوامل تعیین کننده در انتقال یا رسوب گذاری عناصر

۱-۷-۳- پتانسیل یونی

پتانسیل یونی هر عنصر در تعیین محل رسوب گذاری و یا حلالیت آن نقشی اساسی دارد و در تمام فرآیندهای کانی ساز در محیط های آبدار نیز نقش مهمی را ایفا می کند. عناصری که پتانسیل یونی پایینی دارند مانند سدیم، کلسیم و منیزیم در ضمن فرآیندهای هوازدگی و انتقال در آب به صورت محلول باقی می ماند. عناصر دارای پتانسیل یونی حد وسط به وسیله فرآیند هیدرولیز رسوب کرده و عناصری که پتانسیل یونی بیشتر دارند، آنیون های اکسیژن دار معمولی را تشکیل می دهند (جدول ۱-۳). فلزات سنگین همراه ذخایر طلا عمدتاً پتانسیل یونی متوسط (۵/۰ تا ۱ آنگستروم) داشته و به وسیله فرآیند هیدرولیز رسوب می کند و یون آن ها با گروه های هیدروکسیل محلول های آبی همجوار می شود (مر و شرفی ۱۳۷۳).

جدول ۱-۳: جدایش یونی برخی عناصر بر مبنای پتانسیل یونی (مر و شرفی ۱۳۷۳)

کاتیون های قابل حل	عناصر هیدرولیزات	آنیون های کمپلکس قابل حل
Ca, Rb, k, Ra, Sr, Cs,	Mg, (Fe), Be, Se, Nb, Ta, Al, Ga,	B, C, P, N, S
Mn, Li, (Fe), Na, Ca	Fe, V, Th, U, Zr, Ti, Mo, Si	

۲-۷-۳- تبادل آنیونی و کاتیونی

سطح مواد آلی و کانی های رسی و مواد کلوئیدی قادر به حفظ و نگهداری انواع فلزات سنگین است. مواد کلوئیدی در آبها ذراتی متحرک با قطر متوسط ۱-۰/۱ میکرومتر هستند. این ذرات شامل اکسیدهای آهن و منگنز، کانی های رسی و مواد ارگانیکی می باشد (Taylor et al. 2006). مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) برای برخی از اجزاء خاک در جدول ۲-۳ آمده است.

جدول ۳-۲: ظرفیت تبادل کاتیونی برای برخی از اجزاء خاک (سحابی ۱۳۸۵)

اجزاء خاک	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی والان در صد گرم خاک خشک)
مواد آلی خاک	۱۵۰-۳۰۰
کائولینیت	۲-۵
اپلیت	۱۵-۴۰
مونت مورینیت	۸۰-۱۰۰
ورمیکولیت	۱۵۰

عناصر مربوط به گروه طلا (طلا، نقره، مس و سرب) از نظر میل ترکیب شدن تقریباً کم اثر هستند و به همین دلیل به صورت آزاد در طبیعت یافت می‌شوند. به دلیل شعاع یونی نسبتاً بالای طلا و نقره ($1/44^\circ$) و بار یونی پایین در بدست آوردن مواضع قابل دسترس در فرآیند تبادل یونی از اهمیتی برخوردار نمی‌باشد (لیاقت ۱۳۷۹).

۳-۷-۳ - Eh و pH

pH و Eh مهمترین عوامل در کنترل غلظت و رفتار شیمیایی یون‌ها در خاک و آب می‌باشند. جذب یون مثبت هیدروژن توسط خاک، بخش زیادی از کاتیون‌های خاک را جابجا کرده و به فاز آب منتقل می‌کند. در محیط‌های خشک تجمع نمک‌های کلسیم، سدیم و منیزیم در سطح پروفیل خاک قرار دارد و با افزایش عمق، pH خاک، کم می‌شود. در شرایط طبیعی pH خاک بین ۵ تا ۷ و Eh خاک بین ۲۰۰- میلی‌ولت تا ۴۰۰ میلی‌ولت است. pH پایین باعث آزاد شدن عناصر Al, As, Be, Cr, Mn و Fe از سنگ میزبان و ورود آن‌ها به فاز مایع می‌شود (Kortatsi et al. 2007).

نمودارهای Eh و pH گویای وضعیت عناصر در تحت شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط پیرامون است. اکثر عناصر با افزایش Eh و کاهش pH از وضعیت پایدار به حالت محلول و بی‌ثبات در می‌آیند (Kortatsi et al. 2007). در شکل ۳-۱۴ محل قرار گرفتن برخی از محیط‌های طبیعی بر روی دیاگرام pH و Eh نشان داده شده است. آب‌های سطحی معمولاً دارای pH بین ۷ تا ۹/۵ و Eh بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌ولت و pH و Eh آب‌های زیرزمینی معمولاً به ترتیب بین ۷ تا ۹/۵ و ۰ تا ۲۰۰ میلی‌ولت می‌باشد (مر و شرفی ۱۳۷۳).

پیروتیت ($Fe_{1-x}S$) به سرعت اکسید می‌شوند، اما اسفالریت (ZnS) دارای نرخ اکسیداسیون بسیار کمتری است.

زهاب اسیدی معادن سولفیدی دارای pH بسیار پایین، هدایت الکتریکی و غلظت فلزات سنگینی همانند روی، کادمیوم و آرسنیک بالایی هستند (Hakkou et al. 2008, Aykol et al. 2003). مهمترین کانی‌ها در منطقه معدنی هیرد، کانی‌های سولفیدی همانند پیریت و آرسنوپیریت، گالن و اسفالریت می‌باشند. هوازگی این کانی‌ها منجر به افزایش اسیدیته در فاز محلول و آزادسازی بسیاری از کانی‌های سنگین به محیط می‌شود.

۳-۷-۵- بافت خاک

خاک جزء پوشش سطحی زمین بوده که تحت تأثیر واکنش‌های هوا، اقلیم و بارندگی بوجود آمده و ضخامت آن از ۰ تا ۳ متر در تغییر می‌باشد. بافت خاک یا درصد نسبی ذرات شن، سیلت و رس، منعکس‌کننده نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری رطوبت، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مواد آلی و کنترل‌کننده فاصله و سرعت مهاجرت عناصر می‌باشند (Barkouch et al. 2007, Hong et al. 2007). عناصری که دارای پیوند ضعیف با اجزاء خاک هستند، به راحتی از قسمت‌های بالایی خاک شستشو شده و به قسمت‌های پایینی پروفیل خاک حرکت می‌کنند. فرآیند آبشویی نقش مهمی در انتقال عناصر از سطح به عمق دارد (Land et al. 2002).

در جدول ۳-۳ درجه تحرک برخی عناصر در Eh و pHهای مختلف آمده است. در بین عناصر همراه در ذخایر طلا، طلا و سلنیم در هر شرایطی به عنوان یک عنصر غیرمتحرک شناخته می‌شود. آرسنیک، آنتیموان، روی و استرانسیم در شرایط احیا، غیرمتحرک و در محیط اکسیدان، دارای تحرک متوسط می‌باشد.

جدول ۳-۳: درجه تحرک برخی عناصر در Eh و pHهای مختلف (سحابی ۱۳۸۵)

درجه تحرک	اکساینده و (pH 5-8)	اکساینده و (pH < 4)	شرایط احیا
تحرک بالا	Cl, Br, S, Rn, He, C, N, Mo, B, Se, Te	Cl, Br, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, Rn, He
تحرک متوسط	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, As, Sb, Sr, Hg	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, As, Sb, Sr, Hg, Cu, Co, Cd, Ni, V, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, F, Sr, Ba, Ra, Mn
تحرک ضعیف	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, Cd, In, Ra, Be, W	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, Si, P, Fe
غیر متحرک	Fe, Al, Ga, Se, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, REEs, Pt metals, Au, Cr, Nb, Ta, Cs	Fe, Al, Ga, Se, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, Pt, Au, Mo, Se	Fe, Al, Ga, Se, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, Au, Cu, Pt metals, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Te, Mo, In, Cr, Nd, Ta

۳-۸- معادن طلا و کیفیت آب‌های زیرزمینی

حدود ۹۸ درصد آب‌های جهان را آب‌های شور تشکیل می‌دهند. در فلوریدا ۶۲ درصد از آب‌های زیرزمینی، ۲۷ درصد از آب‌های سطحی و ۱۱ درصد از آب‌های شور استفاده می‌شود (Taylor et al. 2006). در ایران که اکثر مناطق آن در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت و شرب محسوب می‌شوند (مهاجری ۱۳۸۴).

مسئله آلودگی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف جهان به عنوان یک تهدید جدی مطرح است. از جمله منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی، ذخایر طلا و فعالیت‌های معدنی می‌باشند که در این میان سفره‌های کم عمق و واقع در زمین‌های آبرفتی بیشتر تأثیر می‌پذیرند (Mahlknecht et al. 2004, Kuma 2006, Jadhav et al. 2007). اکتشاف طلا و به دنبال آن عملیات استخراج و فرآوری، باعث افزایش جمعیت در منطقه می‌شود. در اطراف معدن طلای Tarkwa در غنا، طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۸ میلادی، ۶۰ درصد به جمعیت ساکنین در منطقه افزوده گشت. به دنبال آن مصرف آب از ۲۲ میلیون لیتر در سال ۱۹۹۱ به ۳۶ میلیون لیتر در سال ۱۹۹۸ افزایش یافت. آنالیز آب رودخانه‌هایی که از بین سنگ‌های معدنی و باطله‌های معدنی می‌گذرند، تغییرات

شدیدی را در غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، قبل و بعد از ورود به سنگ‌های معدنی نشان می‌دهند (Kuma and Younger 2004). همچنین در این منطقه، هر ساله درصدی از آب‌های زیرزمینی به دلیل ورود فلزات سنگین از حدود استاندارد خارج می‌شوند (Kuma 2006).

در غنا، بنگلادش، شرق و جنوب کره، مهمترین عامل ایجاد خطر در آب‌های زیرزمینی حضور ذخایر طلا می‌باشد. در این آب‌ها معمولاً غلظت بالایی از فلزات سنگین همانند آرسنیک، آنتیموان، سرب و روی وجود دارد (Kuma 2003, Armah et al. 2006).

آب زیرزمینی در حوضه Artiguas در نیکاراگوئه حاوی آرسنیک (تا ۷۵ ppb)، جیوه (۸ ppb) و کادمیوم (۵ ppb) می‌باشد، که ناشی از ذخایر طلا می‌باشد (Mendoza and Barmen 2007).

در شرایط احیا و در سفره‌های آب زیرزمینی، عناصر سنگینی که جذب اکسیدهای آهن و منگنز شده‌اند از آن‌ها آزاد و در فاز محلول قرار می‌گیرد. این عناصر معمولاً شامل کبالت، نیکل، آهن، وانادیوم، مس و منگنز می‌باشد که با تغییر شرایط امکان رسوب‌دهی مجدد این عناصر به صورت سولفیدهای غیر محلول وجود دارد (محمدی و سمائی ۱۳۸۴).

۳-۹- مطالعات پیشین در منطقه

این منطقه به دلیل شرایط نامناسب آب و هوایی و دور بودن از شهرستان‌های مجاور و همچنین عدم تأمین امنیت دائم منطقه، در گذشته کمتر مورد توجه واقع شده است. به طور کلی کارهای انجام شده در گذشته بدین شرح است:

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم (چاه وک) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران در سال

۱۳۷۱ توسط بهروزی و خان ناظر در سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد.

- در سال ۱۳۸۰-۱۳۷۹ طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان که گزارشی از اکتشافات

ژئوشیمیایی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران بود، زیر نظر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

توسط عسکری و صفری انتشار یافت.

- عسکری و صفری طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان که گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ هیرد بود را در پاییز ۱۳۸۲ شمسی منتشر کردند.

- کریم پور، ملک زاده، حیدریان و عسکری در یک پروژه تحقیقاتی به بررسی کانی‌سازی، آلتراسیون و ژئوشیمی منطقه اکتشافی طلا- قلع هیرد پرداختند. آن‌ها نقشه آلتراسیون-کانی‌سازی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ مناطق اکتشافی را در سال ۱۳۸۶ منتشر کردند.

تأثیر حضور ذخایر طلا بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مجاور معدن از جمله تحقیقات به روز در نقاط مختلف جهان می‌باشد، اما تا به امروز تأثیر کانی‌سازی بر روی کیفیت آب در منطقه معدنی هیرد بررسی نشده است. این در حالی است که شواهد نشان می‌دهند که کیفیت آب‌ها بسیار پایین بوده و مردم از بیماری‌های مختلف گوارشی رنج می‌برند. آب‌های برخی نقاط حتی برای دام‌ها نیز قابل استفاده نمی‌باشد. بنابراین انجام این تحقیق کمک موثری در شناسایی نوع و منشأ آلودگی‌های موجود در منابع آب زیرزمینی منطقه خواهد نمود.

فصل چهارم

مواد و روش‌ها

۴-۱- مقدمه

به منظور انجام تحقیق، پس از بازدید صحرایی، محل‌های نمونه‌برداری در منطقه مشخص گردید. نمونه‌برداری از سنگ و منابع آب زیرزمینی منطقه (چاه و قنات) در دو نوبت صورت پذیرفت. نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد جهت تعیین پارامترهای مختلف فیزیکوشیمیایی مورد آنالیز قرار گرفتند. در این فصل نحوه نمونه‌برداری و مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری و روش‌های به کار رفته جهت آنالیز که شامل تعیین اسیدیت، هدایت الکتریکی، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و عناصر مختلف در آب، تهیه مقاطع نازک و تعیین عناصر مختلف در سنگ می‌باشد، شرح داده خواهد شد.

۴-۲- نمونه‌برداری

به منظور شناخت چگونگی تأثیر کانسار طلا بر کیفیت آب‌های زیرزمینی، پس از چندین بازدید صحرایی از منطقه، محل دقیق قنات‌ها و چاه‌ها مشخص گردید و نمونه‌های آب برداشت شد. جهت بررسی رابطه سنگ‌شناسی منطقه با کیفیت منابع آب زیرزمینی از سنگ‌های منطقه نیز نمونه‌برداری صورت گرفت.

۴-۲-۱- نمونه‌برداری از سنگ‌های منطقه

نمونه‌برداری از سنگ‌های منطقه در خرداد ماه ۱۳۸۸ انجام گرفت. ۱۹ مقطع نازک و صیقلی، جهت مطالعات مینرالوگرافی و سنگ‌شناسی تهیه شد. ۷ نمونه از سنگ‌ها که بیشترین تأثیر را در تغذیه آب‌های زیرزمینی منطقه داشتند، جهت آنالیز عناصر و فلزات سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شد. موقعیت محل‌های نمونه‌برداری در جدول ۴-۱ و شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱: مختصات محل‌های نمونه‌برداری سنگ‌ها

مختصات جغرافیایی		شماره نمونه
عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
۳۱°۵۵'۵۵"	۵۹°۱۵'۲۳"	R1
۳۱°۵۸'۳۵"	۵۹°۶'۵۸"	R2
۳۱°۵۸'۱۳"	۵۹°۱۴'۸"	R3
۳۱°۵۶'۵"	۵۹°۱۱'۱۰"	R4
۳۱°۵۷'۲۵"	۵۹°۹'۵۸"	R5
۳۱°۵۷'۴"	۵۹°۱۳'۸"	R6
۳۱°۵۶'۵۲"	۵۹°۷'۲۵"	R7
۳۱°۵۶'۳"	۵۹°۶'۸"	R8
۳۱°۵۸'۷"	۵۹°۵'۴۱"	R9
۳۱°۵۵'۱۵"	۵۹°۷'۱۴"	R10
۳۱°۵۵'۳۰"	۵۹°۱۰'۲۳"	R11
۳۱°۵۵'۵۹"	۵۹°۱۳'۱۶"	R12
۳۱°۵۸'۱۰"	۵۹°۱۱'۴۹"	R13
۳۱°۵۶'۵۷"	۵۹°۱۱'۲۱"	R14
۳۱°۵۸'۵۸"	۵۹°۸'۳۵"	R15
۳۱°۵۸'۱۰"	۵۹°۷'۴۳"	R16
۳۱°۵۷'۷"	۵۹°۵'۱۶"	R17
۳۱°۵۵'۱۴"	۵۹°۵'۴۵"	R18
۳۱°۵۴'۲۵"	۵۹°۵۹'۹"	R19

۴-۲-۲- نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه

نمونه‌برداری از آب‌های منطقه به دلیل ناچیز بودن ریزش نزولات جوی و متعاقب آن عدم وجود آب‌های سطحی در آبراهه‌های اصلی، تنها به آب‌های زیرزمینی منطقه محدود شده است. نمونه‌برداری از منابع آب در پایان دو فصل خشک و مرطوب به ترتیب آبان ماه ۱۳۸۷ و خرداد ماه ۱۳۸۸، از آب ۶ قنات (در محل مظهر) و ۴ چاه نمونه‌برداری صورت گرفت. موقعیت نمونه‌های برداشت شده در جدول ۴-۲ و شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲: مختصات محل‌های نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی

شماره ایستگاه	نام قنات یا چاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
S1	قنات شورابه	۵۹°۱۵'۱"	۳۱°۵۵'۱۵"	۱۴۸۵
S2	چاه گلچین	۵۹°۱۴'۵۶"	۳۱°۵۴'۵۵"	۱۴۸۵
S3	چاه لکتو	۵۹°۱۰'۵۳"	۳۱°۵۴'۲۱"	۱۴۳۳
S4	قنات هیرد	۵۹°۱۳'۵۶"	۳۱°۵۷'۳۴"	۱۵۲۲
S5	قنات رحیمی	۵۹°۱۲'۵۳"	۳۱°۵۸'۱۵"	۱۵۱۳
S6	چاه ابریکه	۵۹°۸'۵۰"	۳۱°۵۶'۵"	۱۴۵۴
S7	قنات بصیران	۵۹°۶'۵۹"	۳۱°۵۷'۲۶"	۱۴۰۶
S8	قنات همت آباد	۵۹°۵'۳۳"	۳۱°۵۸'۴۸"	۱۳۸۹
S9	قنات نوری	۵۹°۷'۲۱"	۳۱°۵۸'۵۸"	۱۴۲۴
S10	چاه علیزاده	۵۹°۹'۳۳"	۳۱°۵۸'۲"	۱۴۶۱

۴-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها

۴-۳-۱- آماده‌سازی نمونه‌های آب

در هر مرحله از نمونه‌برداری قبل از برداشت، بدنه بطری نمونه‌برداری با آب مذکور چند مرتبه پر و خالی گردید و از هر محل، دو نمونه در دو ظرف برداشت شد. pH و EC در محل تعیین گردید. از هر نمونه یک ظرف، جهت تعیین آنیون‌ها و کاتیون‌ها به پارک علم و فناوری استان سمنان ارسال گردید. به ظرف دیگر، جهت جلوگیری از رسوب فلزات سنگین، اسید نیتریک غلیظ افزوده و pH به زیر ۳ رسانیده شد و نمونه‌ها برای تعیین عناصر به روش ICP-MS به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شدند.

۴-۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌های سنگ

۱۹ مقطع نازک و ۷ مقطع صیقلی در کارگاه دانشگاه صنعتی (شاهرود) تهیه و مطالعه آن‌ها به وسیله میکروسکوپ دوچشمی انجام گرفت. ۷ نمونه از سنگ‌ها پس از پودر شدن و گذراندن آن‌ها از الک ۶۰ مش به آزمایشگاه ACME کانادا جهت انجام آنالیز ICP-MS و تعیین عناصر ارسال گردید.

۴-۴- تعیین اسیدیته

مقدار اسیدیته آب، به عواملی همانند دی‌اکسیدکربن محلول در آب، آنیون کربنات و بی‌کربنات و درجه حرارت آب بستگی دارد. با افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب از مقدار pH کاسته می‌شود. اسیدیته آب چاه‌ها و قنات‌ها در محل به وسیله دستگاه pH متر (Suntex) مدل SP-701 اندازه‌گیری شد. مقادیر pH نمونه‌ها در جداول ۴-۳ و ۴-۴ نشان داده شده است.

۴-۵- تعیین هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب رابطه مستقیم و خطی با املاح جامد حل شده در آب (TDS) دارد. مقدار هدایت الکتریکی آب چاه‌ها و قنات‌ها در محل به وسیله دستگاه هدایت‌سنج (Conductivity meter) مدل WP-۸۴ اندازه‌گیری شد. دقت دستگاه برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برابر با یک میکروموس بر سانتی‌متر بود. مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌ها در جداول ۴-۳ و ۴-۴ مشخص گردیده است.

۴-۶- تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی

غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، سختی و کل املاح محلول در آب، در پارک علم و فناوری استان سمنان تعیین گردید. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و دیگر پارامترها در ۱۰ نمونه آبی در پایان فصل خشک در جدول ۴-۳ و پایان فصل تر در جدول ۴-۴ نشان داده شده است.

۴-۷- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین

۴-۷-۱- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین در آب

جهت تعیین غلظت عناصر و فلزات سنگین در نمونه‌های آب، نمونه‌ها به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شد و در آنجا توسط روش ICP-MS آنالیز گردیدند. ICP یا پلاسمای جفت شده القایی، یک

سیستم آنالیز عنصری می‌باشد که نوع طیف‌بینی آن، طیف‌بینی نشری و روش اتم‌سازی آن از طریق پلاسما صورت می‌گیرد. پلاسما مجموعه‌ای از الکترون‌ها و یون‌های مثبت گاز آرگن، دارای انرژی بالا و دمایی در حدود ۱۰۰۰۰ درجه کلوین می‌باشد. این محیط به وسیله امواج رادیویی با توان بالا ایجاد می‌شود. این روش می‌تواند علاوه بر اندازه‌گیری عناصر کمیاب، ایزوتوپ‌ها را نیز تعیین کند. در این روش یون‌های موجود در پلاسما، از طریق یک سوراخ کوچک به داخل سیستم خلاء کشیده شده و توسط یک عدسی یونی در درون طیف سنج جرمی متمرکز و تعیین می‌گردند. نتایج ICP-MS آب در پایان فصل خشک در جدول ۴-۵ و در پایان فصل تر در جدول ۴-۶ آورده شده است.

۴-۷-۲- تعیین غلظت عناصر مختلف و فلزات سنگین در سنگ

۷ نمونه از سنگ‌ها که تقریباً در بالادست قنات‌ها و چاه‌ها قرار داشتند (نمونه‌های R1 تا R7 در جدول ۴-۱) مورد آنالیز عنصری قرار گرفتند. برای انجام ICP-MS بر روی نمونه‌های جامد در آزمایشگاه ACME ابتدا تمام نمونه‌ها در آن (۶۰°) خشک و از الکی که منافذ آن ۱۸ میکرومتر است، عبور داده شد و محلول Aqua regia که دارای اسید کلریک و اسید نیتریک غلیظ و آب دوباره تقطیر شده می‌باشد، جهت هضم اسیدی نمونه‌ها استفاده شد. نمونه‌ها همراه با محلول Aqua regia به مدت یک ساعت در حمام آب داغ با دمای بالای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از سرد شدن با HCl ۵ درصد به حجم رسانیده شدند. در هر ۲۰ میلی‌لیتر محلول، یک گرم از نمونه رسوب وجود دارد. غلظت فلزات مورد نظر در نمونه‌ها با دستگاه Perkin Elmer Elan 6000/9000 ICP mass spectrometer اندازه‌گیری گردید.

با توجه به اولویت‌های زیست محیطی و مقادیر عناصر، تعداد ۱۴ عنصر از ۳۷ عنصر آنالیز شده توسط روش ICP-MS انتخاب و نتایج آن‌ها به همراه نتایج ۴ نمونه سنگ از مناطق اکتشافی که توسط سازمان زمین‌شناسی اندازه‌گیری گردیده بود (R8 تا R11) در جدول ۴-۷ آورده شده است.

۴-۸- تهیه مقاطع نازک

برای تهیه مقاطع نازک، سنگ‌ها توسط دستگاه، برش داده شدند. سپس سنگ با پودرهای مخصوص، از درشت تا ریز به ترتیب، در همه جهات سایش داده شد تا سطح صاف و صیقلی بدست آید. یک طرف لام، با پودر ریز سایش داده شد تا سطح آن از یک طرف کدر شود. سنگ صیقلی شده روی هیتر قرار داده شد، وقتی سنگ به طور کامل داغ شد، به لام هم مقداری گرما داده شد و با چسب کانادابالزام بهم چسبانیده شدند. برای نازک شدن، سنگ توسط دستگاه ساب دوباره برش داده شده و سپس با پودرهای ساییده به اندازه کافی ساییده گردید. در انتها مقطع را خشک کرده و با چسب کانابالزام مایع لامل، روی آن قرار داده شد.

جدول ۳-۴: غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و دیگر پارامترهای نمونه‌های فصل خشک

شماره نمونه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
نام چاه یا قنات	قنات شورابه	چاه گلچین	چاه لکتو	قنات هیرد	قنات رحیمی	چاه ابربخه	قنات بصیران	قنات همت آباد	قنات نوری	چاه علیزاده
pH	۷/۸۲	۷/۲۳	۷/۶۱	۷/۴۷	۷/۴۰	۷/۹۲	۷/۸۳	۸/۱۳	۸/۱۳	۷/۷۴
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	۵۷۶۰	۶۰۰۰	۴۶۳۰	۹۱۲۰	۸۶۸۰	۳۸۰۰	۵۱۸۰	۱۳۰۴۰	۶۶۵۰	۴۱۷۰
سدیم (ppm)	۱۲۳۰/۵	۱۲۶۵	۹۵۴/۵	۱۹۷۸	۱۸۴۰	۷۷۰/۵	۱۰۸۱	۲۸۰۶	۱۴۲۶	۹۰۱/۶
منیزیم (ppm)	۲۳	۲۷/۹	۱۷	۳۰/۳	۴۵/۵	۳۰/۳	۲۳	۵۱	۳۰/۳	۱۳/۳
کلسیم (ppm)	۴۸	۶۴	۷۴	۶۶	۸۰	۴۸	۶۴	۱۰۰	۴۶	۳۲
نیترات (ppm)	۲۹	۳۰	۶/۴	۱۹	۱۷/۲	۱۲/۶	۱۷/۸	۳۳	۳۰	۲۱
سولفات (ppm)	۱۴۳۰/۴	۱۳۹۲	۱۰۰۸	۲۳۴۲/۴	۲۳۷۱/۲	۸۱۶	۱۲۰۰	۳۰۷۲	۱۶۸۰	۹۶۰
کلر (ppm)	۸۳۳/۶	۹۳۷/۲	۶۸۵/۱	۱۲۷۸	۱۱۴۳/۱	۵۳۶	۷۹۵/۳	۲۲۳۶/۵	۹۶۲	۵۴۶/۷
بیگربنات (ppm)	۵۲/۵	۵۴	۶۳	۳۹	۴۸	۵۲/۵	۴۸	۴۵	۵۱	۵۷
کربنات (ppm)	۱۵۲/۵	۱۳۴/۲	۲۲۵/۷	۲۳۱/۸	۲۰۱/۳	۲۳۷/۹	۱۵۸/۶	۱۰۳/۷	۱۴۶/۴	۲۲۵/۷
کل املاح محلول (ppm)	۳۴۳۰	۳۵۰۰	۲۷۲۰	۴۶۸۰	۵۳۱۰	۲۰۴۰	۳۰۲۰	۷۸۲۰	۳۹۴۰	۲۴۰۰
سختی کل	۲۱۵	۲۷۵	۲۲۵	۲۹۰	۳۸۵	۲۴۵	۲۵۵	۴۶۰	۲۴۰	۱۳۵

دول ۴-۴: غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و دیگر پارامترهای نمونه‌های آب در پایان فصل تر

شماره نمونه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
نام چاه یا قنات	قنات شورابه	چاه گاجین	چاه لکتو	قنات هیرد	قنات رحیمی	چاه ابریزه	قنات بصیران	قنات همت آباد	قنات نوری	چاه علیزاده
pH	-	۷/۸۲	۷/۷۹	۸/۱۰	۷/۹۳	۷/۹۰	۷/۰۴	۸/۴۸	۸/۱۷	۷/۸۰
EC ($\mu\text{mhos/cm}$)	-	۱۷۶۲	۱۲۴۶	۲۲۱۰	۱۲۵۱	۳۵۰۰	۱۴۶۴	۱۲۵۱۰	۶۳۷۰	۱۱۵۱
سدیم (ppm)	-	۱۹۵/۵	۱۲۳/۴	۲۷۶	۱۹۰/۹	۵۹۸	۱۴۷/۲	۲۲۳۱	۱۲۴۳	۱۸۱/۷
منیزیم (ppm)	-	۳۵/۲۳	۳۵/۲۳	۴۲/۵۲	۳۵/۲۳	۴۸/۶	۳۰/۳۷	۱۶۲/۸۱	۴۷/۳۸	۲۰/۶۵
کلسیم (ppm)	-	۱۳۲	۸۲	۱۴۰	۵۲	۱۱۰	۱۲۰	۳۰۸	۱۲۶	۴۲
سولفات (ppm)	-	۱۱۴۴/۹۲	۸۲۹/۰۳	۱۹۲۶/۲۹	۱۹۵۰/۷۲	۷۱۰/۴	۹۸۷	۲۸۸۰	۱۱۰۴	۹۸۷/۶
کلر (ppm)	-	۵۳۲/۲	۳۹۰/۵	۶۵۶/۷	۴۲۲/۴	۵۸۵/۷	۴۳۶/۶۵	۲۱۹/۹	۱۳۳۱/۲۵	۳۳۷/۲۵
بیکربنات (ppm)	-	۶	۳	۱۵	۶	۱۲	۶	۲۴	۶	۳
کربنات (ppm)	-	۱۴۰/۳	۶۱	۲۱۳/۵	۷۹/۳	۱۹۵/۲	۱۲۲	۱۴۹/۴۵	۱۶۴/۷	۱۰۹/۸
کل املاح محلول (ppm)	-	۱۰۵۵	۷۴۶	۱۳۳۴	۸۱۱	۲۱۹۰	۸۸۰	۷۵۳۰	۳۶۹۰	۷۰۰
سختی کل	-	۴۷۵	۳۵۰	۵۲۵	۲۷۵	۴۷۵	۴۲۵	۱۴۴۰	۵۱۰	۱۷۸/۵

جدول ۴-۵: غلظت عناصر در نمونه‌های آب با استفاده از ICP-MS در پایان فصل خشک

شماره نمونه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
نام چاه یا قنات	قنات شورابه	چاه گلچین	چاه لکتو	قنات هیرد	قنات رحیمی	چاه ابریزه	قنات بصیران	قنات همت آباد	قنات نوری	چاه علیزاده
As (ppb)	۱۸۸۷	۸۸۷	۱۴۲۶/۲	۱۲۷	۳۷/۳	۱۰/۱۸	۵۸۸۷	۱۰/۱۸	۶/۱۱	۲۲
Au (ppb)	۰/۶	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
B (ppb)	۱۹۴۱	۱۷۴۴	۱۷۰۰	۲۷۷۸	۲۷۵۲	۱۲۱۳	۱۶۸۳	۲۶۷۸	۲۲۳۸	۱۷۹۷
Cr (ppb)	۱۸/۶	۱۴/۵	۱۳/۲	۱۹/۴	۱۳/۸	۱۴/۴	۱۴/۳	۱۲/۲	۲۲	۱۷/۴
Cu (ppb)	۵/۶	۵/۱	۵/۶	۱۰/۵	۱۰/۵	۴/۲	۵/۵	۱۳/۴	۷/۷	۴/۵
Hg (ppb)	<۱	۱/۳	<۱	<۱	<۱	<۱	۱/۲	۱/۵	<۱	<۱
Mn (ppb)	۰/۵	۴/۶۱	۱/۱۲	۳/۱۳	۰/۵	۰/۵	۶/۹	۳/۹	۱۳/۵	۰/۹۷
Mo(ppb)	۲۴/۹	۲۱/۷	۲۱/۳	۴۹	۴۰/۱	۱۴/۲	۲۵	۲۰/۳	۳۹/۳	۳۹/۷
Pb (ppb)	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱
S (ppm)	۴۶۹	۴۲۰	۳۹۲	۸۱۷	۸۶۵	۳۱۲	۴۲۰	۱۱۲۷	۵۶۰	۳۴۹
Sb(ppb)	۱/۵	۰/۷۱	۱/۷۶	۱/۱۹	۱/۵۹	۱/۰۹	۱/۵۲	۱/۲۹	۱/۵۱	۱/۹۳
Se (ppb)	۱۳/۳	۱۲	۸/۷	۱۶/۷	۱۹/۴	۵/۳	۱۰/۵	۱۴/۴	۱۲/۲	۹
Sr (ppb)	۴۵۴۵	۵۱۶۰	۴۶۹۶	۸۹۰۲	۹۶۲۱	۴۱۴۲	۴۳۶۷	۱۳۸۳۶	۵۵۴۶	۲۴۸۳
Zn (ppb)	۲۴/۳	۵/۶	۱۰/۹	۲۴/۶	۱۷/۷	۱۶/۳	۱۴/۲	۱۵/۵	۱۲/۵	۱۳/۴

جدول ۴-۶: غلظت عناصر در نمونه‌های آب با استفاده از ICP-MS در پایان فصل تر

شماره نمونه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
نام چاه یا قنات	قنات شورابه	چاه گلچین	چاه لکتو	قنات هیرد	قنات رحیمی	چاه ابربخه	قنات بصیران	قنات همت آباد	قنات نوری	چاه علیزاده
As (ppb)	-	۶/۵	۹۵۴/۳	۱۳/۴	۵/۵	۷۰/۸	۴۷/۸	۸/۲	۳/۱	۱۷/۱
Au (ppb)	-	۰/۱۴	<۰/۰۵	۰/۲۰	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۶	<۰/۰۵	<۰/۰۵
B (ppb)	-	۱۵۳۷	۱۴۵۲	۱۹۹۰	۱۴۳۱	۱۲۲۸	۲۰۷۷	۲۷۲۷	۲۲۲۱	۱۴۵۰
Cr (ppb)	-	۶/۳	۱/۳	۵/۸	۱۱/۹	۲/۷	۵/۵	۱۵/۹	۱۳/۱	۴
Cu (ppb)	-	۱۳۳/۹	۴/۶	۱۰/۳	۲۳/۳	۴/۱	۱۳/۵	۱۵/۹	۸/۵	۲/۳
Hg (ppb)	-	۰/۴	<۰/۱	۰/۸	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱
Mn (ppb)	-	۱۷/۲۶	۶۲/۷	۲۰/۹۹	۵/۵۳	۳۰/۰۶	۸/۲۲	۳۶/۴	۹۰/۳۲	۲۰/۸۷
Mo(ppb)	-	۱۹/۴	۱۹/۳	۳۸/۹	۲۱/۷	۱۲	۲۳/۱	۱۸/۶	۳۲/۶	۳۸/۳
Pb (ppm)	-	۹/۷	<۱	۴/۲	۳/۵	<۱	۵/۲	۱۳/۴	۵/۹	<۱
S (ppm)	-	۲۹۴	۲۹۲	۶۳۴	۲۴۵	۲۳۹	۳۹۸	۹۶۳	۴۹۳	۲۳۲
Sb(ppb)	-	۲/۴۲	۲/۴۲	۲/۲۹	۲/۰۶	۳/۱	۲/۸۱	۲/۰۱	۲/۳۱	۲
Se (ppb)	-	۹/۷	۷/۲	۱۳/۳	۶/۷	۴/۸	۹/۷	۱۲/۱	۸/۷	۷/۱
Sr (ppb)	-	۴۲۷۸	۳۵۸۸	۶۴۶۶	۲۶۸۰	۳۶۴۷	۳۹۴۶	۱۱۷۰۳	۴۸۳۸	۱۸۸۳
Zn (ppb)	-	۲۱۷/۳	۱۳۸/۶	۴۳/۳	۱۶۷/۳	۱۹/۳	۱۳/۲	۱۱۹/۵	۶۵/۹	۸۶/۱

جدول ۷-۴: غلظت عناصر در سنگها با استفاده از ICP-MS

شماره نمونه	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
As (ppm)	۲۵۹	۲/۶	۳/۴	۸۳۶	۱۱/۸	۹	۴/۲	۸۸۳	۴۴۷	۱۸۳۵	۹۵۴
Au (ppb)	۳/۶	۲	۱/۴	۶/۸	۱	۰/۶	۱/۷	۲/۶	۳	۶/۸	۱/۴
B (ppm)	<۲۰	<۲۰	<۲۰	۲۴	<۲۰	<۲۰	<۲۰	۲۳	۳۷	۳۶	۳۸
Cr (ppm)	۱۵۶/۴	۴۷	۴۵/۲	۲۸/۳	۳۸/۹	۳۸/۶	۲۴/۶	۱۷۹	۹۱	۸۹	۴۴
Cu (ppm)	۸۱/۸۴	۳۸/۳۲	۳۸/۹۱	۲۳/۱۶	۷۶/۶۵	۵۶/۸۵	۴۹/۲۹	۸۰	۹۹/۵	۳۱/۲۵	۱۷
Hg (ppb)	۸	∆	∆	۱۳	۶	<∆	۲۱	۱۲	۱۸	۱۷	۱۴
Mn (ppm)	۴۱۶	۷۹۳	۷۸۹	۸۰۷	۲۹۹	۲۴۵	۶۱۱	۱۸۳۰	۱۹۴۵	۲۱۰۰	۱۹۱۵
Mo(ppm)	۱/۳	۰/۳۱	۰/۳۲	۱/۹۴	۱/۲۶	۰/۳۸	۱/۳	۱	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۵
Pb (ppm)	۳۲/۵	۷/۶۶	۲۹/۳۲	۶/۹۲	۳۱/۲۵	۱۸/۰۱	∆/۷۷	۳۷۲	۲۷۵	۴۳۱	۴۲۵
S (%)	۰/۰۷	<۰/۰۲	<۰/۰۲	<۰/۰۲	<۰/۰۲	<۰/۰۲	<۰/۰۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱
Sb(ppm)	۲/۸۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۵	۳۲	۱۸	۹۴	۳۲
Se (ppm)	۰/۶	<۰/۱	<۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۱	۰/۸	۱/۳	۰/۶
Sr (ppm)	۱۶۸/۳	۹۵/۸	۹۰/۲	۳۴/۵	۲۶۳/۴	∆۶/۶	۶۷/۴	۱۱۷	۲۸۳	۱۱۴	۱۶۷
Zn (ppm)	۱۴۴/۸	۶۰/۲	∆۹/۶	۲۴/۸	۶۳/۵	۴۱/۲	∆۸/۸	۲۴۹	۹۷	۲۴۱	۷۱

فصل پنجم

خصوصیات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه

۵-۱- مقدمه

برای شناسایی منشأ آلودگی منابع آبی، شناسایی دقیق سنگ‌های منطقه به عنوان یکی از فاکتورهای درگیر الزامی می‌باشد. بنابراین ابتدا چندین بار از منطقه، بازدید گردید. به طور کلی در طراحی محل نمونه‌ها، علاوه بر در نظر گرفتن نقشه زمین‌شناسی، عوامل ساختاری و سیستم‌های گسلی و واحدهای بالقوه و مستعد کانی‌سازی، مسیر آبراهه‌ها، دست یابی به توزیع یکنواخت نمونه‌ها در سطح منطقه نیز مد نظر بوده است. محل چاه‌ها و قنات‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی پیاده شد و نقاط تأثیرگذار در تغذیه سفره‌ها، انتخاب و نمونه‌برداری انجام پذیرفت.

در این فصل نمونه‌ها، از نظر پتروگرافی و مینرالوگرافی مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج آنالیز ICP-MS سنگ‌ها تجزیه و تحلیل شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، عمده‌ترین سنگ‌های منطقه در چند دسته طبقه‌بندی و بحث گردیده است، سپس همبستگی بین عناصر مختلف سنگ محاسبه شده است و در انتها، توزیع عناصر و فلزات سنگین در سنگ‌های منطقه ترسیم شده است.

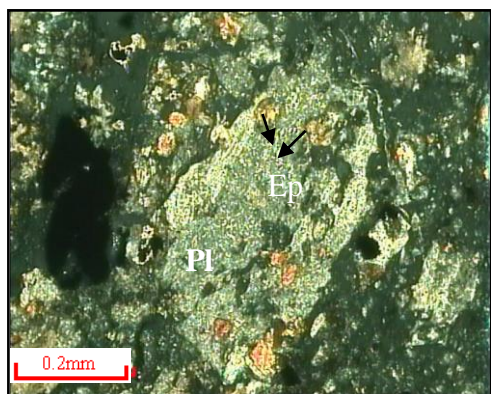
۵-۲- سنگ‌شناسی منطقه

۵-۲-۱- سنگ‌های آذرین

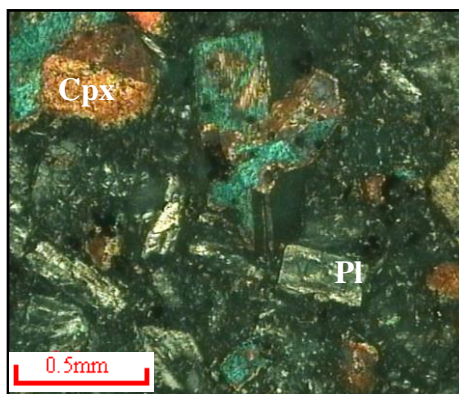
۵-۲-۱-۱- آندزیت‌های پورفیری

قسمت‌های وسیعی در غرب، مرکز و قسمت‌هایی در شرق و شمال شرق را آندزیت‌ها و توف‌های آندزیتی تشکیل می‌دهند که این سنگ‌ها را می‌توان نوعی گدازه آندزیتی دگرسان شده پروپیلیتی نامید. در بسیاری از این سنگ‌ها بافت پورفیری اولیه، علی‌رغم دگرسانی شدید حفظ شده است (شکل ۵-۱). انواع مختلفی از دگرسانی در پلاژیوکلازها دیده می‌شود که بیشتر آن‌ها تشکیل مجموعه‌ای از کانی‌های رسی را داده‌اند. در بسیاری از موارد، کلسیت از پلاژیوکلازها بوجود آمده است. به طور کلی هجوم محلول‌های هیدروترمال غنی از CO_2 به این گروه از سنگ‌ها امری بدیهی است و

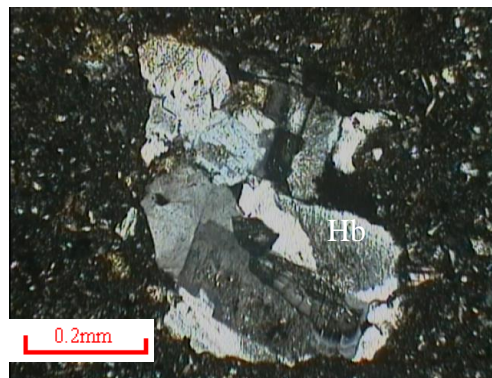
رگه‌های کلسیتی بسیاری، این سنگ‌ها را قطع می‌نمایند. دگرسانی پلاژیوکلاز موجب تشکیل اپیدوت و کلینوزئیزیت گردیده است (شکل ۲-۵). هورنبلندها نیز به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۵). تشکیل کلریت، کلسیت، کوارتز، اسفن و کانی‌های اوپک، همزمان با تشکیل اپیدوت و کلینوزئیزیت را می‌توان به دگرسانی پروپیلیتی نسبت داد.



شکل ۲-۵: نمایی از پلاژیوکلاز (Pl) اپیدوتی‌شده (Ep) در آندزیت پورفیری، نور (XPL)



شکل ۱-۵: آندزیت پورفیری دگرسان‌شده، Pl پلاژیوکلاز دگرسان‌شده، Cpx کلینوپیروکسن نور (XPL)

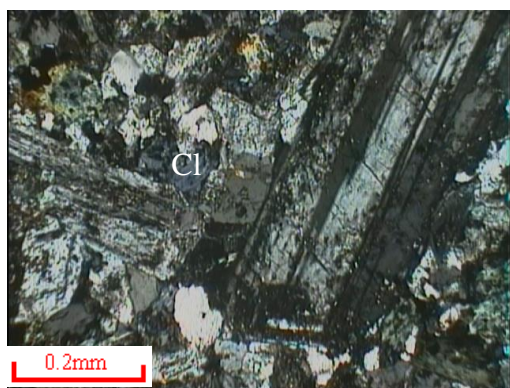


شکل ۳-۵: تجمع بلورهای هورنبلند سبز (Hb) که به طور موضعی کلریتی‌شده در آندزیت پورفیری، نور (XPL)

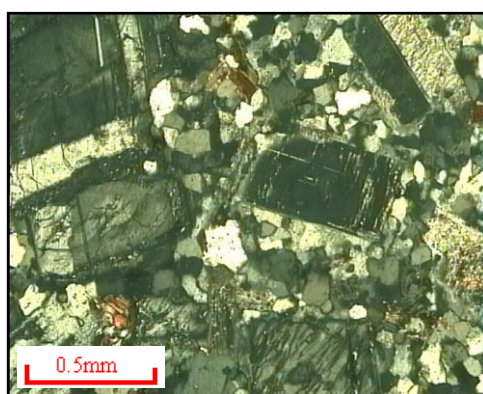
۵-۲-۱-۲-۵- گرانودیوریت

گرانودیوریت‌ها به طور عمده، در شرق، شمال شرق و بخش‌های کوچکی در شمال غرب منطقه دیده می‌شوند. این سنگ‌ها دارای پلاژیوکلاز، ارتوکلاز و کوارتز بوده و دارای بافت پرفیروئیدی می‌باشند (شکل ۴-۵). به علاوه مقدار کمی از این کانی‌ها به سریسیت تبدیل شده است. فلدسپات‌های آلكالن و

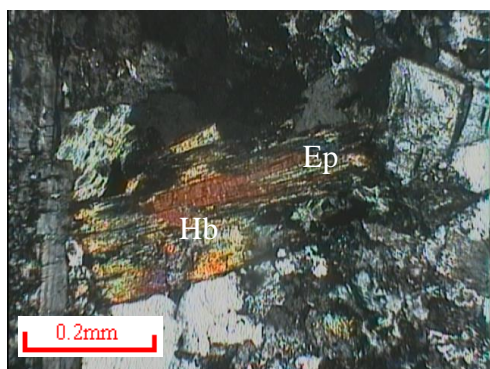
کوارتز زمینه بین پلاژیوکلازها را تشکیل می‌دهند. کانی‌های مافیک اغلب به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۵-۵). هورنبلند به کلریت کلسیت، اکسید آهن (شکل ۶-۵) و اپیدوت (شکل ۷-۵) تبدیل شده است.



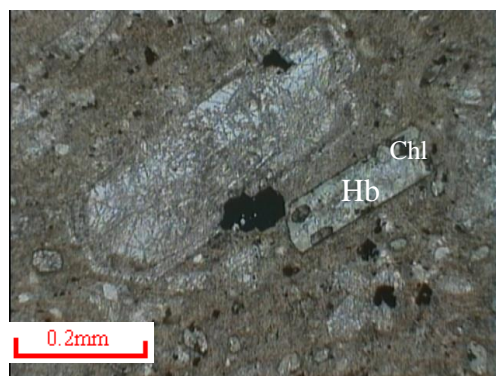
شکل ۵-۵: نمایش کلریت (Chl) در گرانودیوریت، نور (XPL)



شکل ۴-۵: بافت پورفیروئیدی در گرانودیوریت، نور (XPL)



شکل ۷-۵: تبدیل هورنبلند (Hb) به اپیدوت (Ep) در گرانودیوریت، نور (XPL)



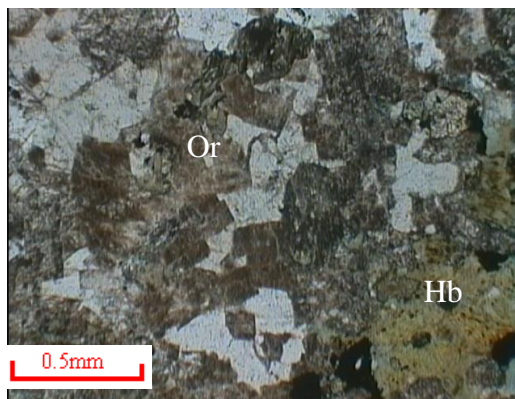
شکل ۶-۵: تبدیل هورنبلند (Hb) به کلریت (Chl) در گرانودیوریت، نور (PPL)

۵-۲-۱-۳- گرانیت

گرانیت‌ها رخنمون محدودی را در شمال شرق منطقه، به خود اختصاص می‌دهند. در این سنگ‌ها کلریت و اپیدوت به عنوان کانی‌های ثانویه دیده می‌شود (شکل ۸-۵). ظاهراً در مراحل پایانی تفریق ماگمایی حجم قابل ملاحظه‌ای بور در سیالات باقیمانده متمرکز شده که به صورت تشکیل تورمالین تجلی پیدا کرده است (شکل ۹-۵). این پدیده در شرق منطقه مشاهده می‌شود.



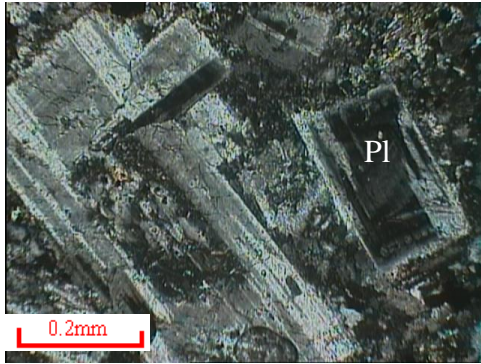
شکل ۵-۹: تشکیل تورمالین (TO) در گرانیت، نور (PPL)



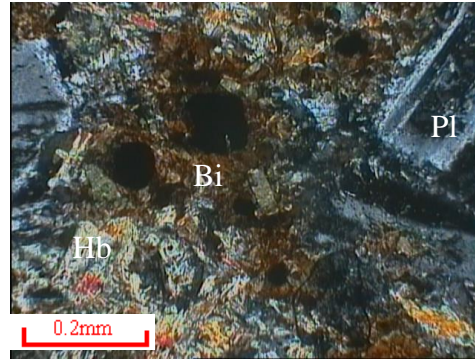
شکل ۵-۸: ارتوکلاز (Or) به همراه هورنبلند کلریتی شده (Hb) در گرانیت، نور (PPL)

۵-۲-۱-۴- دیوریت

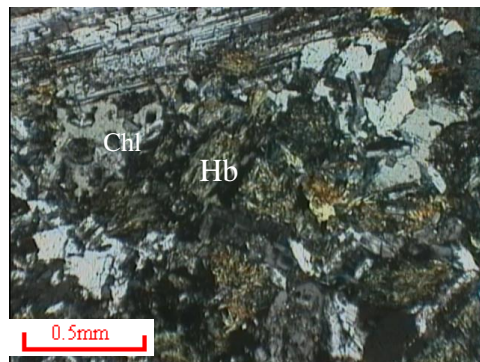
آلتراسیون‌ها در دیوریت‌ها شدید می‌باشد. کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت (شکل ۵-۱۰) و کانی‌های فرعی، کوارتز، تورمالین، آپاتیت، کانی‌های اپک و کانی‌های ثانویه آن، کلریت، ترمولیت، اکتینولیت، اپیدوت، کلسیت، بیوتیت، سربیسیت، اکسیدهای آهن می‌باشد. پلاژیوکلازها دارای خاموشی منطقه‌ای و ماکل پلی‌سنتیک می‌باشند (شکل ۵-۱۱). کانی‌های مافیک سنگ اوزیت و هورنبلند سبز هستند که با شدت‌های متفاوت تجزیه شده‌اند (شکل ۵-۱۲). بیوتیت‌ها اغلب سالم است. آلکالی فلدسپار پتاسیم به صورت بلورهای بی شکل بین کانی‌های دیگر دیده می‌شوند و تا حدی به کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند. کوارتز به مقدار کم به صورت بی شکل نیز بین کانی‌های دیگر وجود دارد و رگچه‌های سیلیسی، کلسیتی، کلریتی و اکسیدهای آهن دیده می‌شوند.



شکل ۵-۱۱: بافت پرفیروئیدی در سنگ دیوریتی با پلاژیوکلازهایی با ماکل پلی سنتتیک، نور (XPL)



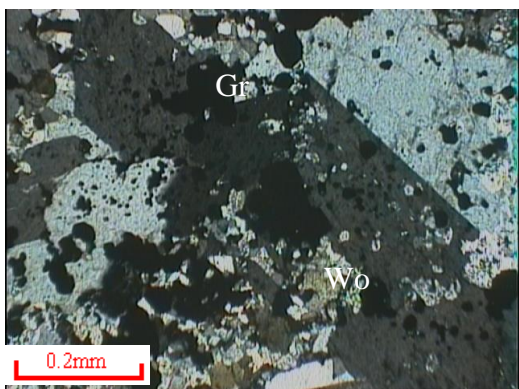
شکل ۵-۱۰: پلاژیوکلاز (Pl)، هورنبلند سبز (Hb) و بیوتیت (Bi) در دیوریت، نور (XPL)



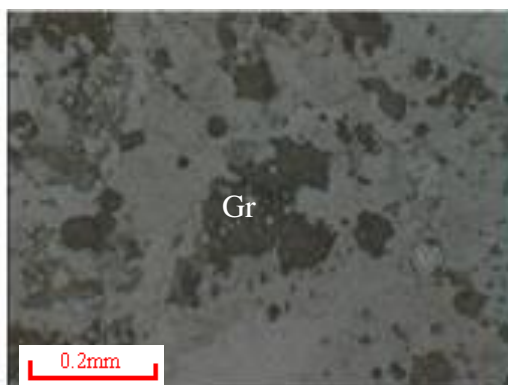
شکل ۵-۱۲: تبدیل شدگی هورنبلند (Hb) به کلریت (Chl) در دیوریت، نور (PPL)

۵-۲-۲- سنگ‌های دگرگونی

تحولات صورت گرفته در راستای نفوذ توده‌های آذرین به درون سنگ‌های میزبان را می‌توان به دو بخش اسکارن‌زایی و متاسوماتیسم تقسیم کرد. در طی متاسوماتیسم سنگ‌های توفی، شیلی، توفی ماسه‌ای دگرگون شده و اپیدوت و کلریت در آن‌ها تشکیل شده است و بافت گرانوبلاستی نشان می‌دهند. اسکارن‌ها بیشتر در شمال شرق منطقه تمرکز دارند. مطالعه اسکارن‌ها، نشان می‌دهد که سنگ اولیه آن‌ها، آهک، دولومیت، کنگلومرای دارای سیمان آهکی بوده است. تقریباً تمامی آن‌ها دارای بافت گرانوبلاستی می‌باشند. فاز اصلی در این سنگ‌ها گارنت از نوع گروسولار و ولاستونیت می‌باشند (شکل ۵-۱۳). ولاستونیت به صورت بلورهای منشوری دیده می‌شود (شکل ۵-۱۴) و کلسیت و اپیدوت در نمونه‌ها مشاهده می‌شوند (شکل ۵-۱۵).



شکل ۵-۱۴: ولاستونیت (Wo) و گارنت (Gr) در اسکارن‌های شمال شرق منطقه، نور (XPL)

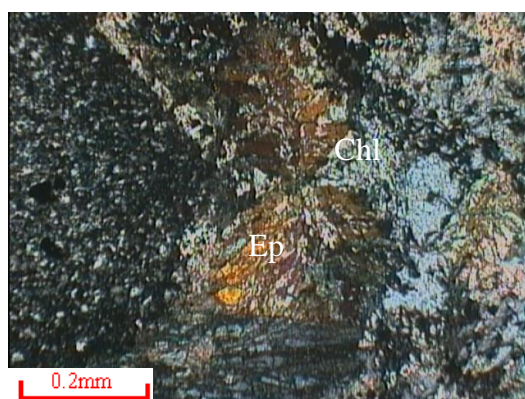


شکل ۵-۱۳: تصویر میکروسکوپی نشان دهنده حضور گارنت (Gr) در اسکارن‌های شمال شرق منطقه، نور (PPL)



شکل ۵-۱۵: حضور کلسیت (Ca) و اپیدوت (Ep) در اسکارن‌های شمال شرق منطقه، نور (XPL)

کنگومراها با قطعات توفی، شیلی و سیلت استونی با دگرسانی پروپلیتی نسبتاً گسترده و دگرسانی آرژیلیتی همراه با سیلیفیکاسیون خیلی ضعیف، به صورت پراکنده در منطقه دیده می‌شود.



شکل ۵-۱۶: اپیدوت (Ep) و کلریت (Chl) در شیل توفی دگرگون‌شده، نور (XPL)

۵-۲-۳- سنگ های کربناته

سنگ‌های کربناته، به صورت پراکنده در منطقه وجود دارند. این سنگ‌ها عمدتاً از کلسیت تشکیل شده، مقدار کمی کانی‌های اپک و کوارتز نیز دیده می‌شود. در این سنگ‌ها، هجوم کلسیت از طریق رگه‌ها به سنگ و جانشینی کامل آن توسط کلسیت به خوبی دیده می‌شود.

۵-۳- کانی‌سازی در منطقه

رگه‌های کانه‌دار در منطقه معمولاً، مهمترین منبع آلودگی و پراکندگی عناصر و فلزات سنگین در منطقه می‌باشند. زون اصلی کانی‌سازی در دامنه شمالی کوه سیاه کمر (در مرکز منطقه) قرار دارد. این زون در امتداد گسلی به طول ۲ کیلومتر تشکیل شده است. لیتولوژی محدوده شامل توف، لاپیلی توف، آگلومرا، برش ولکانیکی، همراه با میان لایه‌های ماسه سنگ، کنگلومرا و آهک می‌باشد (شکل ۵-۱۷).



شکل ۵-۱۷: نمایی از منطقه کانی‌سازی در مرکز منطقه

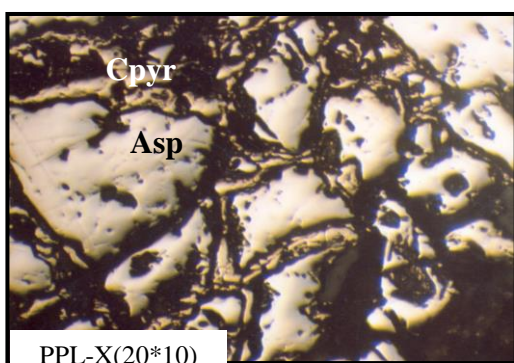
همراه با زون دگرسانی، پیریت‌زایی گسترده در سنگ‌ها صورت گرفته است (شکل ۵-۱۸). در اثر دگرسانی سنگ‌های سیلیسی و تأثیر سیالات گرمابی، کانی‌سازی Au، Sb و As صورت گرفته است که بیشتر با رگه و رگچه‌های سیلیسی همراه است.



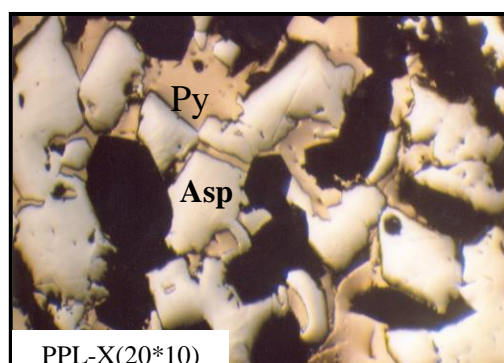
شکل ۵-۱۸: پیریت‌زایی در امتداد شکستگی‌ها

دانه‌های آرسنوپیریت در اثر عوامل تکتونیکی به شدت خرد شده و در محل شکستگی آن‌ها، سیالات حاوی کمپلکس‌های پیروتیت (شکل ۵-۱۹) و کالکوپیریت (شکل ۵-۲۰) به فرم رگچه‌های تزریقی جای گرفته‌اند. دانه‌های شکل‌دار و اغلب چهارگوش پیریت، با صیقل‌پذیری ضعیف و سطح ناهموار در مقاطع دیده می‌شوند (شکل ۵-۲۱).

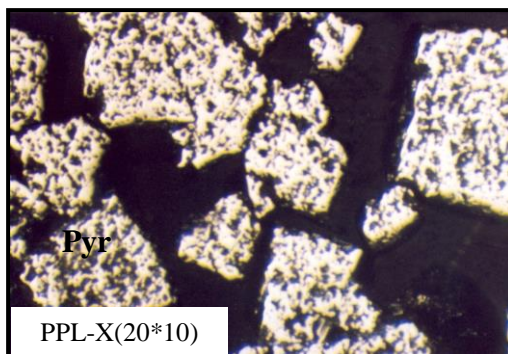
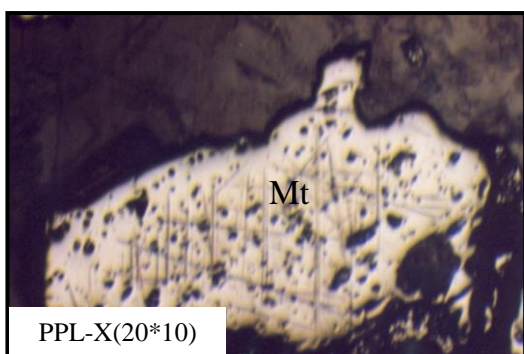
کانه‌های اکسیدی به صورت دانه‌های جدا، شکل‌دار، با قدرت بازتابش پائینی مشخص‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان دانه‌های پراکنده مگنتیت را نام برد که شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هستند. این بلورها معمولاً ایزوتروپ هستند و تا حدودی مارتیتی شده‌اند (شکل ۵-۲۲).



شکل ۵-۲۰: آرسنوپیریت (*Asp*) به همراه کالکوپیریت (*Cpyr*)



شکل ۵-۱۹: آرسنوپیریت (*Asp*) به همراه پیروتیت (*Py*)



شکل ۵-۲۲: حضور مگنتیت در زون‌های کانه‌دار

شکل ۵-۲۱ پیریت (Pyr) با سطح ناهموار

۵-۴- تعیین همبستگی بین عناصر مختلف در سنگ‌های منطقه

به منظور ارزیابی میزان همبستگی عناصر با یکدیگر، ضریب همبستگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است.

$$\text{correl}(X, Y) = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad \text{فرمول ۵-۱}$$

ماتریس همبستگی بین عناصر مختلف در نمونه‌های سنگ در جدول ۵-۱ نشان داده شده است.

جدول ۵-۱: ماتریس همبستگی بین عناصر مختلف در سنگ

	As	Au	B	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Pb	S	Sb	Se	Sr	Zn
As	۱													
Au	۰/۷۱۰	۱												
B	۰/۵۱۴	۰/۶۷۳	۱											
Cr	۰/۴۵۰	۰/۶۸۳	۰/۳۵۰	۱										
Cu	-۰/۱۲۳	۰/۱۷۳	۰/۳۸۳	۰/۵۶۲	۱									
Hg	۰/۲۶۹	-۰/۳۳۷	۰/۵۸۲	۰/۰۶۸	۰/۰۴۷	۱								
Mn	۰/۷۴۶	۰/۷۹۹	۰/۸۵۱	۰/۴۷۰	۰/۱۲۰	۰/۵۷۲	۱							
Mo	-۰/۳۹۵	-۰/۱۴۶	-۰/۰۱۹	-۰/۰۵۹	-۰/۱۵۴	۰/۱۱۳	-۰/۳۹۸	۱						
Pb	۰/۴۷۰	۰/۴۶۷	۰/۷۳۷	۰/۳۴۴	۰/۴۵۲	۰/۵۵۰	۰/۸۲۰	۰/۴۹۴	۱					
S	۰/۰۲۷	-۰/۰۴۵	-۰/۰۴۴	۰/۶۲۱	۰/۶۴۶	-۰/۰۲۵	-۰/۰۳۵	۰/۸۰۳	۰/۲۳۱	۱				
Sb	۰/۸۹۹	۰/۷۳۵	۰/۶۲۷	۰/۳۶۲	-۰/۱۴۱	۰/۴۳۶	۰/۷۷۹	-۰/۳۱۲	۰/۵۵۳	-۰/۰۱۱	۱			
Se	۰/۸۱۱	۰/۸۳۵	۰/۶۸۶	۰/۷۲۱	۰/۳۰۱	۰/۴۹۲	۰/۸۱۴	-۰/۲۶۹	۰/۷۱۳	۰/۳۳۷	۰/۸۶۹	۱		
Sr	۰/۰۲۹	۰/۰۴۵	۰/۱۱۴	۰/۲۸۰	۰/۷۸۵	۰/۰۵۵	۰/۲۱۴	-۰/۲۴۲	۰/۵۸۱	۰/۵۷۹	۰/۰۴۸	۰/۳۱۴	۱	
Zn	۰/۸۰۳	۰/۹۰۲	۰/۵۱۲	۰/۸۱۲	۰/۲۳۳	۰/۲۹۲	۰/۷۱۵	-۰/۱۷۱	۰/۴۳۵	۰/۲۸۴	۰/۸۰۲	۰/۹۱۲	۰/۱۵۲	۱

همبستگی بالایی بین آرسنیک با منگنز (۰/۷۴۶)، آنتیموان (۰/۸۹۹)، سلنیم (۰/۸۱۱) و روی (۰/۸۰۳) دیده می‌شود. طلا با منگنز (۰/۷۹۹)، آنتیموان (۰/۷۳۵)، سلنیم (۰/۸۳۵) و روی (۰/۹۰۲) همبستگی بالا دارد. بور با منگنز (۰/۸۵۱) و سرب (۰/۷۳۷) همبستگی نشان می‌دهد. کروم با سلنیم (۰/۷۲۱) و روی (۰/۸۱۲) همبستگی دارد. مس با استرانسیم (۰/۷۸۵) و منگنز با سرب (۰/۸۲)، آنتیموان (۰/۷۷۹)، سلنیم (۰/۸۴۴) همبستگی مثبت دارد. آنتیموان با سلنیم (۰/۸۶۹) و روی (۰/۸۰۲) و استرانسیم با روی (۰/۹۱۲) همبستگی بالا نشان می‌دهد.

۵-۵- غلظت عناصر و فلزات سنگین در سنگ‌های منطقه

۵-۵-۱- طلا

مقدار طلا در سنگ‌های منطقه، از اطراف به سمت جنوب (مناطق کانی‌سازی) افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار طلا در نمونه R10 (۶/۸ ppb) در منطقه اکتشافی یک دیده می‌شود (شکل ۵-۲۳).

۵-۵-۲- آرسنیک

میزان آرسنیک در سنگ‌های شمالی منطقه، بسیار کم می‌باشد. به سمت جنوب (مناطق کانی‌سازی) بر مقدار آرسنیک در سنگ‌ها افزوده می‌شود. مقدار آرسنیک از ۲/۶ ppm (نمونه R2) تا ۱۸۳۵ ppm (نمونه R10) می‌رسد (شکل ۵-۲۴).

۵-۵-۳- بور

توزیع بور در سنگ‌های منطقه همانند توزیع آرسنیک می‌باشد. میزان بور از شمال به جنوب (مناطق کانی‌سازی) افزایش می‌یابد. غلظت بور تا ۳۸ ppm (نمونه R11) در جنوب منطقه می‌رسد (شکل ۵-۲۵).

۵-۵-۴- کروم

غلظت کروم در جنوب شرق و شمال منطقه بیشترین مقدار می‌باشد. این مقدار از ۲۴/۶ ppm (نمونه R7) تا ۱۷۹ ppm (نمونه R8) می‌رسد (شکل ۵-۲۶).

۵-۵-۵- مس

غلظت مس از مرکز به اطراف افزایش می‌یابد. این مقدار از ۱۷ ppm (نمونه R11) تا ۹۹/۵ ppm (نمونه R9) می‌رسد (شکل ۵-۲۷).

۵-۵-۶- منگنز

غلظت منگنز در سنگ‌های منطقه نسبتاً بالا می‌باشد، این مقدار از ۲۴۵ ppm (نمونه R6) تا ۲۱۰۰ ppm (نمونه R10) می‌رسد. میزان منگنز در مرکز و جنوب منطقه بیشترین مقدار است (شکل ۵-۲۸).

۵-۵-۷- مولیبدن

مقدار مولیبدن در قسمت‌های جنوب غربی بیشتر است. این غلظت از ۰/۲۸ ppm در نمونه R9 به ۱/۹۴ ppm در نمونه R4 می‌رسد (شکل ۵-۲۹).

۵-۵-۸- آنتیموان

توزیع آنتیموان در سنگ‌های منطقه توزیع آرسنیک و بور در منطقه می‌باشد و در قسمت‌های جنوبی که منطبق بر مناطق کانی‌سازی بوده بیشترین مقدار می‌باشد. این غلظت تا ۹۴ ppm در جنوب منطقه می‌رسد (شکل ۵-۳۰).

۵-۵-۹- سلنیم

میزان سلنیم در قسمت‌های مرکزی و جنوب شرق، بیشترین مقدار می‌باشد. غلظت سلنیم تا ۱/۳ ppm در نمونه R10 می‌رسد (شکل ۵-۳۱).

۵-۵-۱۰- استرانسیم

غلظت استرانسیم در تمام سنگ‌های منطقه نسبتاً بالا می‌باشد. این مقدار از ۳۴/۵ ppm تا ۲۶۳/۴ ppm در تغییر می‌باشد (شکل ۵-۳۲).

۵-۵-۱۱- سرب

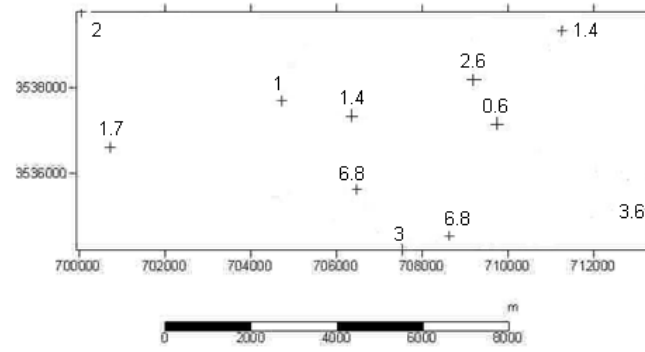
میزان سرب در سنگ‌های شمالی منطقه، بسیار کم می‌باشد. به سمت جنوب بر مقدار سرب در سنگ‌ها افزوده می‌شود. مقدار سرب از ۵/۷ ppm (نمونه R7) تا ۴۳۱ ppm (نمونه R10) می‌رسد (شکل ۵-۳۳).

۵-۵-۱۲- روی

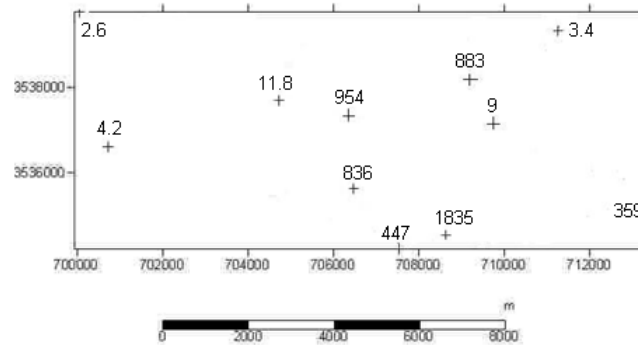
غلظت روی در قسمت‌های شمالی و جنوب شرق بیشتر از قسمت‌های غربی منطقه می‌باشد. مقدار روی از ۲۴/۸ ppm در نمونه R4 تا ۲۴۹ ppm در نمونه R8 می‌رسد (شکل ۵-۳۴).

۵-۵-۱۳- جیوه

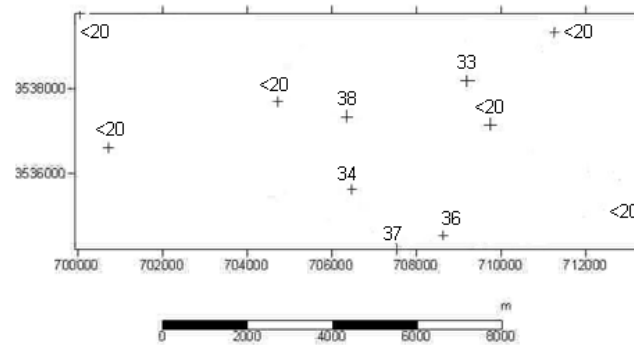
غلظت جیوه در قسمت‌های جنوبی و شمال غرب بالاتر از دیگر قسمت‌ها می‌باشد. این غلظت تا ۲۱ ppb در نمونه R7 می‌باشد (شکل ۵-۳۵).



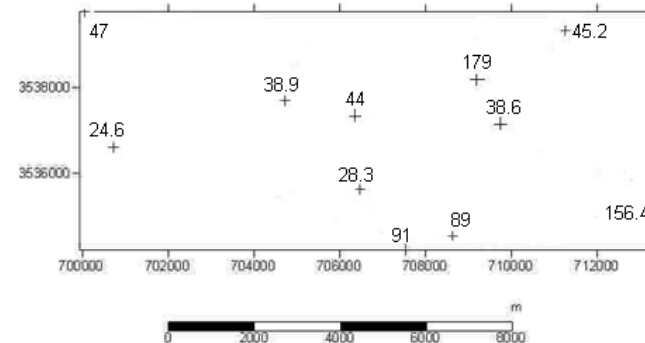
شکل ۵-۲۳: مقادیر طلا در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppb)



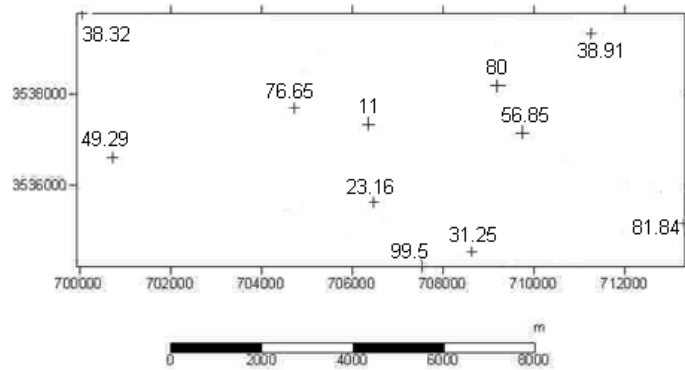
شکل ۵-۲۴: مقادیر آرسنیک در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



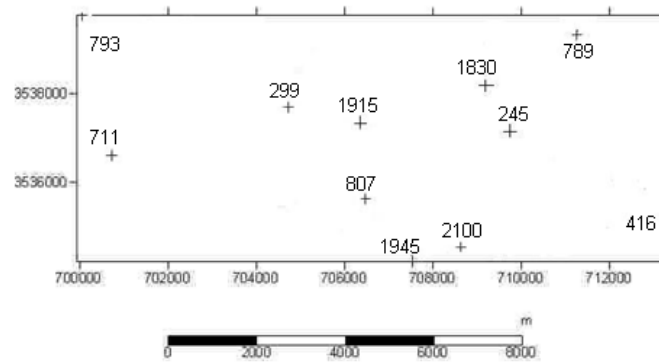
شکل ۵-۲۵: مقادیر بور در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



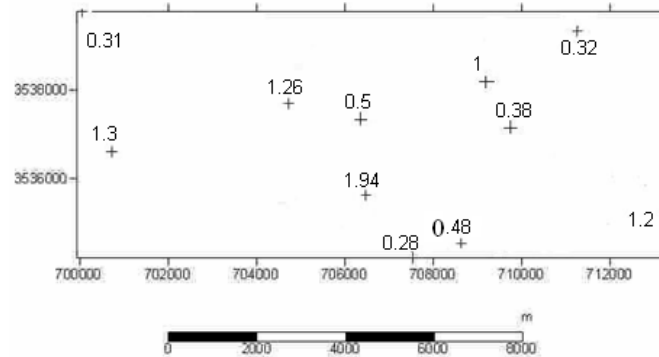
شکل ۵-۲۶: مقادیر کروم در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



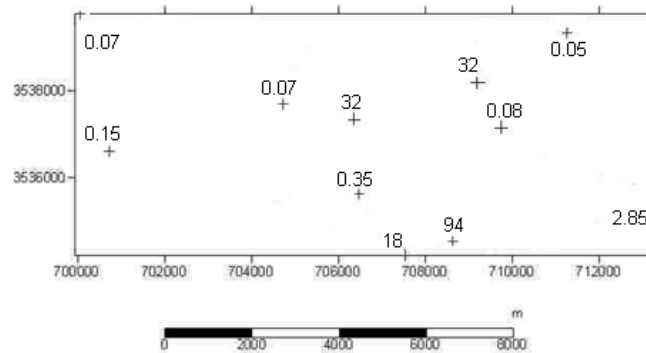
شکل ۵-۲۷: مقادیر مس در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



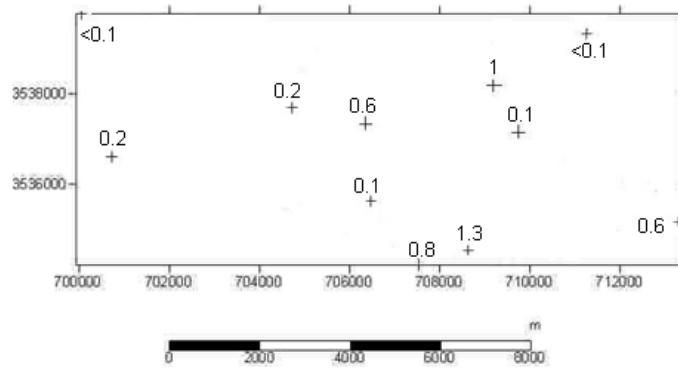
شکل ۵-۲۸: مقادیر منگنز در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



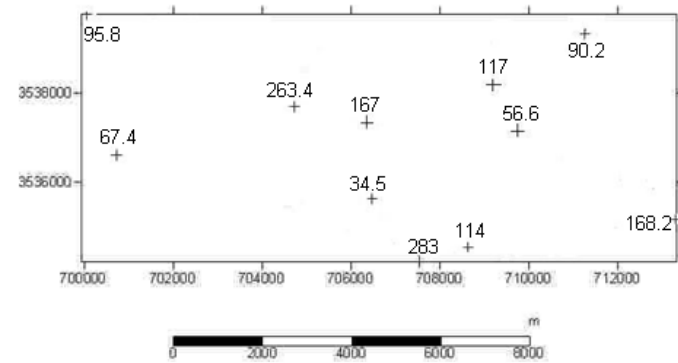
شکل ۵-۲۹: مقادیر مولیبدن در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



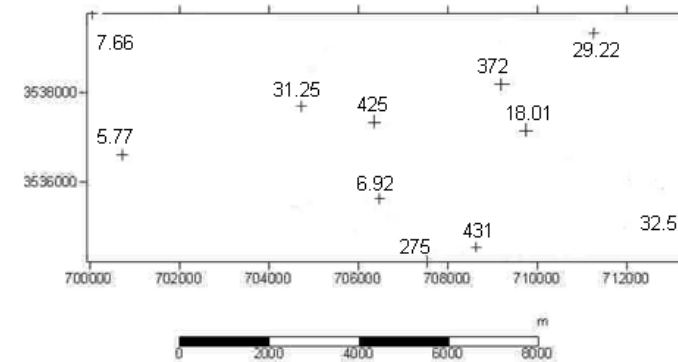
شکل ۵-۳۰: مقادیر آنتیموان در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



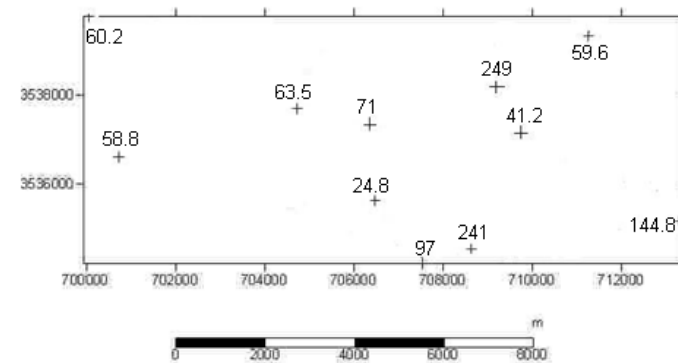
شکل ۵-۳۱: مقادیر سلیسیم در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



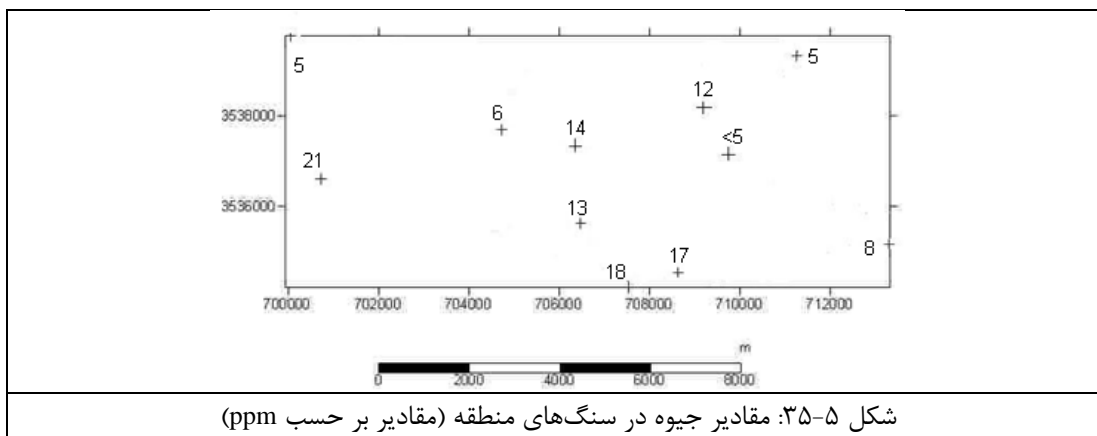
شکل ۵-۳۲: مقادیر استرانسیم در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



شکل ۵-۳۳: مقادیر سرب در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



شکل ۵-۳۴: مقادیر روی در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)



شکل ۵-۳: مقادیر جیوه در سنگ‌های منطقه (مقادیر بر حسب ppm)

فصل ششم

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی

۶-۱- مقدمه

به منظور بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی، نمونه‌برداری از منابع آبی اعم از چاه و قنات، در دو نوبت (پایان فصل خشک و تر) انجام گردید و پارامترهای مختلف فیزیکوشیمیایی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در این فصل با استفاده از تعیین ضریب همبستگی بین پارامترها و رسم نمودارهای مختلف جهت بررسی غلظت عناصر در نمونه‌های آبی، کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه (در پایان خشک) بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در نهایت کیفیت آب قنات‌ها و چاه‌ها بین دو زمان نمونه‌برداری (پایان فصل خشک و تر) مقایسه شده است.

۶-۲- تعیین ضریب همبستگی بین پارامترهای مختلف فیزیکوشیمیایی

به منظور ارزیابی میزان همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر با یکدیگر، ضریب همبستگی با استفاده از رابطه (۵-۱) محاسبه شده است.

در جدول ۶-۱ ماتریس همبستگی محاسبه شده در نمونه‌های آب منطقه نشان داده شده است.

همبستگی بالایی بین pH با جیوه (۰/۸۵۱) وجود دارد. EC با سدیم (۰/۹۹۹)، کلسیم (۰/۷۶۹)، منیزیم (۰/۸۴۲)، سولفات (۰/۹۸۷)، کلر (۰/۹۷۹)، بور (۰/۸۶۵)، مس (۰/۹۷۱)، گوگرد (۰/۹۸۳)، سلنیم (۰/۷۲۶) و استرانسیم (۰/۹۷۴) همبستگی بالایی را نشان می‌دهد. سدیم با کلسیم (۰/۷۵۳)، منیزیم (۰/۸۳۱)، سولفات (۰/۹۸۸)، کلر (۰/۹۷۷)، گوگرد (۰/۹۸۳)، سلنیم (۰/۷۲۶)، استرانسیم (۰/۹۷۴) همبستگی بالا و با بور (۰/۸۶۷) همبستگی معکوس دارد. کلسیم با منیزیم (۰/۷۲۴)، سولفات (۰/۷۳۱)، کلر (۰/۷۹)، مس (۰/۷۵۳)، مولیبدن (۰/۸۹۱)، و آنتیموان (۰/۷۶۱) و روی (۰/۸۲۷) همبستگی نشان می‌دهد. همبستگی بالایی بین منیزیم با سولفات (۰/۸۴۱)، کلر (۰/۸۱۴)، مس (۰/۸۳۳)، گوگرد (۰/۸۵۶) و استرانسیم (۰/۷۸۶) وجود دارد. سولفات با کلر (۰/۹۳۷)، بور (۰/۹۱۹)، مس (۰/۹۸۱)، گوگرد (۰/۹۹۱)، سلنیم (۰/۸۱۴)، استرانسیم (۰/۹۷۱) همبستگی دارد. سولفات با کربنات همبستگی معکوس (۰/۷۲۶-) دارد.

جدول ۱-۶: ماتریس همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر در منابع آبی منطقه

	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	As	Au	B	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	S	Sb	Se	Sr	
EC	۰/۱۲۰	۱																						
Na ⁺	۰/۱۳۲	۰/۹۹۹	۱																					
K ⁺	۰/۲۳۲	۰/۵۳۴	۰/۵۳۱	۱																				
Ca ²⁺	-۰/۰۸۹	۰/۷۶۹	۰/۷۵۳	۰/۳۸۵	۱																			
Mg ⁺	۰/۱۳۲	۰/۸۴۳	۰/۸۳۱	۰/۳۵۷	۰/۲۳۴	۱																		
SO ₄ ²⁻	۰/۰۰۰	۰/۹۸۷	۰/۹۸۸	۰/۳۹۰	۰/۳۳۱	۰/۸۴۹	۱																	
Cl ⁻	۰/۳۳۱	۰/۹۷۹	۰/۹۷۷	۰/۵۶۷	۰/۳۹۰	۰/۸۱۴	۰/۹۳۷	۱																
CO ₃ ²⁻	-۰/۰۴۵	-۰/۶۹۹	-۰/۶۹۵	-۰/۳۶۷	۰/۳۳۹	-۰/۶۱۷	-۰/۳۳۲	-۰/۶۱۷	۱															
HCO ₃ ⁻	-۰/۳۲۵	-۰/۳۸۸	-۰/۳۳۶	-۰/۳۸۶	۰/۰۰۳	-۰/۳۳۰	-۰/۳۳۵	۰/۱۹۸	۱															
NO ₃ ⁻	۰/۱۵۰	۰/۵۳۴	۰/۵۳۳	-۰/۱۵۵	۰/۱۶۲	۰/۳۳۹	۰/۳۹۰	۰/۶۵۷	-۰/۳۲۳	۱														
As	۰/۱۵۱	-۰/۳۸۷	-۰/۳۹۸	۰/۳۳۴	۰/۱۹۹	-۰/۳۳۰	۰/۳۳۰	۰/۶۶۵	۰/۳۵۰	-۰/۶۶۶	۱													
Au	-۰/۰۰۵	-۰/۱۱۷	-۰/۱۱۰	-۰/۳۵۷	-۰/۳۵۴	-۰/۱۸۶	-۰/۰۴۴	-۰/۱۳۱	-۰/۰۷۶	-۰/۳۱۴	۰/۳۶۱	۱												
B	۰/۰۰۱	۰/۸۶۰	-۰/۸۶۷	۰/۳۵۹	۰/۵۶۵	۰/۹۱۹	۰/۷۵۱	-۰/۶۷۹	-۰/۳۳۷	۰/۳۳۰	-۰/۳۳۱	۰/۰۳۱	۱											
Cr	۰/۵۹۵	۰/۵۳۳	۰/۵۵۳	۰/۳۱۸	-۰/۰۳۸	۰/۳۳۶	۰/۵۱۹	۰/۵۳۷	-۰/۳۵۷	۰/۳۳۹	۰/۵۳۴	-۰/۰۷۳	۰/۵۳	۱										
Cu	۰/۰۰۵	۰/۹۷۱	۰/۹۷۰	۰/۶۰۰	۰/۷۵۳	۰/۸۳۳	۰/۹۸۱	۰/۹۱۷	۰/۶۷۷	۰/۳۳۵	۰/۳۳۵	-۰/۰۳۱	۰/۱۸۵	۰/۹۱۲	۰/۹۹۷	۱								
Hg	۰/۵۵۱	۰/۳۳۲	۰/۳۳۱	-۰/۱۶۵	۰/۳۷۵	۰/۳۳۴	۰/۳۵۵	۰/۵۷۳	-۰/۱۷۸	-۰/۳۳۸	۰/۳۳۹	-۰/۰۳۸	۰/۳۳۴	۰/۳۳۵	۰/۱۱۱	۰/۳۳۰	۱							
Mn	۰/۳۳۵	۰/۱۱۵	۰/۱۲۰	۰/۵۱۷	۰/۰۸۱	۰/۰۷۵	۰/۱۱۳	۰/۱۳۴	-۰/۱۹۹	۰/۳۹۹	۰/۱۳۹	-۰/۰۳۰	-۰/۰۶۳	۰/۳۹۲	۰/۱۰۹	-۰/۳۳۲	۱							
Mo	۰/۳۳۰	۰/۳۰۹	۰/۳۳۹	-۰/۰۴۹	۰/۸۹۱	۰/۰۰۷	۰/۳۳۰	۰/۰۳۸	-۰/۳۳۳	۰/۳۸۵	-۰/۰۵۱	-۰/۰۳۸	-۰/۰۳۳	۰/۳۶۴	۰/۳۳۹	-۰/۵۰۵	۰/۱۹۸	۱						
S	۰/۰۰۹۱	۰/۹۸۳	۰/۹۸۳	۰/۵۷۸	۰/۱۹۱	۰/۸۵۶	۰/۹۹۱	۰/۹۳۵	-۰/۶۹۶	-۰/۳۳۰	۰/۳۱۲	-۰/۱۶۲	-۰/۱۳۵	۰/۳۷۹	۰/۹۹۹	۰/۳۰۴	۰/۱۵۳	۰/۳۹۲	۱					
Sb	۰/۳۳۳	-۰/۰۰۹	-۰/۱۹۵	-۰/۰۷۷	۰/۷۶۱	-۰/۳۵۳	-۰/۱۶۹	-۰/۳۳۱	-۰/۳۵۳	۰/۳۰۶	-۰/۰۹۲	۰/۳۳۲	۰/۰۹۱	۰/۰۵۱	۰/۰۱۹	-۰/۰۶۹	-۰/۳۰۵	۰/۱۹۸	۱					
Se	۰/۳۳۳	۰/۷۳۲	۰/۷۳۹	۰/۰۴۲	-۰/۳۳۲	۰/۶۰۴	۰/۸۱۴	۰/۵۹۵	-۰/۶۳۴	-۰/۳۶۵	۰/۳۳۲	-۰/۳۳۳	۰/۳۸۰	۰/۷۶۴	۰/۳۳۵	-۰/۰۰۴	۰/۳۳۹	۰/۳۹۲	۱					
Sr	۰/۰۰۱۱	۰/۹۷۳	۰/۹۷۴	۰/۶۶۲	۰/۴۹۹	۰/۷۸۶	۰/۹۷۱	۰/۹۴۳	۰/۶۰۱	۰/۳۶۹	۰/۳۸۸	-۰/۱۵۰	-۰/۱۳۹	۰/۸۸۹	۰/۳۳۵	۰/۶۶۲	۰/۳۱۶	۰/۰۹۴	۰/۳۳۹	۰/۹۷۰	۰/۰۹۸	۰/۷۸۷	۱	
Zn	۰/۱۵۱	۰/۳۶۸	۰/۳۶۸	۰/۳۹۹	۰/۸۲۷	-۰/۱۶۳	۰/۳۳۱	۰/۱۶۷	۰/۵۶۹	۰/۳۳۹	۰/۰۵۳	-۰/۰۳۶	۰/۵۳۲	۰/۳۳۴	۰/۳۳۸	-۰/۱۳۷	-۰/۳۱۸	۰/۳۶۶	۰/۳۳۰	۰/۳۳۰	۰/۳۳۰	۰/۳۳۰	۰/۳۳۰	۱

کلر با بور (۰/۷۵۱)، مس (۰/۹۱۷)، گوگرد (۰/۹۳۵) و استرانسیم (۰/۹۴۲) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. بی‌کربنات با نیترات (۰/۷۸۴-) و جیوه (۰/۸۲۸-) رابطه معکوس دارد. مس با گوگرد (۰/۹۹۳)، سلنیم (۰/۷۶۴) و استرانسیم (۰/۹۶۲) همبستگی نشان می‌دهد. بور با مس (۰/۹۱۶)، گوگرد (۰/۹۰۴)، سلنیم (۰/۹۱۶) و استرانسیم (۰/۸۸۹) همبستگی دارد. بین سلنیم با گوگرد (۰/۷۷۵) و استرانسیم (۰/۷۸۷) همبستگی بالا دیده می‌شود.

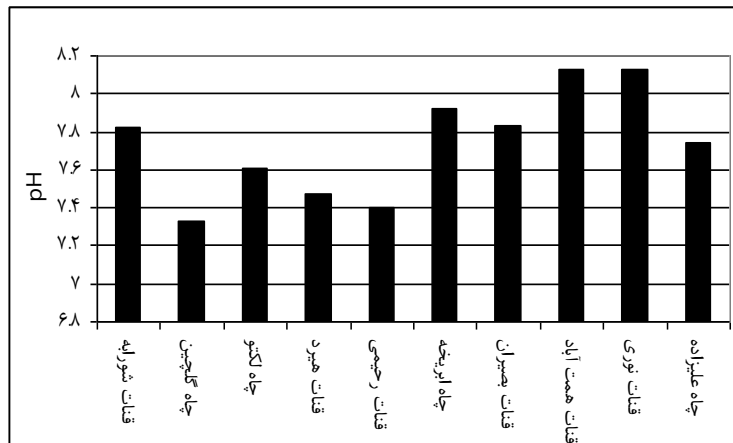
همبستگی بالای بین گوگرد و سولفات (۰/۹۹۱) نشان می‌دهد که بیشتر گوگرد در محلول به صورت سولفات حضور دارد که باعث افزایش حلالیت بسیاری از کاتیون‌ها می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت که همبستگی‌های بالا، رفتار ژئوشیمیایی مشابه بین عناصر و پارامترها را نشان دهد. همبستگی بالای بین برخی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها نیز در واقع نشانه حضور نمک حاصل از پیوند این کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول می‌باشد. از جمله این نمک‌ها می‌توان به کلرید بور، کلرید استرانسیم، سولفات بور، سولفات مس و سولفات استرانسیم اشاره کرد.

۲-۶- بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب زیرزمینی منطقه

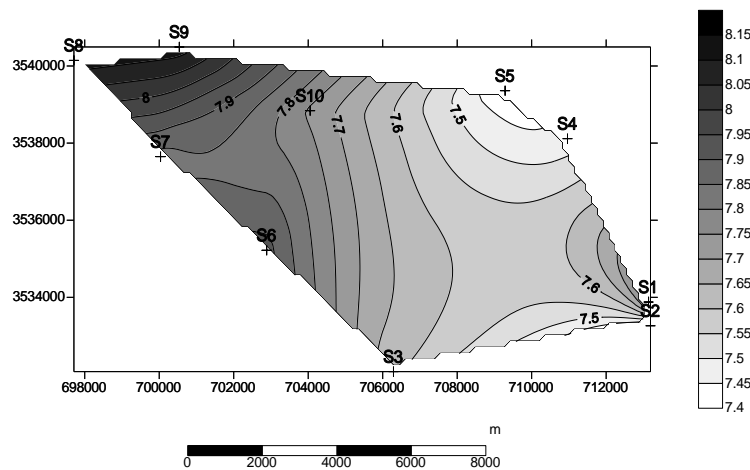
۲-۶-۱- تغییرات pH

اسیدیته نشانگر یون هیدروژن در آب می‌باشد و از مهمترین خواص فیزیکوشیمیایی آب است و بر انحلال مواد و فعالیت‌های بیولوژیکی آن اثر می‌گذارد.

آب‌های طبیعی معمولاً دارای اسیدیته بین ۶ تا ۹ می‌باشند. مقدار اسیدیته در آب با افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب و حرارت، کاهش و با افزایش مقدار بی‌کربنات، زیاد می‌گردد. در شکل ۶-۱ میزان اسیدیته در نمونه‌ها نشان داده شده است. به علت هوازدگی کانی‌های سولفیدی معمولاً چاه‌های نزدیک به زون‌های کانی‌سازی (شرق منطقه)، همانند قنات رحیمی و هیرد، اسیدیته کمتر و آن‌هایی که دورتر هستند (غرب منطقه)، همانند قنات نوری و همت آباد، اسیدیته بالاتر دارند (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۱: مقادیر pH در آب‌های زیرزمینی



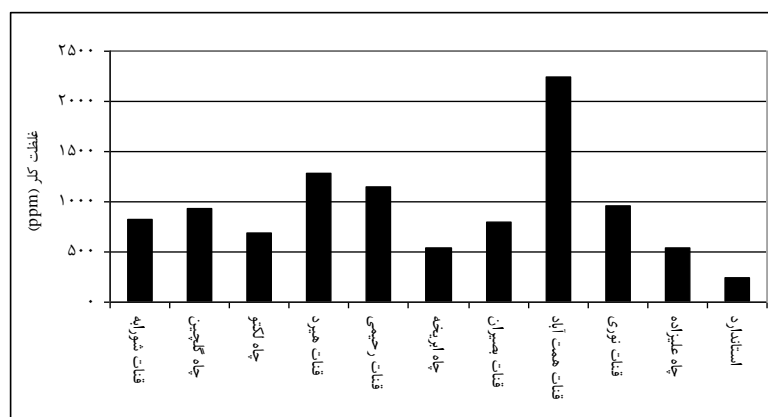
شکل ۶-۲: تغییرات pH در آب‌های زیرزمینی (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۲- بررسی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم

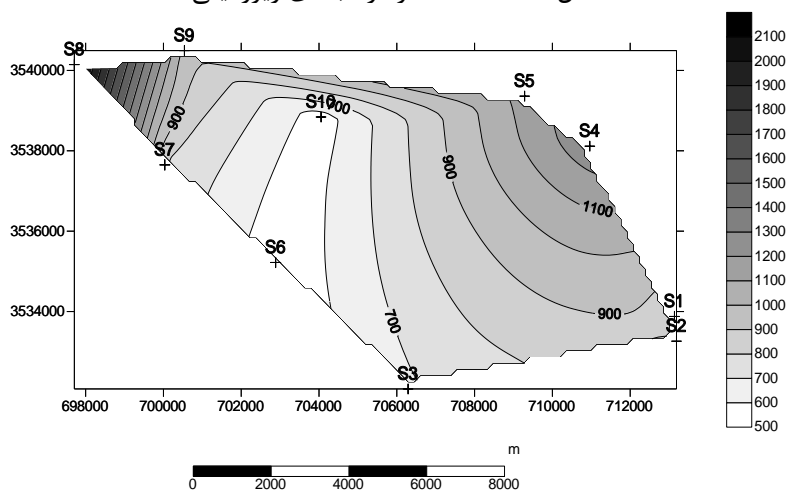
۶-۲-۲-۱- کلر

یون کلرید (Cl) یکی از مهمترین آنیون‌های موجود در آب است. این یون عمدتاً به صورت ترکیبات سدیم و منیزیم در طبیعت وجود دارد که به دلیل حلالیت قابل توجه این ترکیبات در آب، مقادیر نسبتاً بالایی از آن در منابع آبی مشاهده می‌شود. یون کلرید در آب‌های سطحی معمولاً به صورت کلریدمنیزیم و در آب‌های زیرزمینی به صورت کلریدسدیم است. همبستگی بالای کلر با سدیم (۰/۹۷۷) نسبت به کلر با منیزیم (۰/۸۱۴) این مطلب را در منطقه نیز روشن می‌سازد.

یون کلرید معمولاً از انحلال کانی‌های سیلیکاته همانند کلریت و بیوتیت و هالیدهای منطقه در آب آزاد می‌شود. از آن جایی که آلتراسیون‌های کلریتی به صورت گسترده در منطقه دیده می‌شود (بخش ۲-۶-۱-۱ و ۲-۶-۱-۲ و ۲-۶-۲-۱) غلظت بالایی از کلر در منابع آب دیده می‌شود. غلظت کلر در بین نمونه‌های برداشت شده، از ۵۳۶ میلی‌گرم بر لیتر در چاه ابریکه تا ۲۲۳۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر، در قنات همت آباد در تغییر می‌باشد (شکل ۳-۶). مقادیر غلظت کلی در نمونه‌های ۱ تا ۱۰ به ترتیب، ۳/۲، ۳/۷، ۲/۷، ۵/۱، ۴/۵، ۲/۱، ۳/۱، ۸/۹، ۳/۸ و ۲/۱ برابر حد استاندارد (WHO 1998) می‌باشد. غلظت کلر در شمال غرب و شمال شرق منطقه به دلیل مسافت طولانی سفره آب زیرزمینی و انحلال بیشتر املاح در آن، مقادیر بالاتری می‌باشد (شکل ۴-۶).



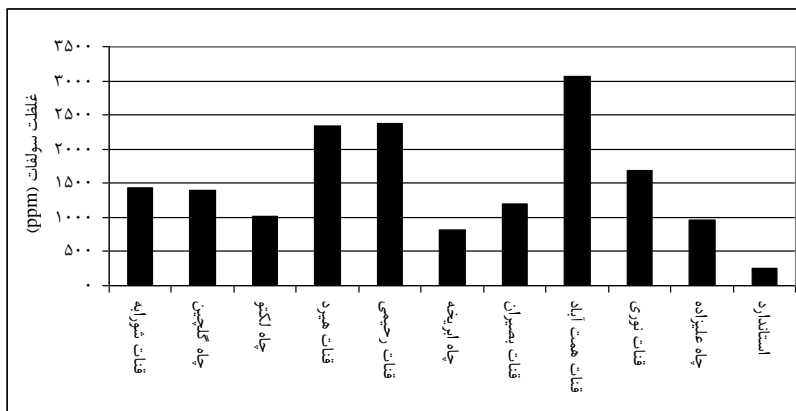
شکل ۳-۶: غلظت کلر در آب‌های زیرزمینی



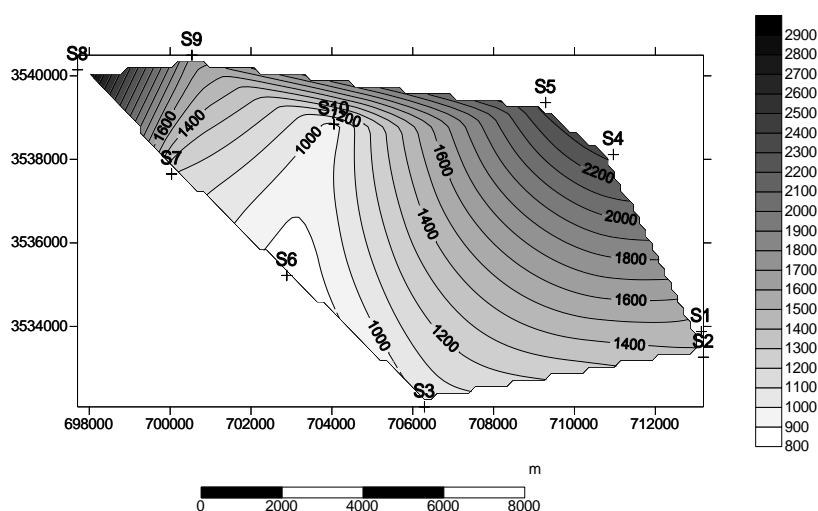
شکل ۴-۶: پراکندگی کلر در آب‌های زیرزمینی منطقه S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات همد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

۶-۲-۲-۲- سولفات

یون سولفات (SO_4^{2-}) دومین آنیون مهم موجود در آب اقیانوس‌ها و دریاها است که عمدتاً به صورت سولفات‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم وجود دارد. سولفیدهای فلزی نظیر آهن، نیکل، مس، روی و سرب مهمترین منبع ورود این یون به آب‌های طبیعی می‌باشد. این سولفیدها طی فرآیند هوازدگی به سولفات تبدیل شده و در نهایت در اثر انحلال در آب‌های جاری به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود. غلظت سولفات در قنات‌ها و چاه‌های شورابه، گلچین، لکتو، هیرد، رحیمی، ابریکه، بصیران، همت آباد، نوری و علیزاده به ترتیب $1430/4$ ، 1392 ، 1008 ، $2342/4$ ، $2371/2$ ، 816 ، 1200 ، 3072 ، 1680 و 960 میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. این مقدار در همه نمونه‌های برداشت شده بیش از حد استاندارد می‌باشد (شکل ۶-۵). این تجاوز از حد استاندارد از $3/2$ برابر در چاه ابریکه تا $12/2$ برابر در قنات همت آباد می‌رسد. بالا بودن غلظت گوگرد (تا $0/07$ درصد) در سنگ‌های منطقه (جدول ۴-۷) گستردگی توزیع این عنصر را در منطقه توجیه می‌کند. همچنین حضور کانی‌های سولفیدی خصوصاً در مناطق اکتشافی (بخش ۲-۴) می‌تواند دلیلی دیگر برای غلظت بالای سولفات در آب منطقه باشد. هوازدگی کانی‌های سولفیدی همانند آرسنوپیریت (شکل ۵-۱۹ و ۵-۲۰)، پیریت (شکل ۵-۲۱) و وجود گالن و اسفالریت و ژپس در منطقه (عسکری و صفری ۱۳۸۲) باعث آزادسازی سولفات در آب می‌گردد که بالا بودن فراوانی این کانی‌ها عملاً باعث بالا رفتن سولفات در تقریباً تمام آب‌های زیرزمینی منطقه شده است. غلظت سولفات به دلیل طی کردن مسیر طولانی‌تر و داشتن فرصت بیشتر برای انحلال بالاتر، در شمال غرب و شمال شرق منطقه بیشتر می‌باشد (شکل ۶-۶). ضریب همبستگی (جدول ۶-۱) نشان می‌دهد که احتمالاً بیشتر سولفات به صورت سولفات سدیم و همچنین سولفات منیزیم در آب وجود دارد.



شکل ۵-۶: غلظت سولفات در آب‌های زیرزمینی



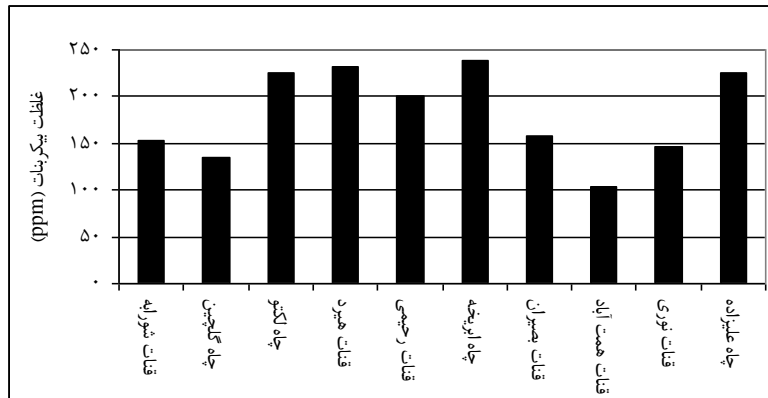
شکل ۶-۶: پراکندگی سولفات در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۳-۲-۲-۶- کربنات و بی‌کربنات

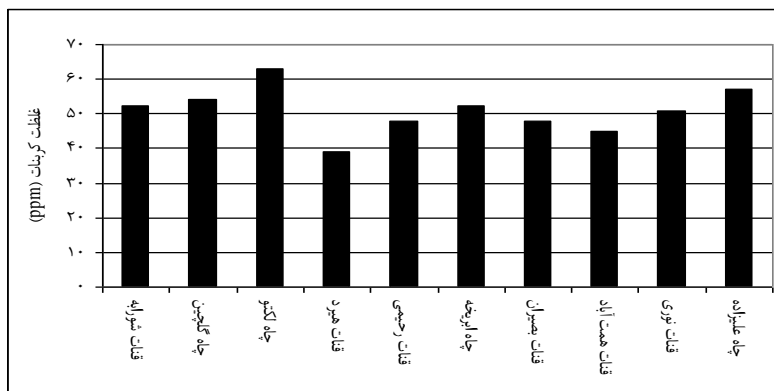
یون بی‌کربنات (HCO_3^-) از تأثیر گاز دی‌اکسیدکربن بر سنگ‌های آهکی تشکیل شده و به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد می‌شود. توزیع سنگ‌های آهکی در منطقه به طور کلی کم می‌باشد که به سمت جنوب بر مقدار آن افزوده می‌گردد. غلظت بی‌کربنات در نمونه‌ها از $103/7$ میلی‌گرم بر لیتر در قنات همت آباد تا $237/9$ میلی‌گرم بر لیتر در چاه ابریکه در تغییر می‌باشند (شکل ۶-۷). غلظت کربنات نیز از 39 میلی‌گرم بر لیتر در قنات هیرد تا 63 میلی‌گرم بر لیتر در چاه لکتو افزایش می‌یابد

شکل ۶-۸). غلظت بی‌کربنات و کربنات (وابسته به میزان pH)، به طور کلی به سمت جنوب زیاد

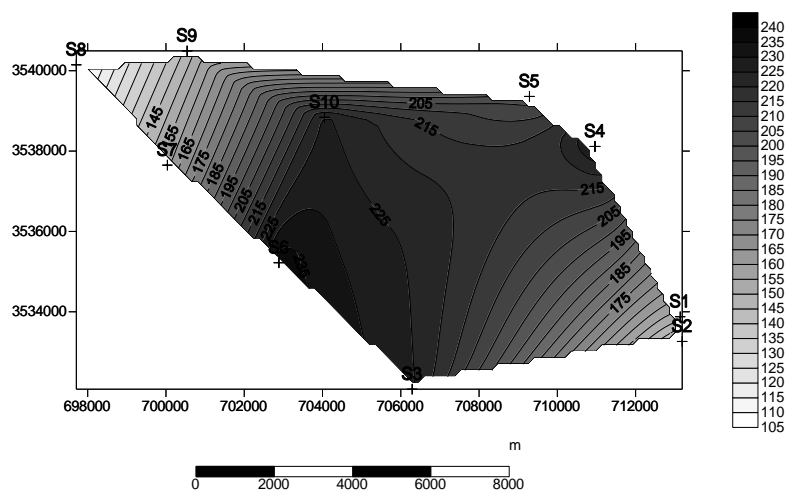
می‌گردد (شکل ۶-۹ و ۶-۱۰).



شکل ۶-۷: غلظت بی‌کربنات در آب‌های زیرزمینی



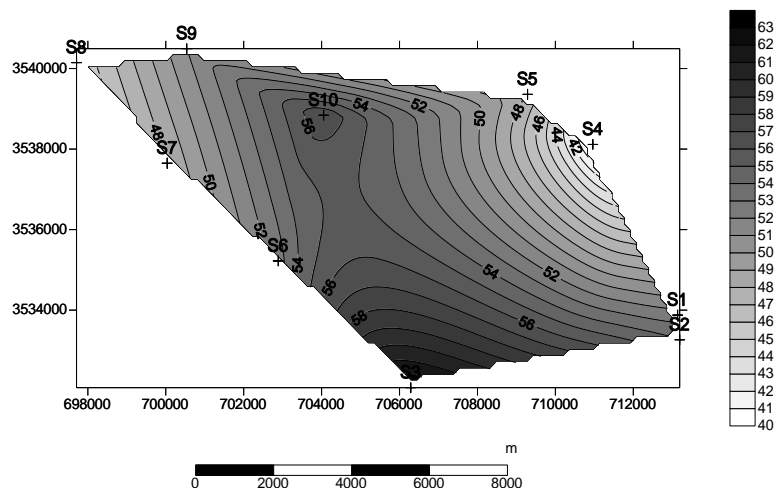
شکل ۶-۸: غلظت کربنات در آب‌های زیرزمینی



شکل ۶-۹: پراکندگی بی‌کربنات در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورا به، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4:

قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه

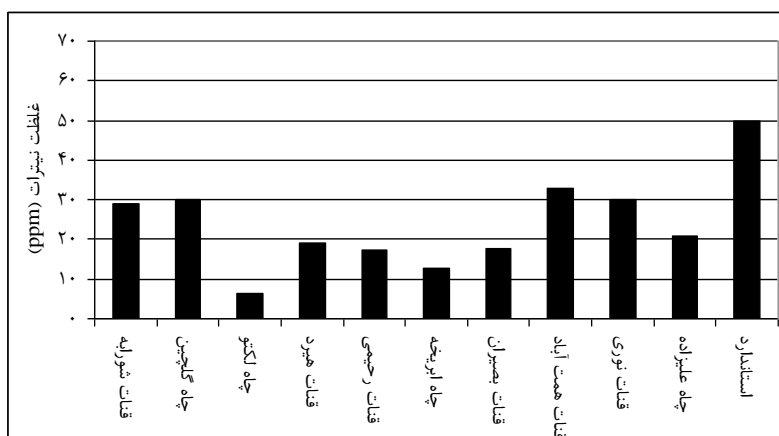
علیزاده)



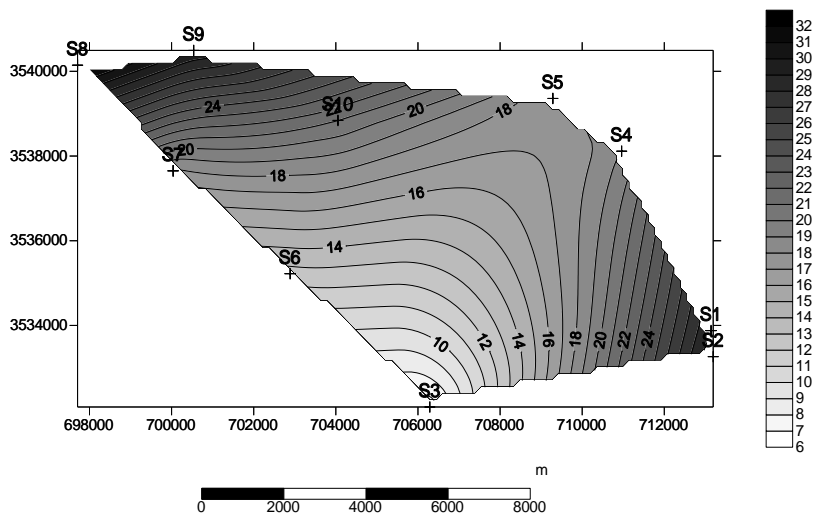
شکل ۶-۱۰: پراکندگی کربنات در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۲-۴- نیترات

نمک‌های نیتراته دارای حلالیت بسیار بالایی بوده و باعث آزادسازی یون نیترات به آب‌ها می‌شوند. نیترات در آب بیشتر منشأ بشرزاد دارد، اما از آنجایی که کشاورزی در منطقه محدود می‌باشد، میزان نیترات در آب بسیار کم می‌باشد. بیشترین غلظت نیترات در قنات همت آباد و کمترین غلظت در چاه لکتو مشاهده می‌شود. غلظت نیترات در همه نمونه‌ها کمتر از میزان استاندارد (WHO 2006) می‌باشد (شکل ۶-۱۱). غلظت نیترات در بخش شمال غربی و جنوب شرقی، به دلیل تمرکز جمعیت و کشاورزی بیشتر (حضور روستاهای بصیران، همت آباد و خالق آباد)، بالاتر می‌باشد (شکل ۶-۱۲).



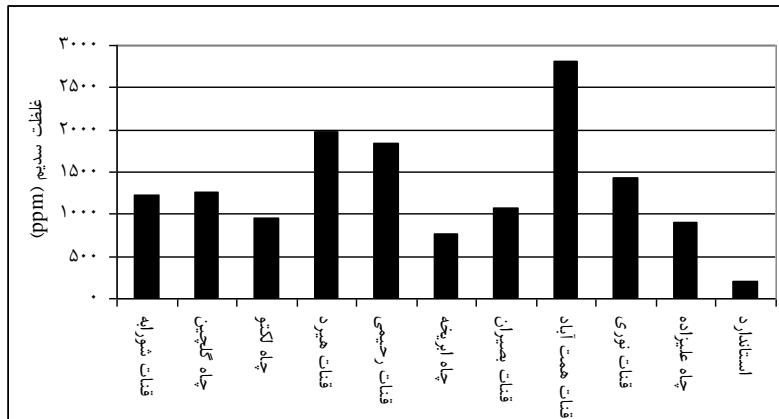
شکل ۶-۱۱: غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی



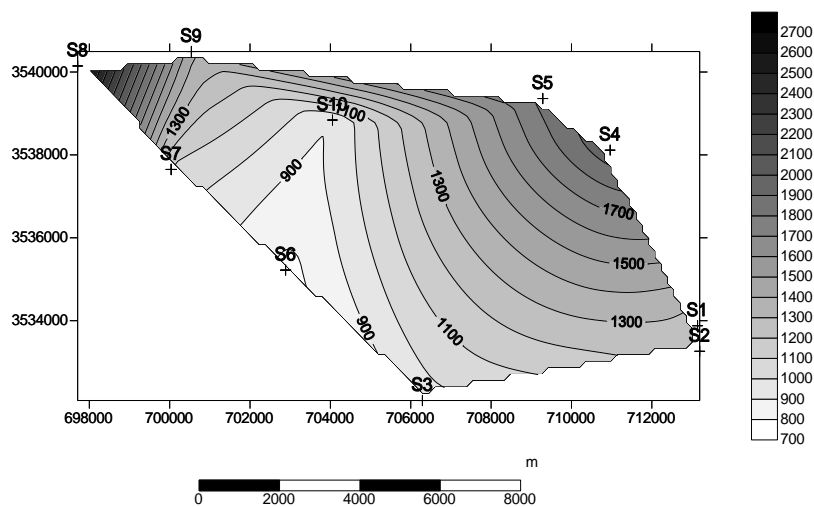
شکل ۶-۱۲: پراکندگی نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۲-۵- سدیم

یون سدیم (Na^+) به صورت کلرید و بخشی به صورت کربنات از فرسایش فلدسپارها و سیلیکات‌های مافیک سدیم‌دار مثل هورنبلند یا اوژیت حاصل می‌شود. هوازدگی فلدسپات‌های سدیم و هالیدها مهمترین منبع آزاد سازی سدیم به آب منطقه می‌باشند. همبستگی بالایی بین سدیم با سولفات و کلر نیز این مطلب را تأیید می‌کند (جدول ۶-۱). غلظت سدیم در آب قنات‌ها و چاه‌های شورابه، گلچین، لکتو، هیرد، رحیمی، ابربخه، بصیران، همت آباد، نوری و علیزاده به ترتیب $۱۲۳۰/۵$ ، ۱۲۶۵ ، $۹۵۴/۵$ ، ۱۹۷۸ ، ۱۸۴۰ ، $۷۷۰/۵$ ، ۱۰۸۱ ، ۲۸۰۶ ، ۱۴۲۶ و $۹۰۱/۶$ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که در همه نمونه‌ها فراتر از حد استاندارد (WHO 1998) است (شکل ۶-۱۳). این مقدار از $۳/۸$ برابر در چاه ابربخه تا ۱۴ برابر حد استاندارد در قنات همت آباد می‌رسد. سدیم نیز مانند کلر و سولفات در شمال غرب و شمال شرق منطقه بیشتر می‌باشد (شکل ۶-۱۴).



شکل ۶-۱۳: غلظت سدیم در آب‌های زیرزمینی

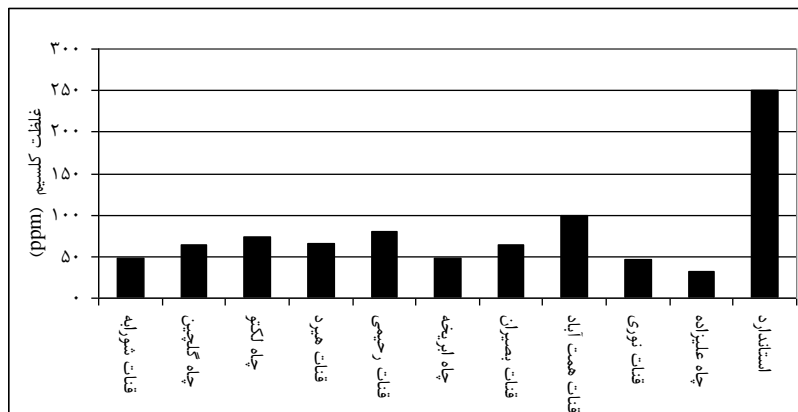


شکل ۶-۱۴: پراکندگی سدیم در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

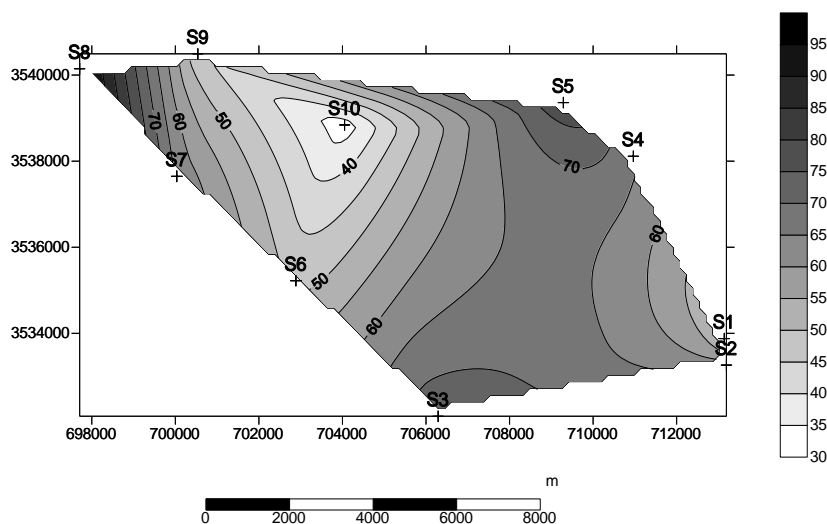
۶-۲-۲-۶- کلسیم

هوازگی کانی‌های کربناته، سولفات‌ها و دیگر کانی‌های کلسیم‌دار سبب آزادسازی کلسیم به محیط می‌شود. بیشترین میزان همبستگی کلسیم با سدیم و سولفات می‌باشد (جدول ۶-۱). غلظت کلسیم از ۳۲ میلی‌گرم بر لیتر در چاه علیزاده (نمونه ۱۰) تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در قنات همت آباد در تغییر می‌باشد. مقدار کلسیم در همه نمونه‌ها کمتر از مقدار استاندارد (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱۳۸۷) است (شکل ۶-۱۵). غلظت کلسیم در آب، در شمال غرب و شمال شرق منطقه زیادتر می‌باشد و به سمت جنوب هم بر مقدار کلسیم در آب افزوده می‌گردد (شکل ۶-۱۶). در واقع به دلیل

غلظت بالای سدیم در آب، کلسیم کمتر امکان انحلال در آب را پیدا می‌کند و به طور کلی غلظت کلسیم در آب در مقادیر پایین باقی می‌ماند.



شکل ۶-۱۵: غلظت کلسیم در آب‌های زیرزمینی

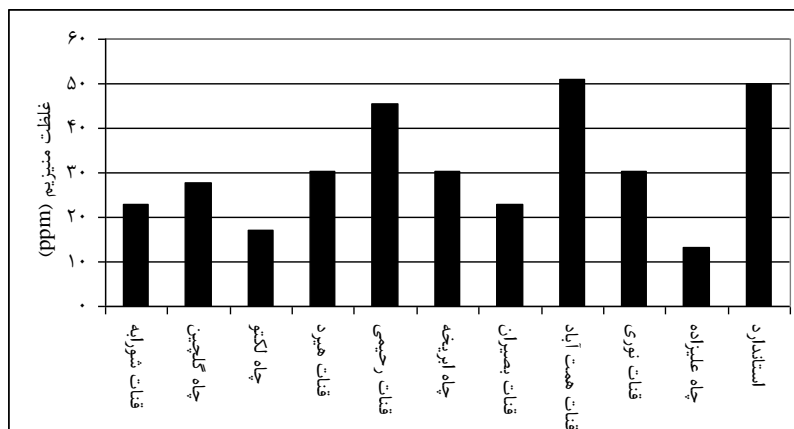


شکل ۶-۱۶: پراکندگی کلسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

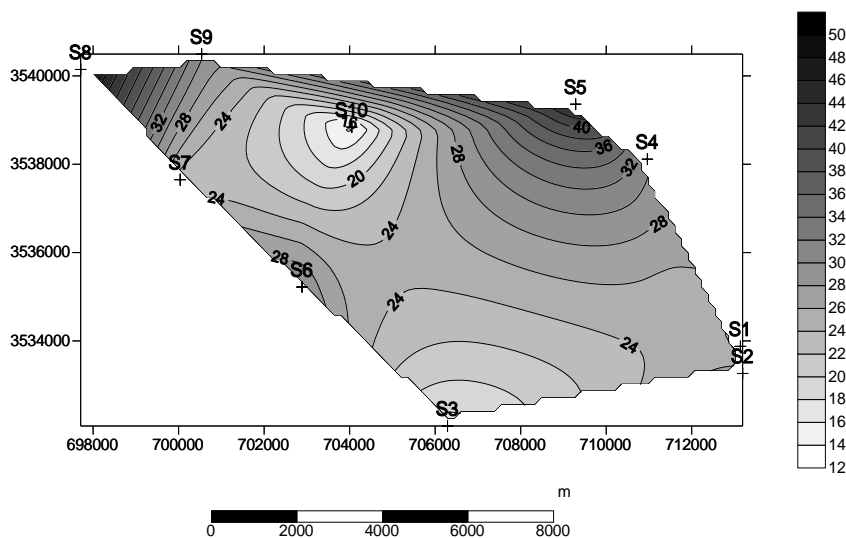
۶-۲-۲-۷- منیزیم

در اغلب سنگ‌های آهکی مقداری منیزیم وجود دارد. دولومیت در سنگ‌های رسوبی و میکا و بیوتیت در سنگ‌های آذرین از کانی‌های معمول منیزیم‌دار محسوب می‌شوند. کربنات منیزیم طی هوازدگی در حضور اسید کربنیک موجود در آب به شکل بی‌کربنات محلول در می‌آید. در آب‌های شور سدیم‌دار میزان انحلال کربنات منیزیم بیشتر از کربنات کلسیم می‌باشد.

آلتراسیون‌های کلریتی منطقه (بخش ۲-۶)، که طی آن آهن و منیزیم در سنگ‌ها افزایش می‌یابد، مهمترین منبع آزادسازی منیزیم در آب می‌باشند. غلظت منیزیم از ۱۳/۳ میلی‌گرم بر لیتر در چاه علیزاده تا ۵۱ میلی‌گرم بر لیتر در قنات همت آباد می‌رسد. این مقدار به جز در قنات همت آباد در بقیه نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱۳۸۷) می‌باشد (شکل ۶-۱۷). همبستگی بالایی بین منیزیم با سولفات، کلر و سدیم وجود دارد (جدول ۶-۱) و غلظت منیزیم در شمال غرب و شمال شرق منطقه نیز مانند غلظت این سه پارامتر بیشتر می‌شود (شکل ۶-۱۸).



شکل ۶-۱۷: غلظت منیزیم در آب‌های زیرزمینی



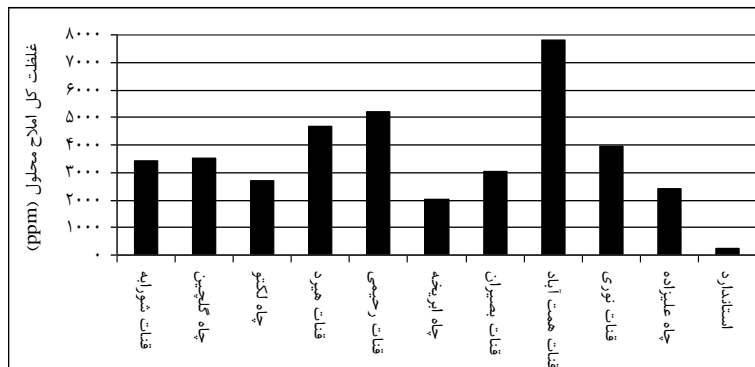
شکل ۶-۱۸: پراکندگی منیزیم در آب‌های زیرزمینی منطقه S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات همد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

۳-۲-۶- کل املاح محلول در آب (T.D.S) و هدایت الکتریکی (E.C)

TDS از مجموع اجزاء یونی شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، سولفات، کلر و نترات محاسبه می‌شود. این یون‌ها ۹۰ درصد از کل املاح محلول در آب را تشکیل می‌دهند. بر اساس مقدار املاح محلول در آب، آب‌ها به آب شیرین، لب‌شور، آب شور و آب نمک تقسیم می‌شود (جدول ۲-۶). کمبود بارندگی و بالابودن دما در منطقه، سبب افزایش املاح خصوصاً در سفره‌هایی با مسافت طولانی تر می‌شود. همچنین هوازدگی پیریت و ژئپس‌ها که در منطقه فراوان دیده می‌شوند، باعث افزایش کاتیون و آنیون‌ها در آب می‌شود. مقدار کل املاح محلول از ۲۰۴۰ میلی‌گرم بر لیتر در چاه ابریکه تا ۷۸۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در قنات همت آباد می‌رسد. در واقع آب‌های منطقه در محدوده آب لب‌شور طبقه بندی می‌شوند. TDS نمونه‌ها بسیار فراتر از مقدار استاندارد (EPA 2006) می‌باشد (شکل ۶-۱۹).

جدول ۲-۶: نوع و تیپ آب بر اساس TDS (Todd, 2005)

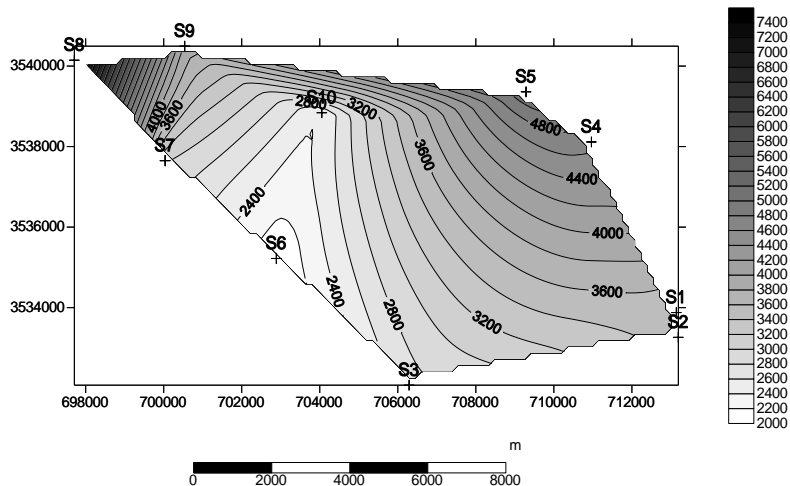
T.D.S (mg/l)	نوع و تیپ آب
۰-۱۰۰۰	آب شیرین
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	آب لب‌شور
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	آب شور
>۱۰۰۰۰۰	آب نمک



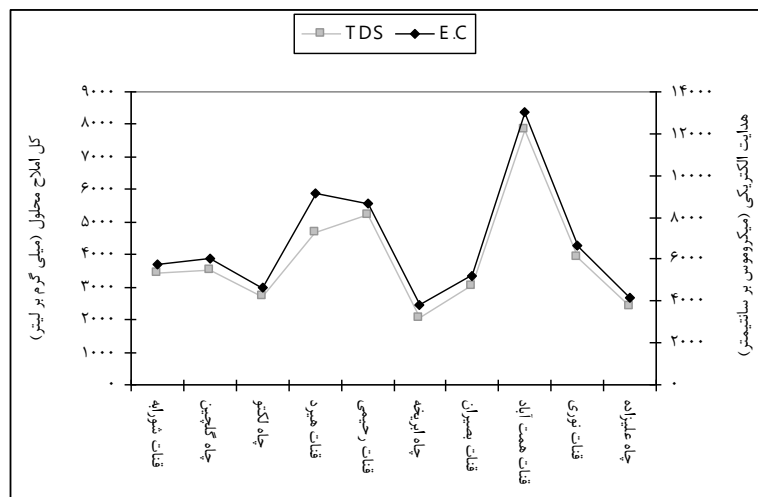
شکل ۶-۱۹: غلظت کل املاح محلول در آب‌های زیرزمینی

غلظت املاح در شمال غرب و شمال شرق بیشتر می‌باشد (شکل ۲۰-۶) که زیاد بودن سدیم، سولفات، منیزیم، کلسیم و کلر می‌تواند این موضوع را توجیه نماید. TDS با هدایت الکتریکی رابطه مستقیم

دارد. در شکل ۶-۲۱ ارتباط این دو پارامتر نشان داده شده است. قنات همت آباد که دارای بیشترین غلظت املاح محلول می باشد، بالاترین مقدار هدایت الکتریکی (۱۳۰۴۰ میکروموس بر سانتی متر) را نیز دارا می باشد.



شکل ۶-۲۰: پراکندگی کل املاح محلول در آب های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)



شکل ۶-۲۱: مقایسه تغییرات کل املاح محلول و هدایت الکتریکی در آب های زیرزمینی

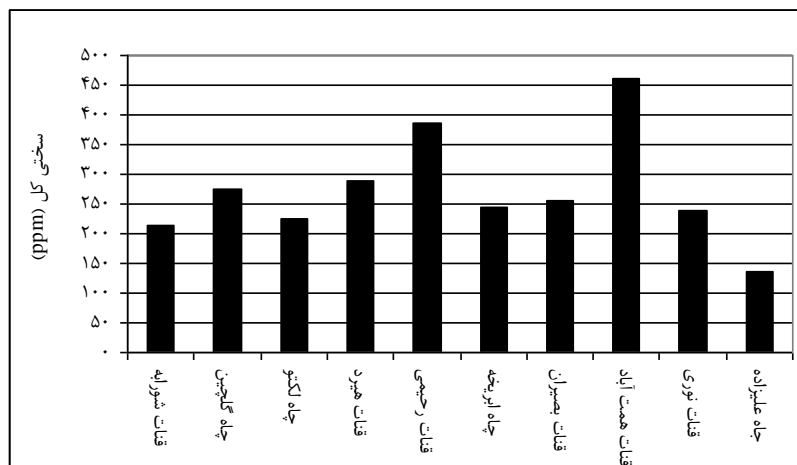
۶-۲-۴-۲-۶ سختی

کربنات و بی کربنات کلسیم و منیزیم از عوامل اصلی سختی کربناته و سایر نمک های کلسیم و منیزیم از عوامل سختی غیر کربناته آب می باشند. آب ها بر اساس سختی به آب های نرم، نیمه سخت، سخت و

خیلی سخت تقسیم می‌شوند (جدول ۳-۶). سختی آب در چاه عزیزاده ۱۳۵ میلی‌گرم بر لیتر بوده و جزء آب‌های سخت قرار می‌گیرد و بقیه نمونه‌های آب از نظر سختی در رده آب‌های بسیار سخت قرار می‌گیرند (شکل ۲۲-۶).

جدول ۳-۶: طبقه‌بندی آب از نظر سختی (EPA 1997)

سختی بر حسب گرم (ppm) CaCO ₃	نوع آب
۰-۶۰	نرم
۶۰-۱۲۰	نیمه‌سخت
۱۲۰-۱۸۰	سخت
>۱۸۰	بسیار سخت



شکل ۲۲-۶: مقدار سختی کل در آب‌های زیرزمینی

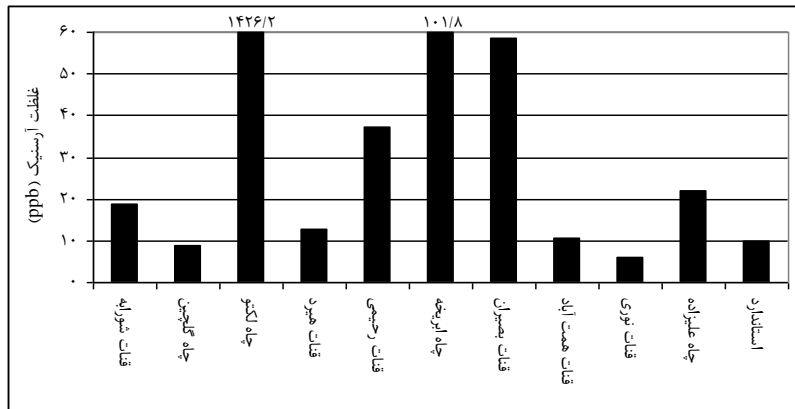
۵-۲-۶- غلظت عناصر و فلزات سنگین

۵-۲-۶-۱- طلا

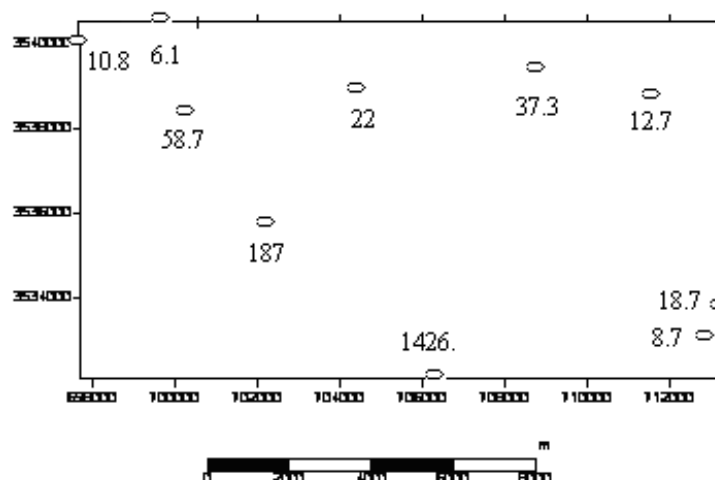
غلظت طلا در قنات شورابه ۰/۶ میکروگرم بر لیتر می‌باشد، ولی در بقیه نمونه‌ها بسیار پایین است (جدول ۵-۴). طلا یک عنصر غیر متحرک است و در آب رسوب می‌نماید (شکل ۳-۱). بنابراین غلظت آن در آب‌های منطقه علی‌رغم سنگ‌ها (جدول ۴-۷) پایین می‌باشد. قنات شورابه از منطقه اکتشافی یک که بیشترین غلظت طلا در سنگ‌ها را دارا می‌باشد منشأ می‌گیرد و بنابراین دارای طلای بیشتری می‌باشد.

۲-۵-۲-۶- آرسنیک

یکی از آلودگی‌های اصلی ناشی از حضور کانسار طلا در منابع آبی منطقه، افزایش آرسنیک می‌باشد. از آن جایی که آرسنوپیریت کانی اصلی در زون‌های کانی‌سازی محسوب می‌شود (شکل ۵-۱۹)، آلودگی آرسنیک در آب قابل انتظار می‌باشد. غلظت آرسنیک تنها در چاه گلچین و قنات نوری کمتر از میزان استاندارد (WHO 2006) می‌باشد. مقدار آرسنیک در چاه لکتو به $1426/2$ میکروگرم بر لیتر می‌رسد. این مقدار $142/6$ برابر حد استاندارد می‌باشد (شکل ۶-۲۳). غلظت آرسنیک در آب از شمال به جنوب به دلیل افزایش آرسنیک در سنگ‌ها (شکل ۵-۲۴) زیاد می‌گردد (شکل ۶-۲۴).



شکل ۶-۲۳: غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی

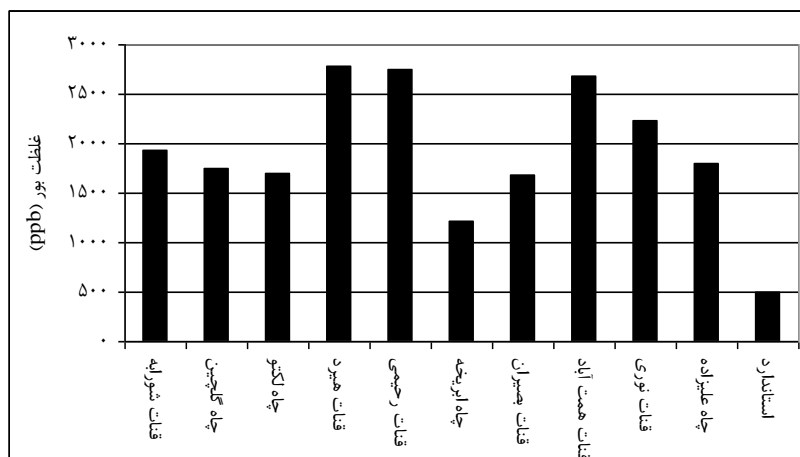


شکل ۶-۲۴: پراکندگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

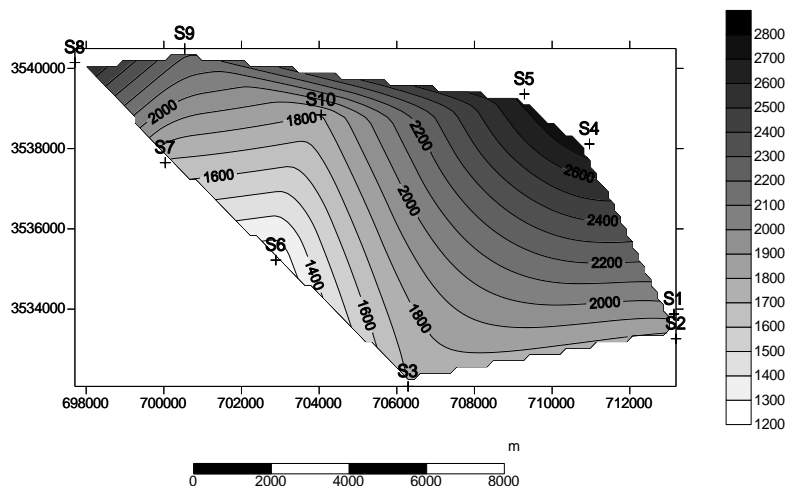
با توجه به مقادیر متوسط pH در آب‌های منطقه برآورد می‌شود که آرسنیک در آب‌های زیرزمینی به صورت سه ظرفیتی و در قالب یون H_3AsO_3 می‌باشد (شکل ۳-۲).

۳-۵-۲-۶- بور

در رگه‌های طلا در منطقه، آلتراسیون‌های تورمالینی وجود دارد (بخش ۲-۶) که طی آن بور در سنگ افزایش می‌یابد. بور طی هوازدگی سنگ‌ها، وارد آب می‌شود. درجه تحرک بور بالا بوده و به راحتی در آب حل می‌شود و در گستره وسیعی از pH و Eh به صورت محلول در آب می‌باشد (شکل ۳-۳). غلظت بور از ۱۲۱۳ میکروگرم بر لیتر در چاه ابرینچه تا ۲۷۷۸ میکروگرم بر لیتر در قنات هیرد افزایش می‌یابد. مقدار بور در همه نمونه‌ها از میزان استاندارد (WHO 2006) بسیار فراتر می‌باشد. این مقدار به ترتیب در نمونه‌های ۱ تا ۱۰ به ترتیب، ۳/۸، ۳/۴، ۳/۴، ۵/۵، ۵/۵، ۲/۴، ۳/۳، ۵/۳، ۴/۴ و ۳/۵ برابر استاندارد می‌باشد (شکل ۶-۲۵). به دلیل محلول ماندن بور در شرایط مختلف، این عنصر در قسمت‌های شمال غرب و شمال شرق که مسافت طولانی‌تری را از محل‌های کانی‌سازی طی کرده‌اند و بیشتر در ارتباط با سنگ‌های منطقه بوده‌اند، بیشتر می‌شود (شکل ۶-۲۶).



شکل ۶-۲۵: غلظت بور در آب‌های زیرزمینی

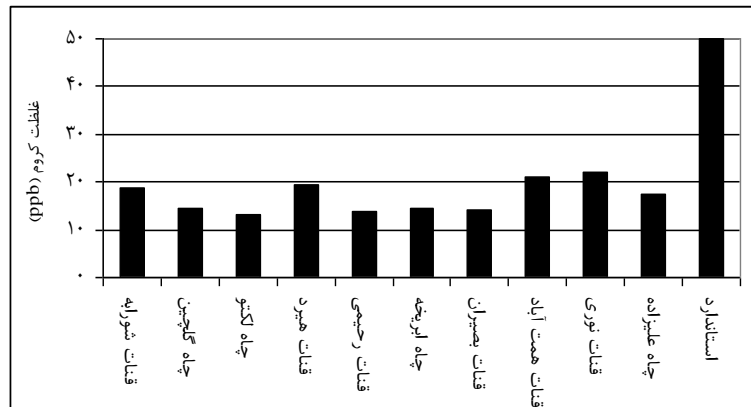


شکل ۶-۲۶: پراکندگی بور در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

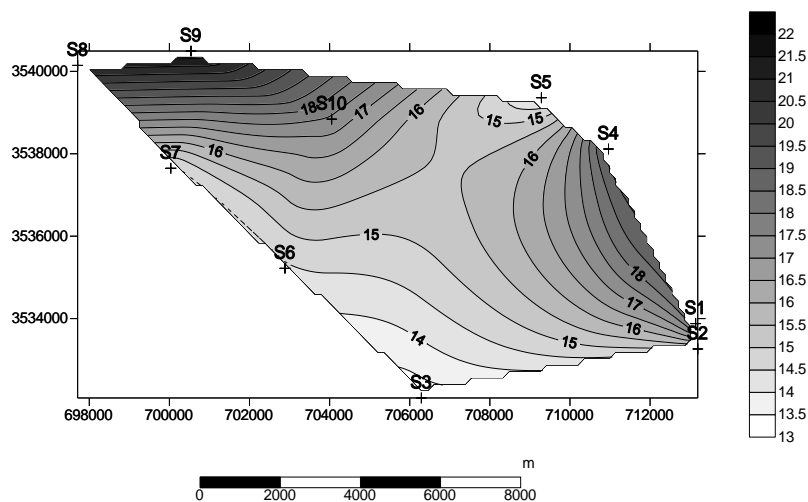
توزیع بور با توزیع سولفات در آب منطقه (شکل ۶-۶) هماهنگی نشان می‌دهد. همبستگی بالای بور با سولفات این مطلب را توجیه می‌کند (جدول ۶-۱). با توجه به متوسط pH، در آب منطقه و نمودار pH با حلالیت (شکل ۳-۳) می‌توان برآورد کرد که بور بیشتر به صورت H_3BO_3 در آب حضور دارد.

۶-۲-۵-۴- کروم

کروم می‌تواند از هوازدگی سنگ‌های آذرین قلیائی و سرپانتین‌های حاصل از تغییر آن‌ها در منطقه وارد محیط شود. اما کروم جزء عناصر غیر متحرک در محیط است و در صورت ورود به آب‌های زیرزمینی به صورت اکسید کروم رسوب می‌نماید (شکل ۳-۴). این مطلب می‌تواند غلظت پایین کروم در آب منطقه را با توجه به بالا بودن غلظت آن در سنگ‌های منطقه (جدول ۴-۳) توجیه نماید. غلظت کروم در نمونه‌ها از $13/2$ میکروگرم بر لیتر در چاه لکتو تا ۲۲ میکروگرم بر لیتر در قنات نوری در تغییر می‌باشد. این مقدار از حد استاندارد (WHO 2006) بسیار کمتر می‌باشد (شکل ۶-۲۷). پراکندگی کروم در قسمت‌های شمال غرب و شمال شرق که آب مسیر طولانی‌تر را با سنگ‌ها در ارتباط می‌باشد، بیشتر می‌باشد (شکل ۶-۲۸).



شکل ۶-۲۷: غلظت کروم در آبهای زیرزمینی

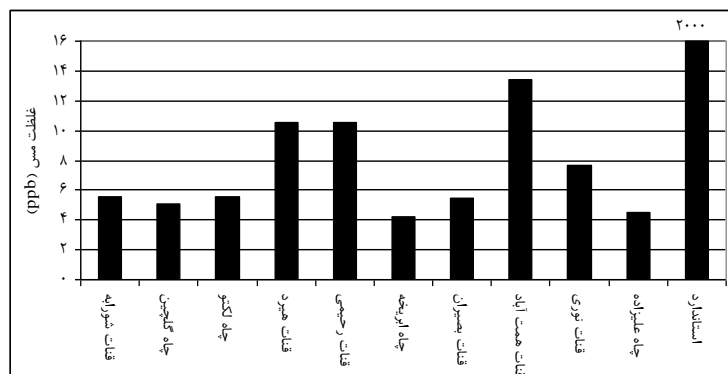


شکل ۶-۲۸: پراکندگی کروم در آبهای زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات همد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

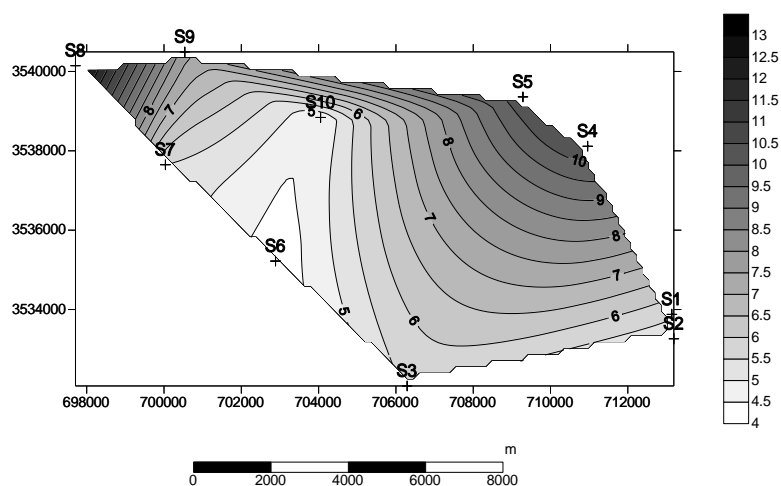
۶-۲-۵-۵- مس

مس به صورت کالکوپیریت (شکل ۵-۲۰) و دیگر کانی‌های مس دار در منطقه دیده می‌شود. مس در شرایط سطحی دارای تحرک ضعیف بوده و بعد از ورود به آبهای زیرزمینی به صورت جامد رسوب می‌نماید (شکل ۳-۵). بنابراین غلظت مس در نمونه‌های آبی بسیار پایین می‌باشد. بالاترین غلظت در قنات همت آباد با $13/4$ میکروگرم بر لیتر و کمترین غلظت در چاه ابریکه با $4/2$ میکروگرم بر لیتر مشاهده می‌شود. غلظت مس در همه نمونه‌ها بسیار پایین‌تر از حد استاندارد (WHO 2006) می‌باشد (شکل ۶-۲۹). غلظت مس در قسمت شمال غرب و شمال شرق بیشتر است (شکل ۶-۳۰). همبستگی

بالایی بین مس با گوگرد (جدول ۶-۱) و سولفات نشان از هوازدگی کانی‌های سولفیدی در منطقه و آزادسازی مس در آب است.



شکل ۶-۲۹: غلظت مس در آب‌های زیرزمینی



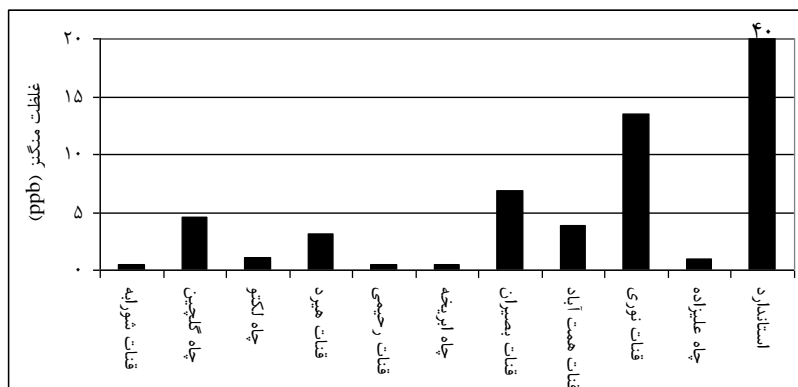
شکل ۶-۳۰: پراکندگی مس در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۵-۶- منگنز

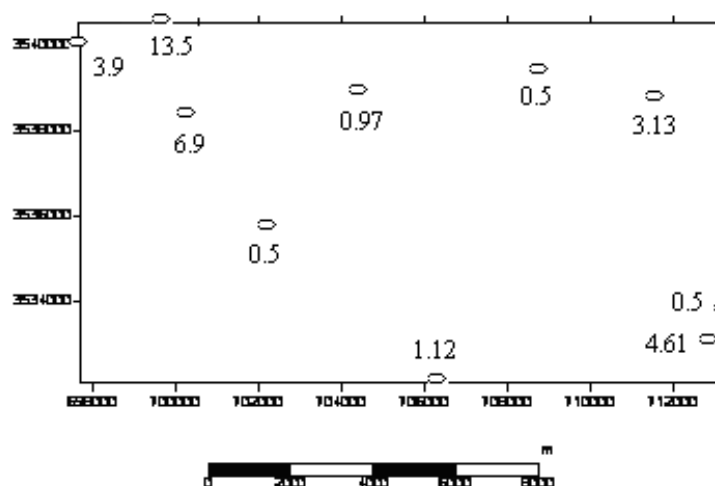
منگنز معمولاً در سنگ‌های منطقه به صورت جانشینی با عناصر دیگر دیده می‌شود. مقدار منگنز در سنگ‌ها تا ۲۱۰۰ ppm می‌رسد (جدول ۴-۳).

منگنز در شرایط سطحی دارای تحرک ضعیف بوده و به صورت اکسیدهای منگنز بر جا می‌ماند و مقدار آن در آب‌های سطحی و فرورو کم بوده و میزان کمی از آن وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود، بنابراین به طور معمول غلظت منگنز در آب پایین می‌باشد. بیشترین مقدار منگنز (۱۳/۵ میکروگرم بر

لیتر) در قنات نوری می‌باشد. غلظت منگنز در همه نمونه‌ها با مقدار استاندارد (WHO 2006) فاصله بسیاری را نشان می‌دهد (شکل ۶-۳۱). به سمت شمال غرب بر مقدار منگنز در آب افزوده می‌گردد (شکل ۶-۳۲).



شکل ۶-۳۱: غلظت منگنز در آب‌های زیرزمینی

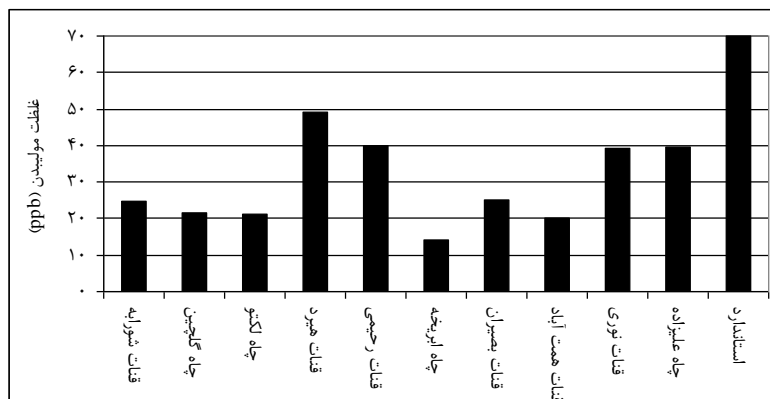


شکل ۶-۳۲: پراکندگی منگنز در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

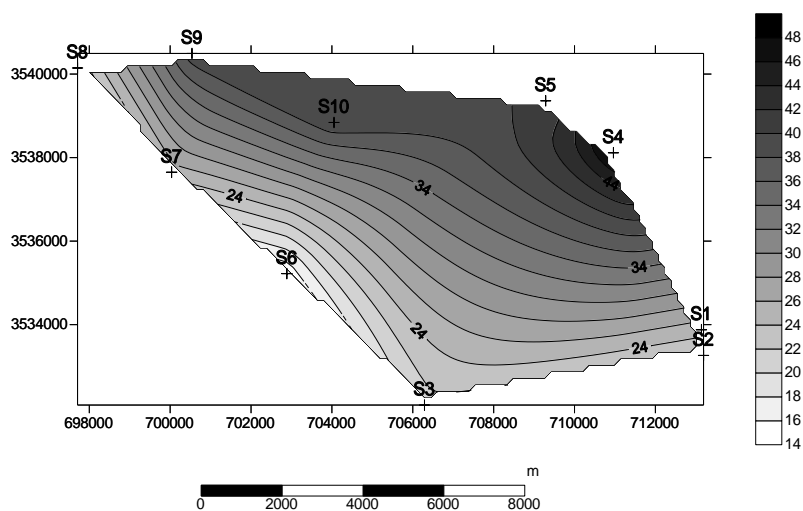
۶-۲-۵-۷- مولیبدن

مولیبدن در شرایط سطحی در pH قلیایی دارای تحرک بالا می‌باشد، اما در شرایط اسیدی به سرعت جذب سطحی شده و کمتر وارد آب می‌شود. بنابراین علی‌رغم غلظت بالای مولیبدن در سنگ‌های منطقه (جدول ۴-۷) غلظت مولیبدن محلول در منابع آبی کم می‌باشد. غلظت مولیبدن در قنات و

چاه‌های شورابه، گلچین، لکتو، هیرد، رحیمی، ابریخه، بصیران، همت آباد، نوری و علیزاده به ترتیب ۲۴/۹، ۲۱/۷، ۲۱/۳، ۴۹، ۴۰/۱، ۱۴/۲، ۲۵، ۲۰/۳، ۳۹/۳ و ۳۹/۷ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. غلظت مولیبدن در همه نمونه‌ها از مقدار استاندارد (WHO 1998) کمتر است (شکل ۶-۳۳). غلظت مولیبدن در قسمت‌های شمال و شمال شرق بیشتر می‌باشد (شکل ۶-۳۴).



شکل ۶-۳۳: غلظت مولیبدن در آب‌های زیرزمینی

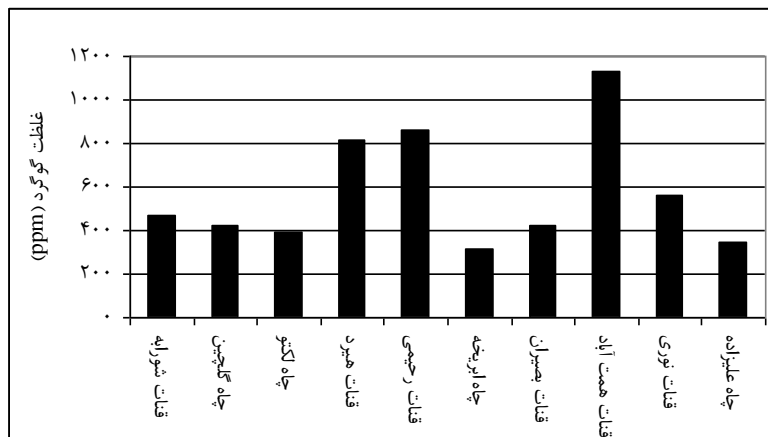


شکل ۶-۳۴: پراکندگی مولیبدن در آب‌های زیرزمینی منطقه S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

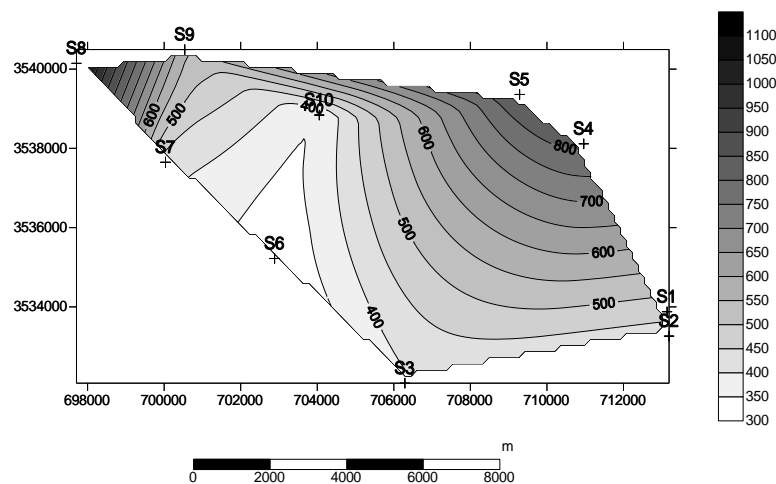
۶-۲-۵-۸- گوگرد

پیریت (شکل ۵-۲۱) و سایر کانی‌های سولفیدی نظیر آرسنوپیریت (شکل ۵-۱۹) و گالن و اسفالریت در منطقه مهمترین عامل افزایش گوگرد در سنگ‌ها می‌باشد که طی هوازدگی آن‌ها گوگرد، وارد

آب‌های زیرزمینی منطقه می‌شود. غلظت گوگرد در قنات و چاه‌های شورابه، گلچین، لکتو، هیرد، رحیمی، ابریکه، بصیران، همت آباد، نوری و علیزاده ۴۶۹، ۴۲۰، ۳۹۲، ۸۱۷، ۸۶۵، ۳۱۲، ۴۲۰، ۱۱۲۷ و ۵۶۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (شکل ۶-۳۵). غلظت گوگرد در قسمت‌های شمال شرق و شمال غرب بیشتر می‌باشد (شکل ۶-۳۶). همبستگی بالایی بین گوگرد با سدیم، سولفات، مس وجود دارد (جدول ۶-۱) که این امر باعث توزیع مشابه این عناصر در آب‌های منطقه شده است (شکل ۶-۶، ۶-۱۴ و ۶-۲۸).



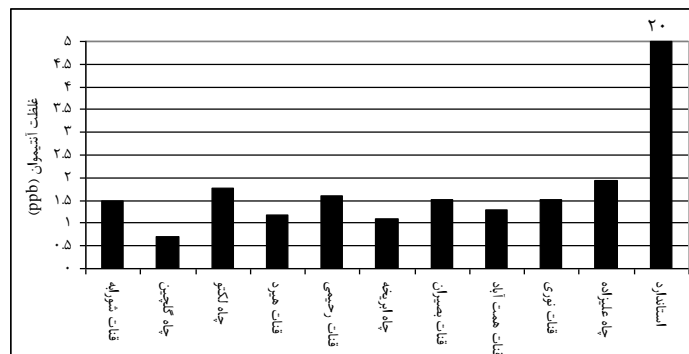
شکل ۶-۳۵: غلظت گوگرد در آب‌های زیرزمینی



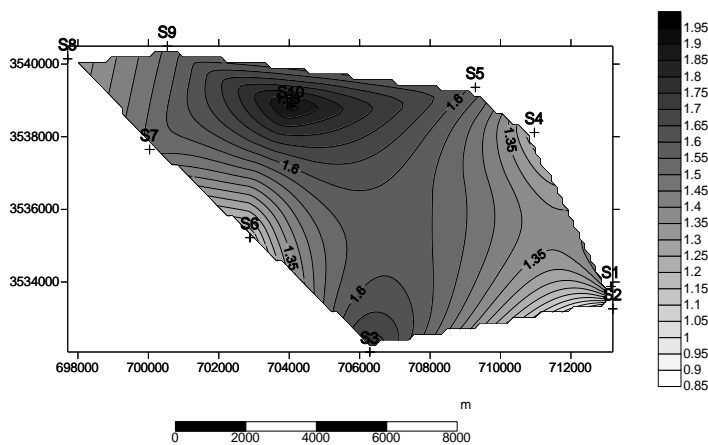
شکل ۶-۳۶: پراکندگی گوگرد در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۵-۹- آنتیموان

مهمترین منبع آنتیموان در منطقه اکسیداسیون استیبنیت می باشد. استیبنیت معمولاً همراه آرسنوپیریت و دیگر کانی ها در ذخایر طلا دیده می شود. این عنصر تحرک کمی داشته و به سرعت جذب اکسیدهای آهن خاک شده و در خاک تمرکز می یابد و ورود آن به آب های زیرزمینی کم می باشد (شکل ۳-۸)، بنابراین با توجه به وجود آنتیموان در سنگ های منطقه (جدول ۴-۷) غلظت آن در آب های منطقه کم می باشد. مقدار آنتیموان از ۰/۷۱ میکروگرم بر لیتر در چاه گلچین تا ۱/۹۳ میکروگرم بر لیتر در چاه علیزاده افزایش می یابد. غلظت آنتیموان در همه نمونه ها کمتر از حد استاندارد می باشد (WHO 2006) (شکل ۶-۳۷). غلظت آنتیموان در قسمت های شمالی و جنوبی بیشتر می باشد (شکل ۶-۳۸).



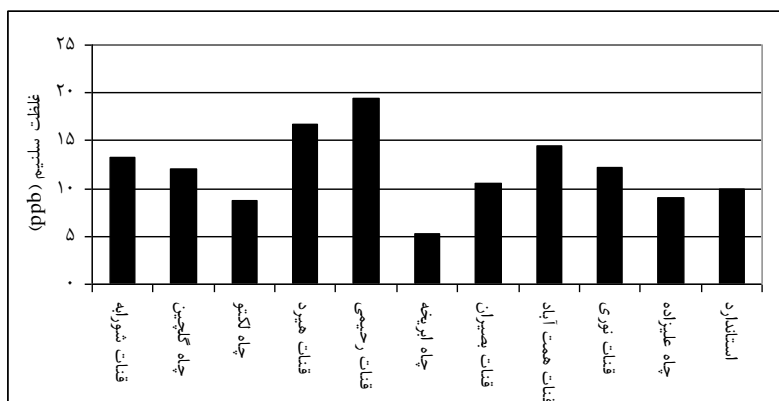
شکل ۶-۳۷: غلظت آنتیموان در آب های زیرزمینی



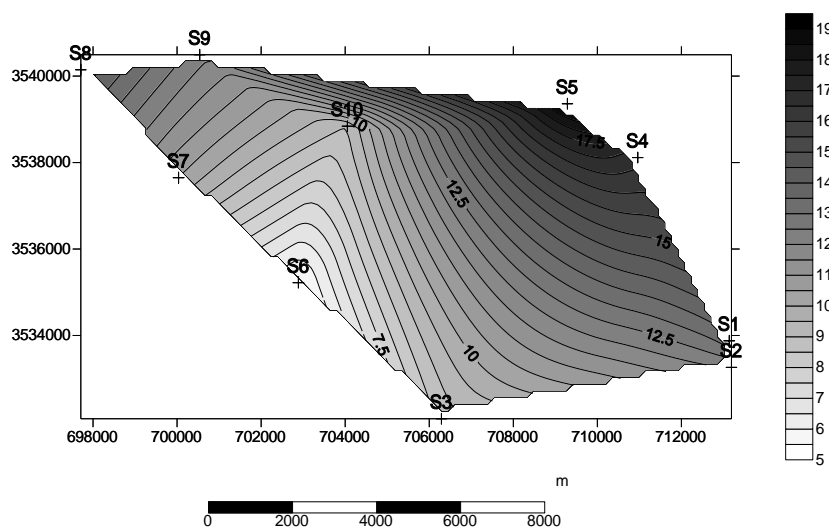
شکل ۶-۳۸: پراکندگی آنتیموان در آب های زیرزمینی منطقه S1: فناات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: فناات هیرد، S5: فناات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: فناات بصیران، S8: فناات همت آباد، S9: فناات نوری، S10: چاه علیزاده

۶-۲-۵-۱۰- سلنیم

مقدار سلنیم در سنگ‌های منطقه تا ۶۰۰ ppb می‌رسد (جدول ۳-۴). تحرک سلنیم در محیط نسبتاً کم می‌باشد (جدول ۱۰-۳). غلظت سلنیم از ۵/۳ میکروگرم بر لیتر در چاه ابریکه تا ۱۹/۴ میکروگرم بر لیتر در قنات رحیمی می‌رسد. مقدار سلنیم در چاه‌های ابریکه، لکتو و علیزاده کمتر از میزان استاندارد (WHO 2006) بوده و در نمونه‌های دیگر بیش از حد استاندارد می‌باشد (شکل ۳۹-۶). غلظت سلنیم در آب، در شمال شرق منطقه افزایش می‌یابد (شکل ۴۰-۶).



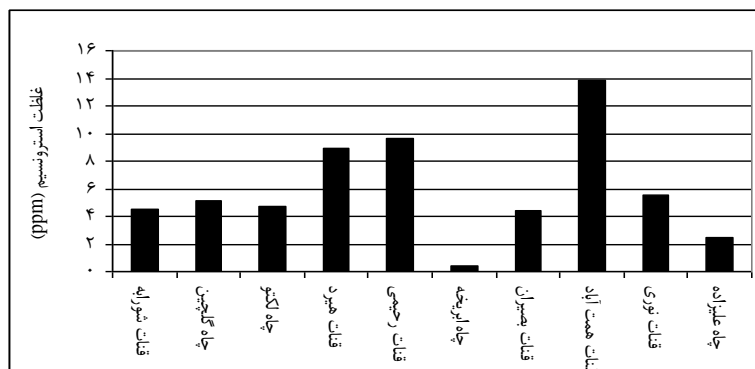
شکل ۳۹-۶: غلظت سلنیم در آب‌های زیرزمینی



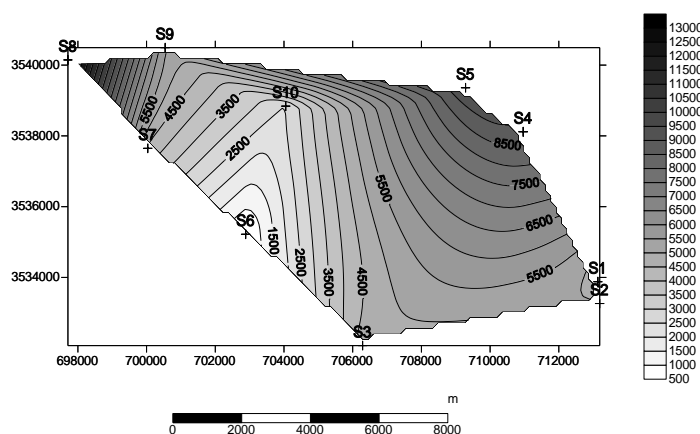
شکل ۴۰-۶: پراکندگی سلنیم در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۵-۱۱- استرانسیم

مقدار استرانسیم در سنگ‌های منطقه تا ۲۶۳ ppm می‌رسد (جدول ۴-۳). استرانسیم جزء کاتیون‌های قابل حل در آب بوده و در گستره وسیعی از Eh و pH محلول می‌باشد (شکل ۳-۱۲) که برآورد می‌شود در محدوده pH آب‌های منطقه بیشتر به صورت Sr^{+2} وجود داشته باشد. استرانسیم یکی از فلزات سنگین مضر آب می‌باشد. غلظت استرانسیم در همه نمونه‌ها بالا است. این غلظت از ۴۱۴ میکروگرم بر لیتر در چاه ابریخه تا ۱۳/۸۳ میلی گرم بر لیتر در قنات همت آباد می‌رسد (شکل ۶-۴۱). غلظت استرانسیم در شمال غرب و شمال شرق منطقه بالا می‌باشد (شکل ۶-۴۲). استرانسیم با گوگرد همبستگی بالایی دارد (جدول ۶-۱) و حضور نمک‌های سولفات استرانسیم را مشخص می‌سازد.



شکل ۶-۴۱: غلظت استرانسیم در آب‌های زیرزمینی



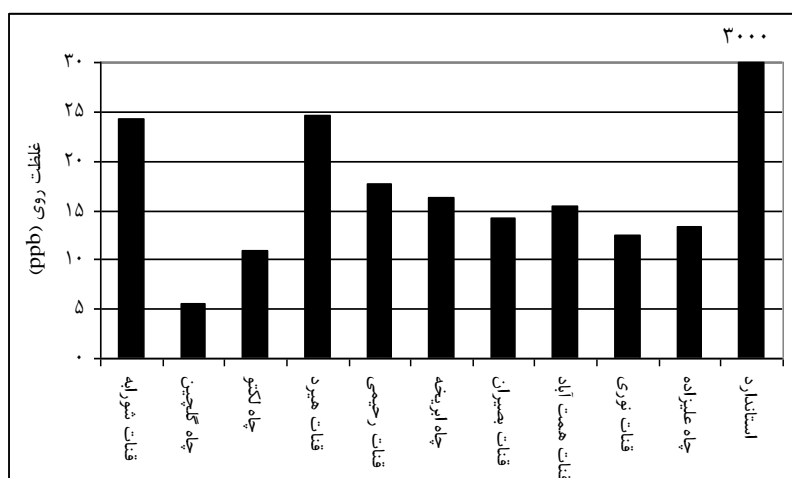
شکل ۶-۴۲: پراکندگی استرانسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۵-۱۲- سرب

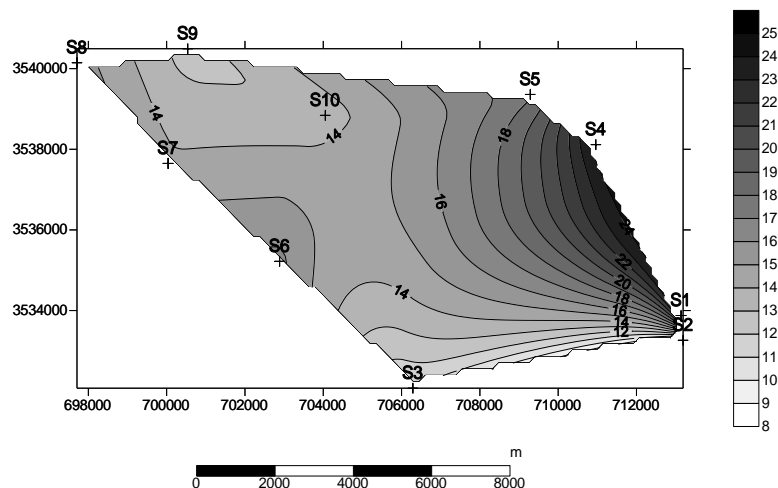
سرب در سنگ های منطقه به مقدار بالا دیده می شود (جدول ۴-۷). تمرکز سرب محلول در بیشتر آب های طبیعی که دارای pH حدود ۷ هستند بسیار پایین است. سرب به سبب توانایی، در تشکیل ترکیبات کربنات آزاد شده از سنگ های کربناته منطقه (بخش ۵-۲-۴) ترکیبات نامحلول را ایجاد می کند، بنابراین مقدار سرب در نمونه های آبی بسیار پایین می باشد (جدول ۴-۵).

۶-۲-۵-۱۳- روی

اسفالریت (سولفید روی) همراه با دیگر کانی های سولفیدی در منطقه دیده می شود. مقدار روی در روی در گستره وسیعی از Eh و pH محلول در آب می باشد (شکل ۳-۱۲) که برآورد می شود در محدوده pH آب های منطقه بیشتر به صورت Zn^{+2} وجود داشته باشد. مقدار روی از ۵/۶ میکروگرم بر لیتر در چاه گلچین تا ۲۴/۶ میکروگرم بر لیتر در قنات هیرد افزایش می یابد. غلظت روی در همه نمونه ها کمتر از حد استاندارد (WHO 1998) می باشد (شکل ۶-۴۳). غلظت روی در قسمت شرق منطقه که در جهت مسیر حرکت آب شستشو کننده زون های کانی سازی می باشد، بالاتر از دیگر قسمت ها است (شکل ۶-۴۴).



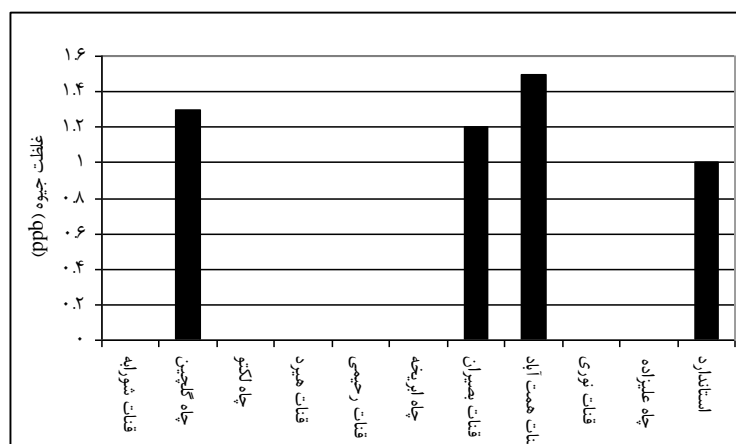
شکل ۶-۴۳: غلظت روی در آب های زیرزمینی



شکل ۴-۶: پراکندگی روی در آب های زیرزمینی منطقه (S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده)

۶-۲-۵-۱۳- جیوه

جیوه در سنگ های منطقه حضور دارد (جدول ۴-۷) اما عامل pH بر روی تحرک و یا پایداری عنصر جیوه بسیار تأثیر گذار می باشد. در pH های اسیدی تحرک عنصر بیشتر بوده و در pH های خنثی تا قلیایی تحرک کمتر شده و عنصر به حالت پایدار در می آید و میزان ورود آن به آب کم می باشد. غلظت جیوه در چاه گلچین، قنات بصیران و قنات همت آباد به ترتیب $1/3$ ، $1/2$ و $1/5$ ppb می باشد. این غلظت جیوه در هر سه نمونه از مقدار استاندارد (WHO 1998) بیشتر می باشد. غلظت جیوه در بقیه نمونه ها بسیار کم می باشد (شکل ۴-۵).

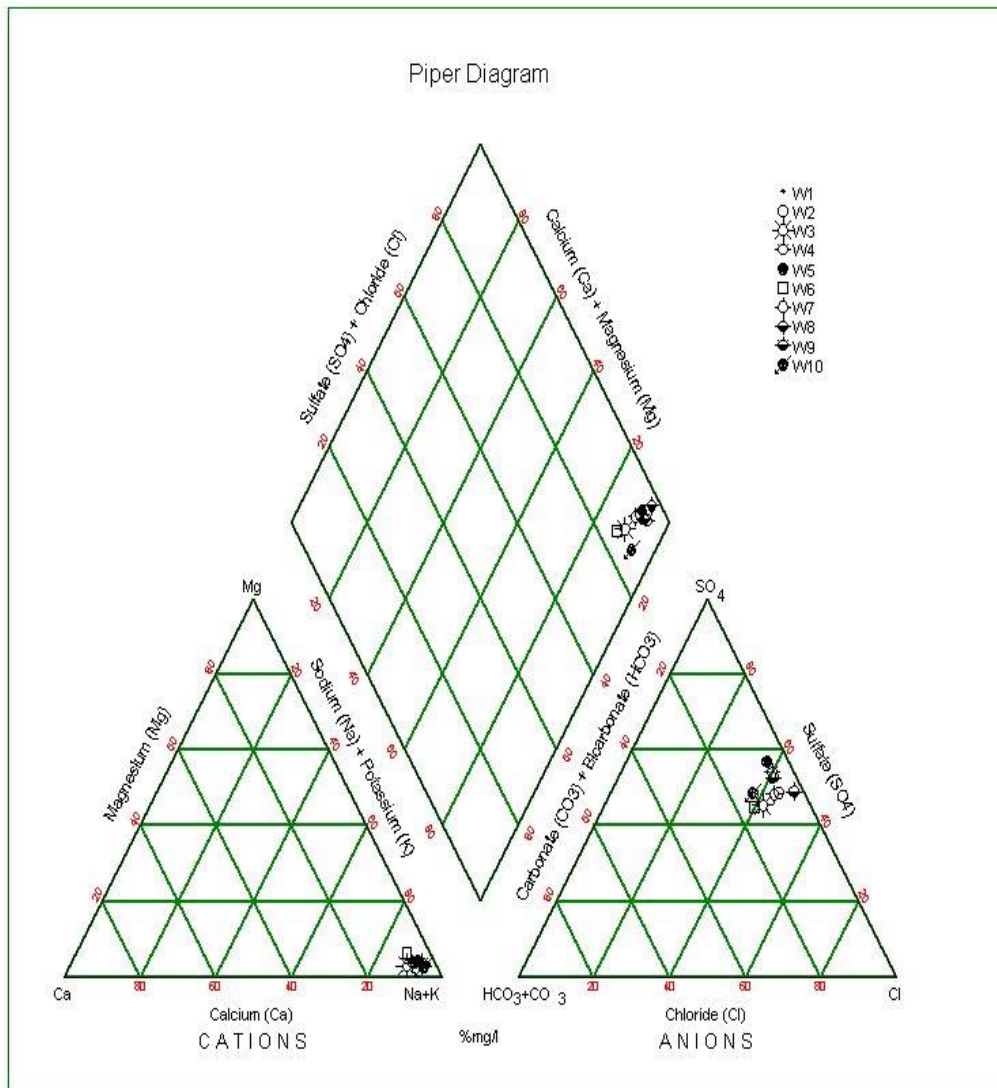


شکل ۴-۵: غلظت جیوه در آب های زیرزمینی

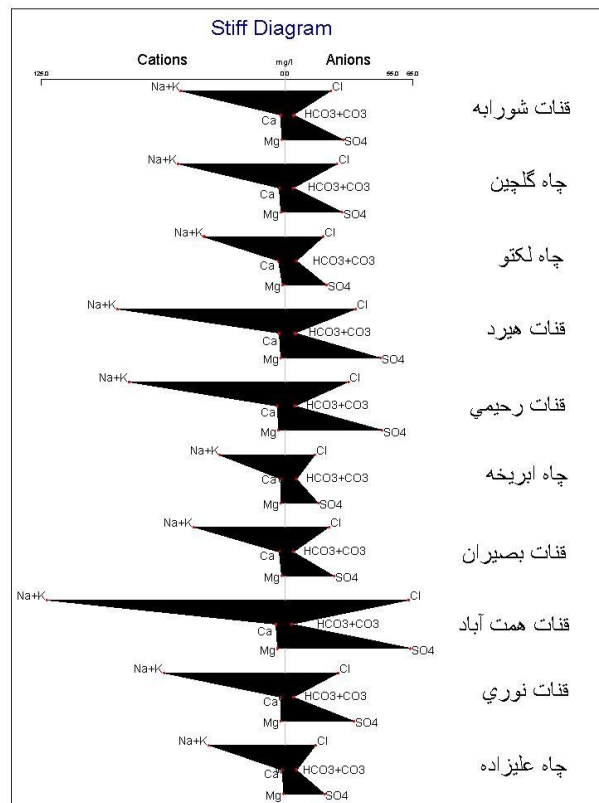
۳-۶- تعیین تیپ آب در منابع آب زیرزمینی منطقه

تیپ آب نشان دهنده غلظت نسبی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب است. جهت تعیین نوع و تیپ آب از نمودارهای پایپر و استیف استفاده شده است.

در نمودار پایپر، درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در میدان مثلثی و موقعیت ترکیبی آن‌ها در میدان لوزی نشان داده شده است (شکل ۶-۴۶). در نمودار استیف آنیون‌ها در سمت راست و کاتیون‌ها در سمت چپ معلوم شده‌اند (شکل ۶-۴۷). بر این اساس، نمونه‌ها جزء آب‌های شور بوده و تیپ آب در تمامی نمونه‌ها، سولفات-سدیک می‌باشد.



شکل ۶-۴۶: نمودار پایپر برای آب‌های زیرزمینی منطقه

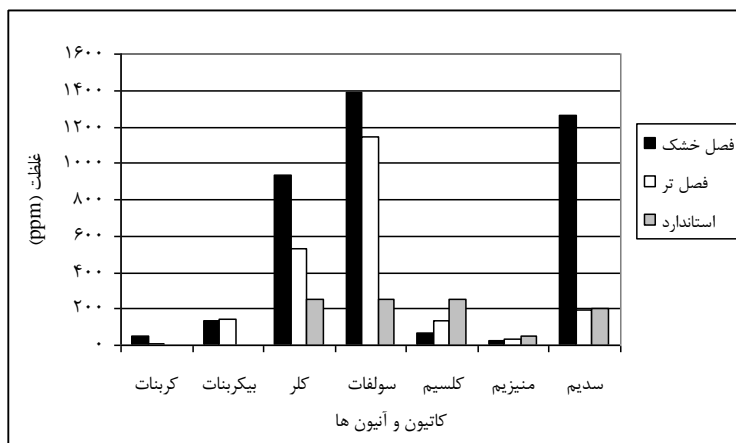


شکل ۶-۴۷: نمودار استیف برای آب‌های زیرزمینی منطقه

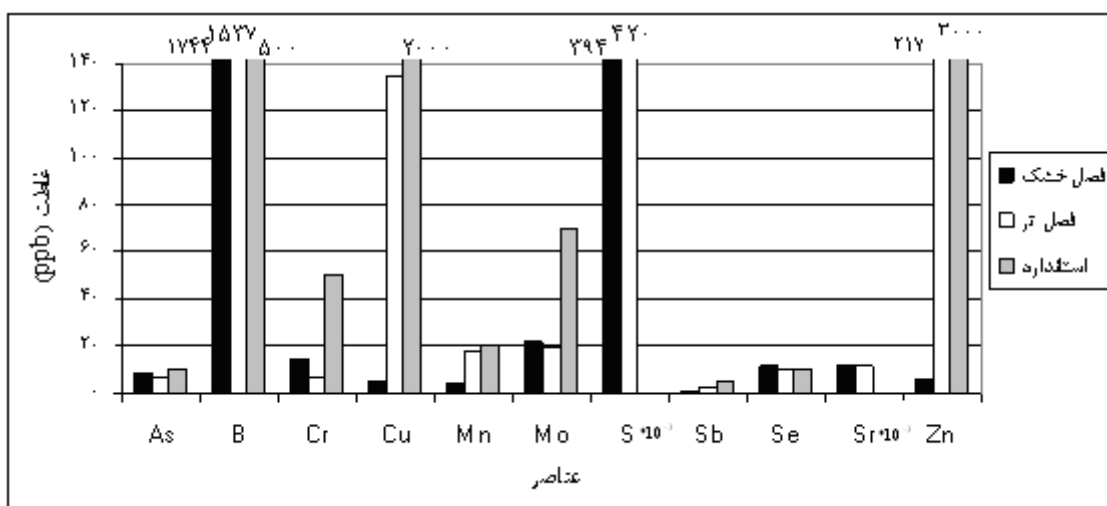
۴-۶- مقایسه کیفیت منابع آب در فصول خشک و تر

۴-۶-۱- چاه گلچین

چاه گلچین در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه واقع شده است. این آب مورد استفاده ساکنین کلاته گلچین می‌باشد. مقایسه غلظت آنیون و کاتیون‌های اصلی در شکل ۶-۴۸ و عناصر و فلزات سنگین در شکل ۶-۴۹ در پایان دو فصل خشک و تر نشان داده شده است. غلظت کربنات، کلر، سولفات و سدیم در پایان فصل تر به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. اما منیزیم، کلسیم و بی‌کربنات در پایان فصل تر افزایش یافته است. از بین عناصر مهم، آرسنیک، بور، کروم، مولیبدن و سلنیم در پایان فصل تر نسبت به پایان فصل خشک کاهش یافته‌اند. اما مس، منگنز، آنتیموان، استرانسیم و روی افزایش نشان می‌دهند. به طور کلی مشکل چاه در پایان فصل خشک و تر در بالابودن غلظت کلر، سولفات، سدیم، بور می‌باشد.



شکل ۴۸-۶: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه گلچین

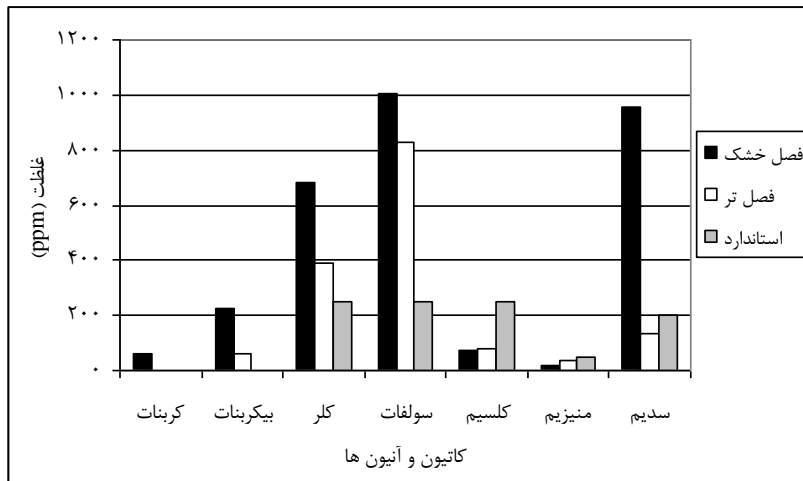


شکل ۴۹-۶: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه گلچین

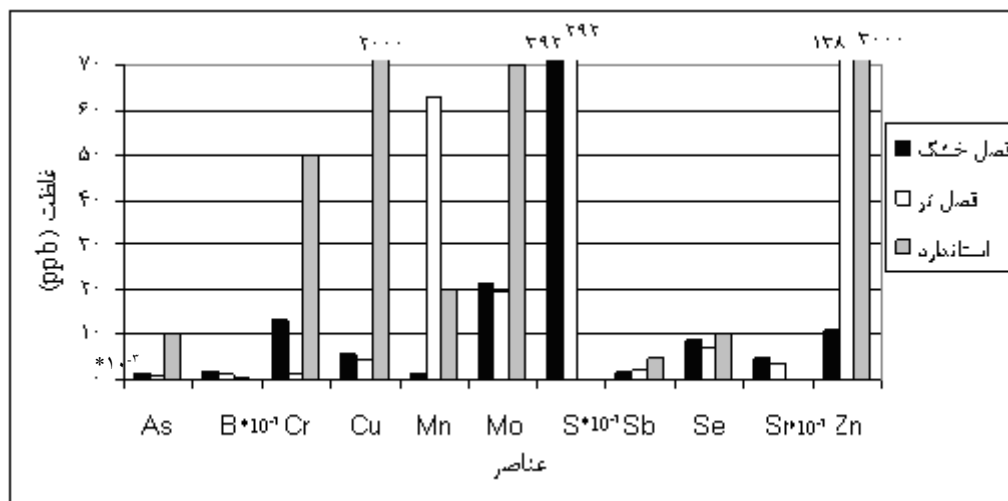
۲-۴-۶- چاه لکتو

چاه لکتو در جنوب منطقه قرار گرفته است و تنها آب قابل دسترسی برای ساکنین کلاته محمدرحیم می‌باشد. غلظت کربنات، بی‌کربنات، کلر، سولفات، سدیم در پایان فصل خشک بیشتر می‌باشد. غلظت منیزیم و کلسیم در پایان فصل تر بیشتر شده است (شکل ۵۰-۶). غلظت آرسنیک، بور، کروم، مس، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم در پایان فصل تر کاهش یافته است اما غلظت منگنز، آنتیموان و روی افزایش نشان می‌دهد (شکل ۵۱-۶).

غلظت سولفات، کلر، آرسنیک و بور در این چاه در پایان هر دو فصل بسیار بالا می‌باشد. غلظت سدیم نیز در پایان فصل خشک فراتر از حد استاندارد است.



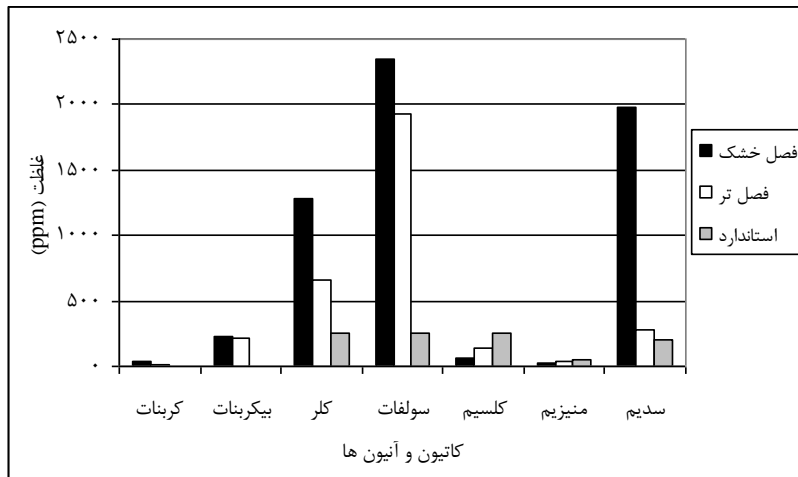
شکل ۵۰-۶: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه لکتو



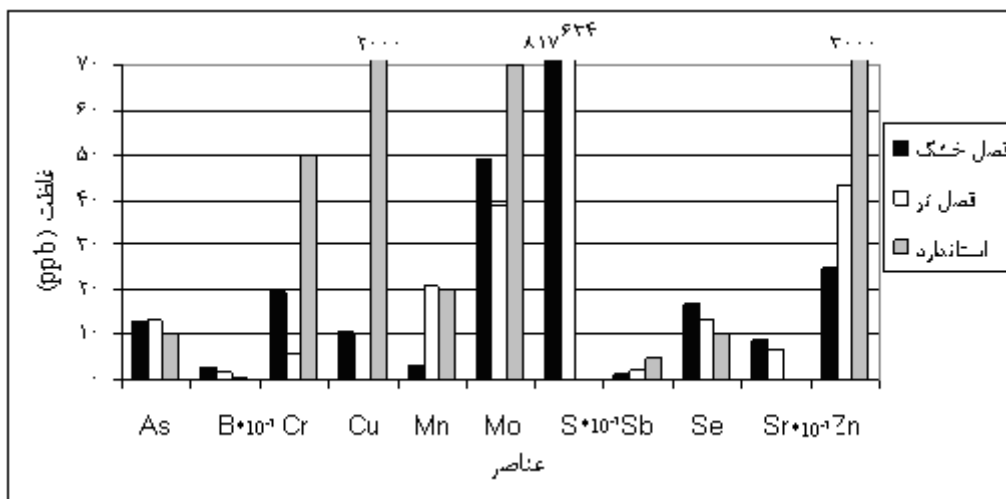
شکل ۵۱-۶: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه لکتو

۳-۴-۶- قنات هیرد

قنات هیرد در شمال شرقی منطقه، تأمین کننده آب روستای هیرد می‌باشد. غلظت کربنات، بی-کربنات، کلر، سولفات و سدیم در پایان فصل تر کاهش و کلسیم و منیزیم افزایش پیدا کرده است (شکل ۵۲-۶). غلظت آرسنیک، منگنز، آنتیموان و روی در پایان فصل تر نسبت به پایان فصل خشک افزایش یافته است. غلظت بور، کروم، مس، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم کاهش یافته است (شکل ۵۳-۶). به طور کلی آب این قنات آلوده به کلر، سولفات، سدیم و بور در پایان فصل خشک و تر و همچنین سلنیم در پایان فصل خشک بوده و برای آشامیدن مشکل دارد.



شکل ۶-۵۲: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات هیرد

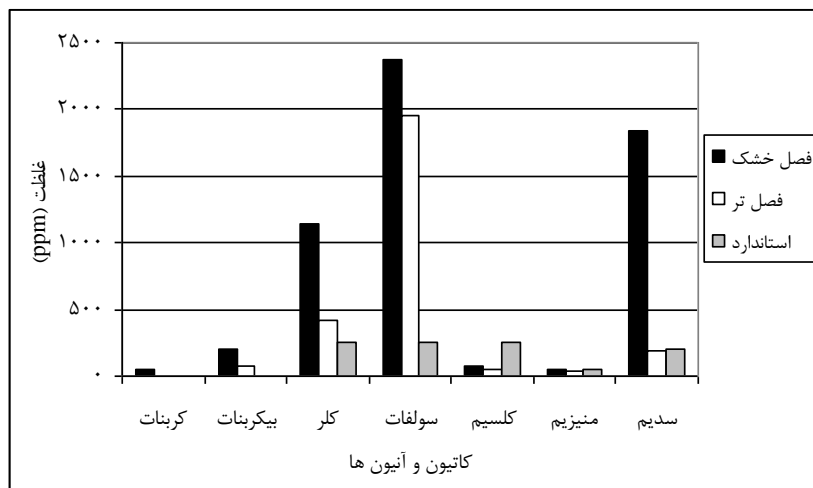


شکل ۶-۵۳: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات هیرد

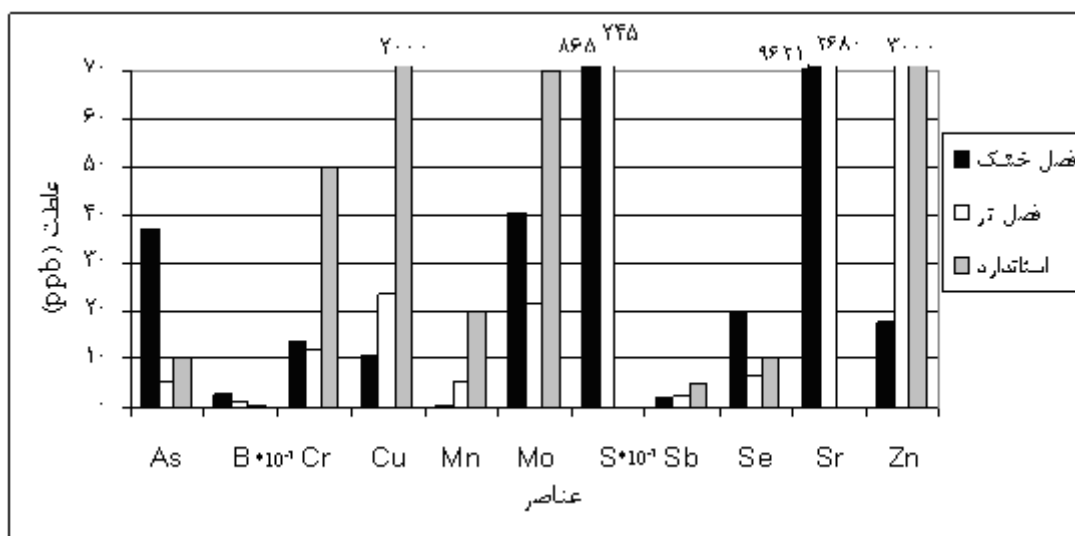
۶-۴-۴- قنات رحیمی

قنات رحیمی، در شمال شرق منطقه واقع شده و مورد استفاده ساکنین کلات همت آباد بوده و همچنین برای آبیاری مزارع و زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود. به طور کلی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در پایان فصل تر نسبت به پایان فصل خشک کاهش یافته است (شکل ۶-۵۴). غلظت آرسنیک، بور، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم در پایان فصل تر نسبت به پایان فصل خشک کاهش یافته است و غلظت مس، منگنز، آنتیموان و روی افزایش داشته است (شکل ۶-۵۵). غلظت آرسنیک، سلنیم در پایان فصل خشک، به ترتیب ۳/۷ و ۱/۹ برابر حد استاندارد بوده اما

در پایان فصل تر به زیر حد استاندارد کاهش یافته است. به طور کلی این قنات در پایان فصل خشک و تر از نظر کلر، سولفات و بور و در پایان فصل خشک از نظر آرسنیک و سلنیم آلوده می‌باشد.



شکل ۶-۵۴: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات رحیمی

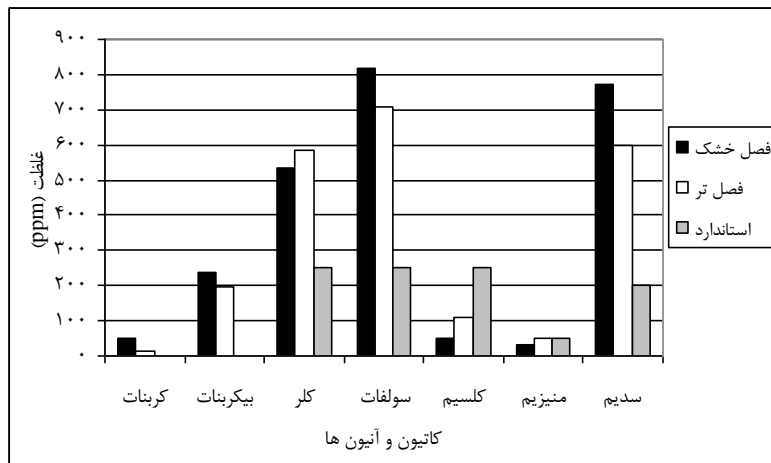


شکل ۶-۵۵: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات رحیمی

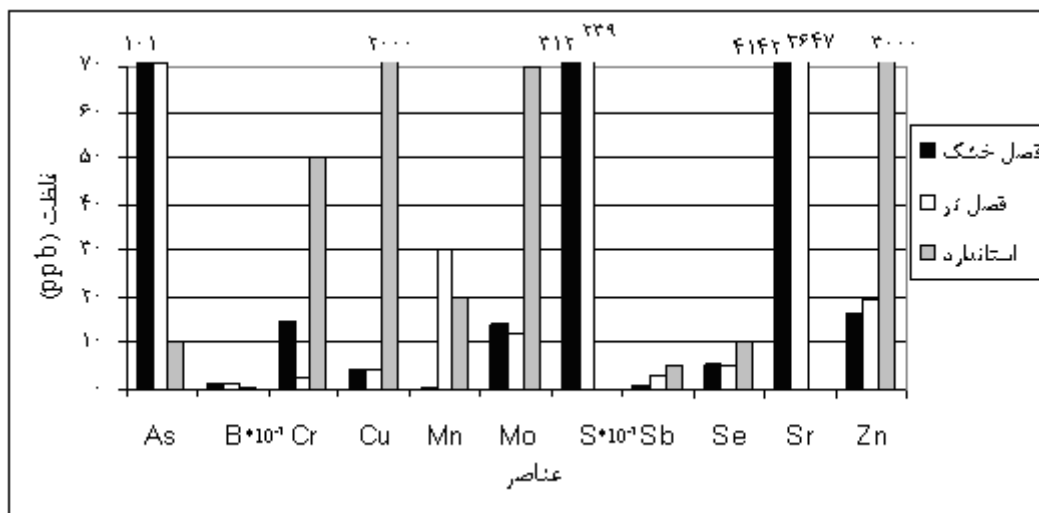
۴-۵- چاه ابریخه

چاه ابریخه در جنوب غرب منطقه قرار گرفته است. در بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، کربنات، بی-کربنات، سولفات و سدیم در پایان فصل تر کاهش و منیزیم، کلسیم و کلر، افزایش نشان می‌دهند (شکل ۶-۵۶). از بین عناصر اصلی آرسنیک، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم، استرانسیم در پایان فصل تر، کاهش و غلظت بور، منگنز، آنتیموان و روی افزایش داشته است (شکل ۶-۵۷). به طور کلی آب

چاه ابريخه از نظر غلظت بالای سولفات، کلر، سدیم، آرسنیک، بور، گوگرد و استرانسیم در پایان دو فصل خشک و تر آلوده می‌باشد.



شکل ۶-۵۶: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه ابريخه

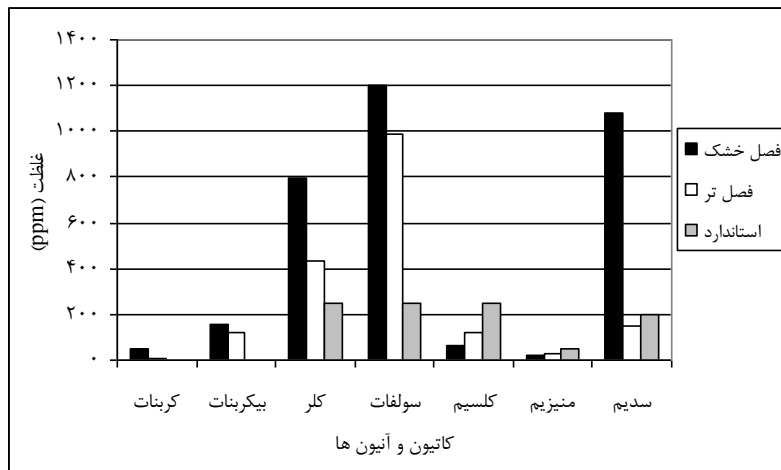


شکل ۶-۵۷: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه ابريخه

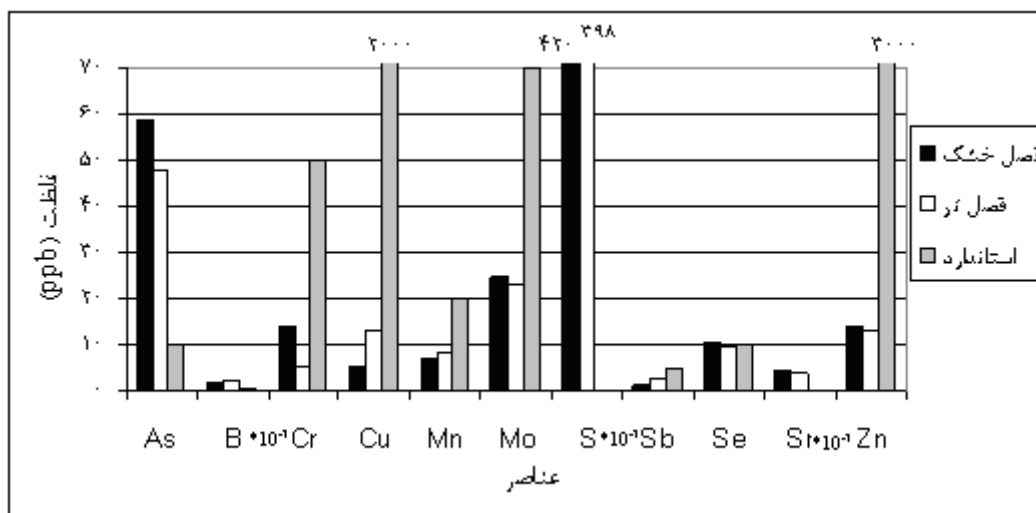
۶-۴-۶- قنات بصیران

قنات بصیران مهمترین قنات منطقه بوده و تأمین کننده آب روستای بصیران می‌باشد. در بین آنیون‌ها و کاتیون‌های کربنات، بی‌کربنات، کلر، سولفات و سدیم در پایان فصل تر کاهش یافته اما کلسیم و منیزیم افزایش نشان می‌دهند (شکل ۶-۵۸). غلظت آرسنیک، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم، استرانسیم و روی در پایان فصل تر نسبت به فصل خشک کاهش و غلظت بور، منگنز و آنتیموان

افزایش نشان می‌دهد (شکل ۶-۵۹). به طور کلی آب این قنات آلوده به کلر، سولفات، آرسنیک و بور در پایان دو فصل خشک و تر می‌باشد.



شکل ۶-۵۸: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات بصیران

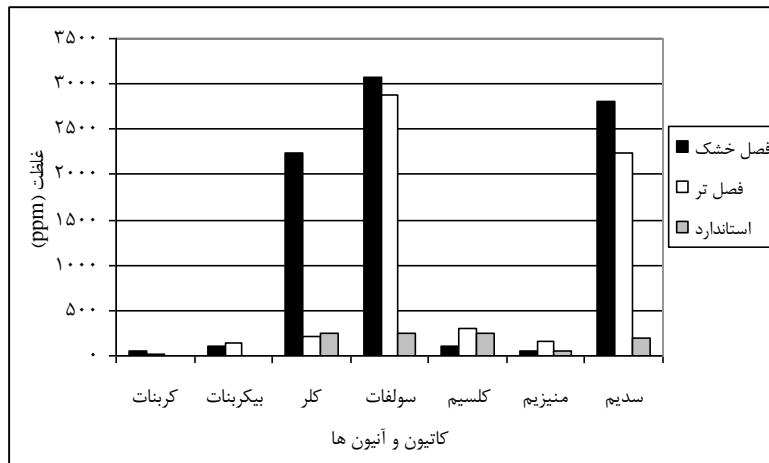


شکل ۶-۵۹: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات بصیران

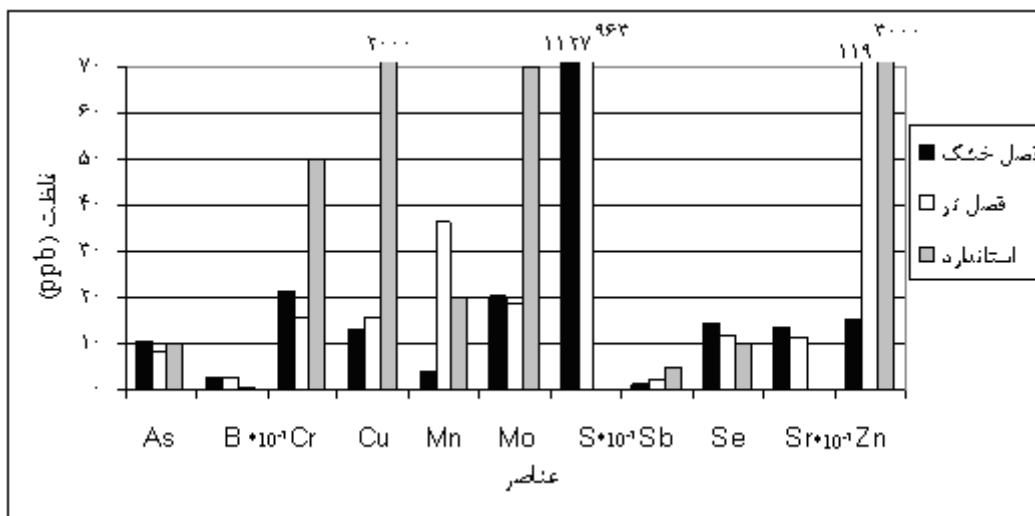
۶-۴-۷- قنات همت آباد

قنات همت آباد در شمال غرب منطقه واقع شده و تأمین کننده آب روستای همت آباد می‌باشد. غلظت کربنات، کلر، سولفات و سدیم در پایان فصل تر کاهش بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم افزایش پیدا کرده است (شکل ۶-۶۰). غلظت آرسنیک، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم در پایان فصل تر کاهش و غلظت مس، منگنز، آنتیموان و روی افزایش داشته است (شکل ۶-۶۱). به طور کلی

آب قنات آلوده به غلظت بالای سولفات، سدیم و بور در پایان دو فصل خشک و تر و همچنین کلر و آرسنیک در پایان فصل خشک می‌باشد.



شکل ۶-۶: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات همت آباد

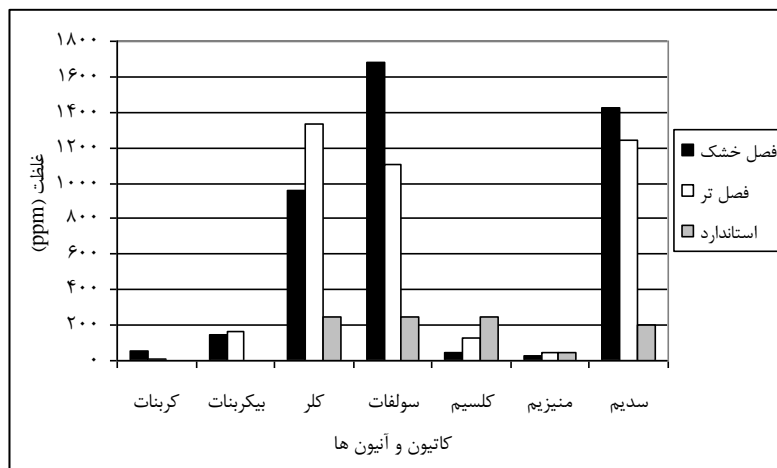


شکل ۶-۶: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات همت آباد

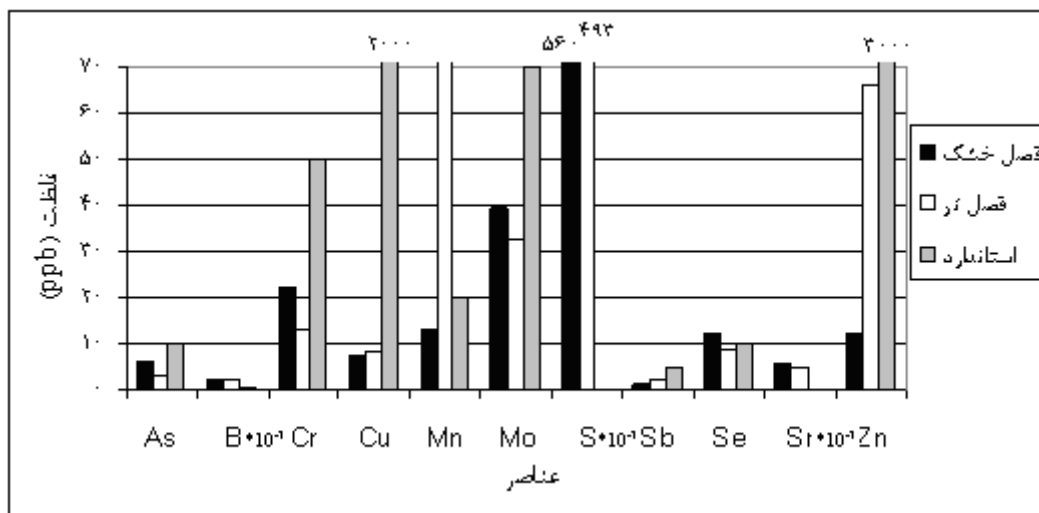
۴-۸- قنات نوری

قنات نوری در شمال غرب منطقه قرار دارد. این قنات تأمین کننده آب روستای فخرآباد می‌باشد. غلظت کربنات، سولفات و سدیم در پایان فصل تر به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. اما کلر، منیزیم، کلسیم و بی‌کربنات در پایان فصل تر افزایش یافته است (شکل ۶-۶). غلظت آرسنیک، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم در پایان فصل تر کاهش و منگنز، آنتیموان و روی افزایش

نشان می‌دهند (شکل ۶-۶۳). مقدار منگنز در پایان فصل تر به ۹۰/۳۲ میکروگرم بر لیتر رسیده که از مقدار استاندارد (۴۰ میکروگرم بر لیتر) فراتر رفته است. مقدار سلنیم (۱۲/۲ میکروگرم بر لیتر) در فصل خشک بالاتر از حد استاندارد بوده که در فصل تر این مشکل بر طرف گردیده است. به طور کلی منگنز و بور در پایان فصل تر و سلنیم و بور در پایان فصل خشک از آلوده کننده‌های آب می‌باشد.



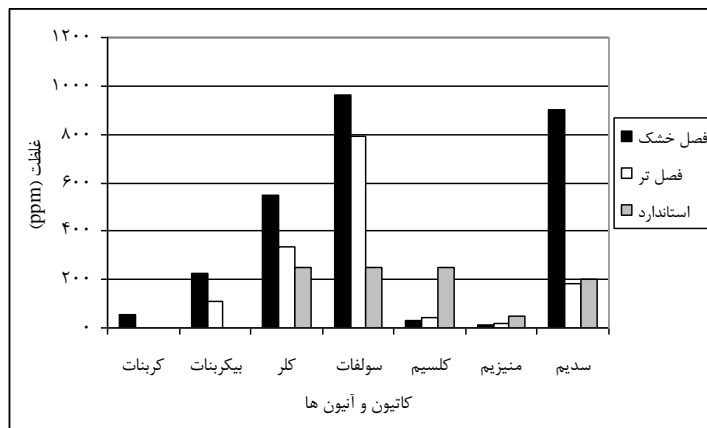
شکل ۶-۶۲: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در قنات نوری



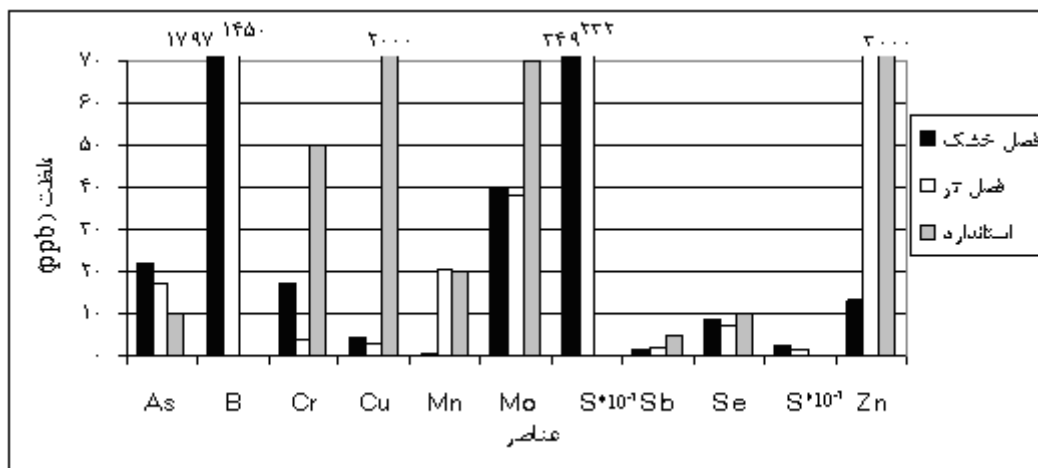
شکل ۶-۶۳: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در قنات نوری

۹-۴-۶- چاه علیزاده

چاه علیزاده در شمال منطقه قرار گرفته و تأمین کننده آب کلاته محمدرمضان می باشد. در بین آنیون-ها و کاتیون‌ها، غلظت کربنات، بی کربنات، کلر، سولفات و سدیم در پایان فصل تر کاهش یافته اما غلظت کلسیم و منیزیم افزایش نشان می دهند (شکل ۶-۶۴). در بین عناصر مهم، غلظت آرسنیک، بور، کروم، مس، مولیبدن، گوگرد، سلنیم، استرانسیم در فصل تر نسبت به فصل خشک کاهش اما منگنز، آنتیموان و روی افزایش نشان می دهد (شکل ۶-۶۵). به طور کلی، آرسنیک و بور از آلوده کننده‌های آب در پایان دو فصل خشک و تر به شمار می روند.



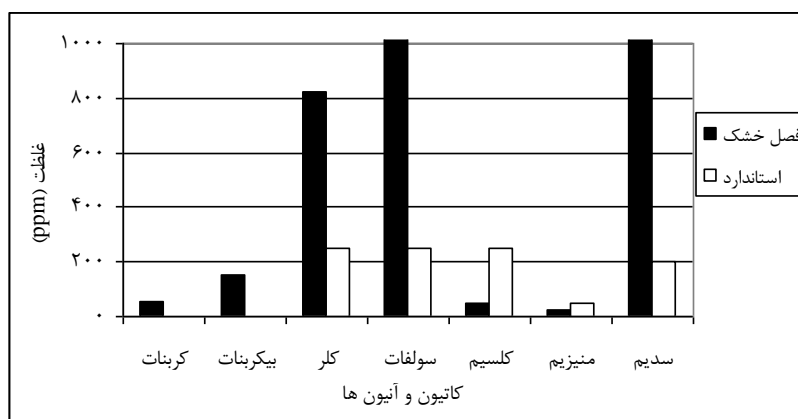
شکل ۶-۶۴: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک و تر در چاه علیزاده



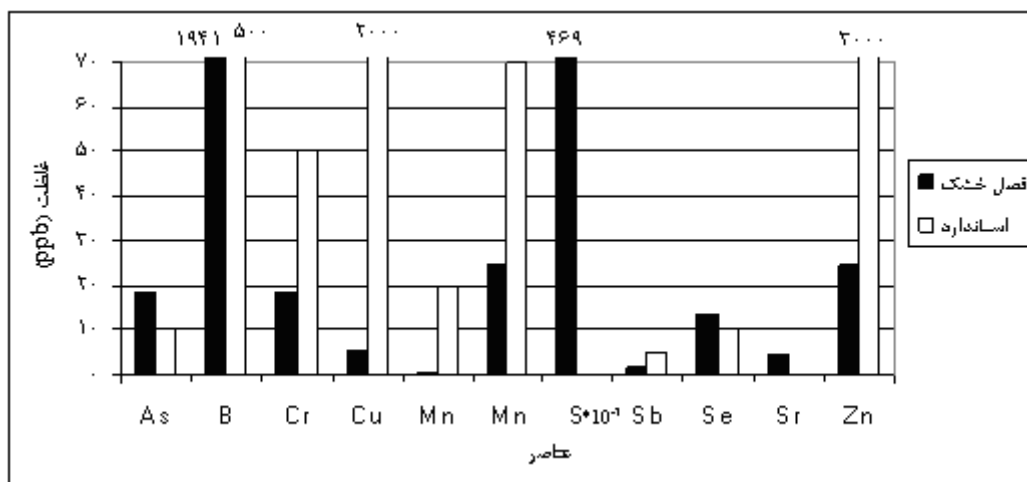
شکل ۶-۶۵: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک و تر در چاه علیزاده

۶-۴-۱۰- قنات شورابه

قنات شورابه در جنوب شرق منطقه قرار دارد. در پایان فصل خشک نمونه‌برداری از آن انجام گرفت اما در پایان فصل تر نمونه‌برداری به خاطر خرابی و مسدود شدن قنات امکان پذیر نشد. بنابراین تحلیل‌ها تنها بر روی نمونه‌های فصل خشک انجام گرفته است. کلر، سولفات، سدیم، آرسنیک و بور بالاتر از حد استاندارد بوده و جزء آلوده کننده‌های آب محسوب می‌شوند (شکل ۶-۶۷).



شکل ۶-۶۶: مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در پایان فصل خشک در قنات شورابه



شکل ۶-۶۷: مقایسه غلظت عناصر مهم در پایان فصل خشک در قنات شورابه

به طور کلی در آب تمام قنات‌ها و چاه‌ها معمولاً یک روند مشخص در افزایش یا کاهش آنیون‌ها و کاتیون‌ها و عناصر در پایان دو فصل خشک و تر دیده می‌شود. از بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی،

غلظت سولفات، بیکربنات، کلر و سدیم و از عناصر، غلظت آرسنیک، بور، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم در پایان فصل تر نسبت به خشک کاهش و غلظت منیزیم، کلسیم، منگنز، آنتیموان و روی در پایان فصل تر نسبت به خشک افزایش نشان می‌دهند. افزایش مقدار آب و انجام پدیده رقیق‌سازی را می‌توان دلیل اصلی برای کاهش غلظت عناصری با پتانسیل یونی پایین مانند سدیم و یا آنیون‌هایی مانند سولفات در پایان فصل تر نسبت به خشک دانست. در واقع مکانسیم‌های تأثیرگذار در جذب و واجذب عناصر و کیفیت آب در تماس با خاک و سنگ، تعیین‌کننده نحوه کاهش و یا افزایش عناصر در آب‌های منطقه می‌باشد. به طور مثال عناصری مانند کلسیم و روی که ورود و خروج آن‌ها در آب بیشتر بر اساس مکانسیم تبادل یونی می‌باشد، در پایان فصل تر افزایش می‌یابند.

فصل هفتم

بررسی ارتباط کیفیت آب‌های زیرزمینی با

سنگ‌شناسی منطقه

۷-۱- مقدمه

برای پی بردن به روابط مابین آلودگی منابع آبی با سنگ‌ها و کانی‌سازی انجام گرفته در منطقه، دانستن پراکندگی عناصر در سنگ‌ها، توپوگرافی منطقه، مسیر حرکت آبراهه‌ها و جریان آب زیرزمینی الزامی می‌باشد. در این فصل ابتدا مسیر حرکت آبراهه‌ها و جریان آب زیرزمینی بحث و سپس ارتباط عناصر موجود در منابع آبی با سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۷-۲- مسیر حرکت آبراهه‌ها

منطقه کانی‌سازی تقریباً در مرکز منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است و دارای بیشترین ارتفاع می‌باشد (شکل ۷-۱). بلندترین ارتفاع در منطقه زیر سایه با ۱۸۲۳ متر و کمترین ارتفاع در شمال غرب منطقه مورد مطالعه با ۱۳۸۰ متر قرار دارد. سفره‌های آب زیرزمینی در این منطقه عموماً کم‌عمق و در برخی مناطق، همانند روستای هیرد بین ارتفاعات محصور می‌باشند. بنابراین بیشترین اختلاف ارتفاع بین مناطق کانی‌سازی با سفره‌های آب زیرزمینی به طور تقریبی بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر می‌باشد (جدول ۴-۲) و در نتیجه ورود فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی، طی هوازدگی امری بدیهی می‌باشد. جهت جریان آب زیرزمینی در بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه، شرق- غرب و در بخش‌های جنوبی، شمال- جنوب و در بخش‌های شرقی، غرب- شرق می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی ۱۳۸۷) که مسیر حرکت آب زیرزمینی از مسیر حرکت آبراهه‌ها تبعیت می‌کنند (شکل ۷-۱). بنابراین با توجه به جهت حرکت آب‌های زیرزمینی و آبراهه‌ها، می‌توان سه منطقه را از هم تفکیک نمود و کیفیت آب آن‌ها را با توجه به سنگ‌های بالادست تفسیر نمود.

۷-۲-۱- آبراهه‌های شرقی - غربی

بخش وسیعی از مرکز و غرب منطقه از این روند تبعیت می‌کنند. آبراهه‌ها از ارتفاعات که محل اصلی کانی‌سازی در منطقه می‌باشد، منشأ گرفته و به سمت شمال غرب منطقه، حرکت می‌کنند. چاه ابریکه (S6)، قنات بصیران (S7)، قنات همت آباد (S8)، قنات نوری (S9) و چاه علیزاده (S10) در این مسیر قرار می‌گیرند (شکل ۷-۱). غلظت کاتیون و آنیون‌های اصلی در قنات همت آباد و نوری به دلیل مسافت طولانی‌تر قنات و همچنین آبرفتی بودن آن‌ها، بالا می‌باشد (جدول ۴-۵).

۷-۲-۲- آبراهه‌های شمالی-جنوبی

آبراهه‌ها در بخش‌های جنوبی منطقه، از این روند تبعیت می‌کنند. قنات شورابه (S1)، چاه گلچین (S2) و چاه لکتو (S3) در این بخش قرار می‌گیرند (شکل ۷-۱) و از بخش جنوبی منطقه کانی‌سازی تغذیه می‌شوند.

۷-۲-۳- آبراهه‌های غربی - شرقی

بخش‌های کوچکی از شرق منطقه از این روند تبعیت می‌کنند، قنات هیرد (S4)، قنات رحیمی (S5) در این بخش می‌باشند (شکل ۷-۱) و از بخش شمالی منطقه کانی‌سازی تغذیه می‌شوند.

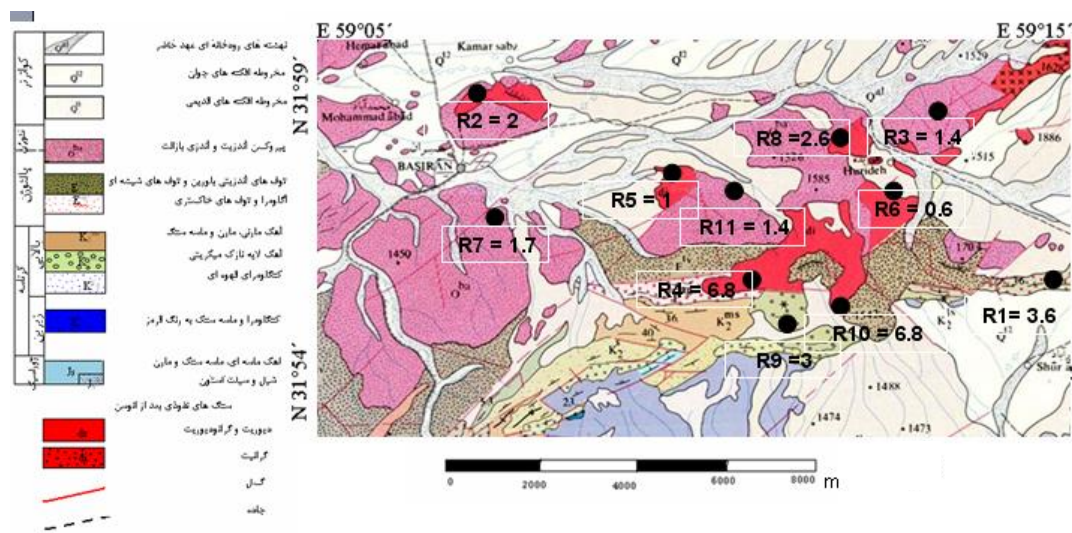
۷-۴- روابط مابین عناصر در آب و خاک منطقه

۷-۴-۱- طلا

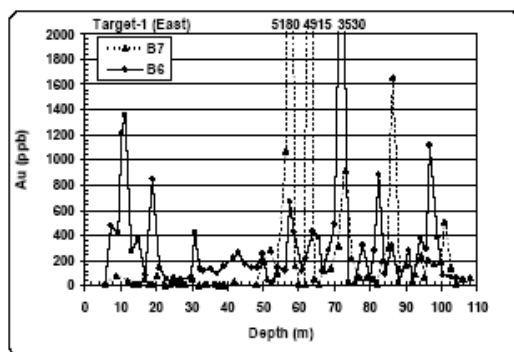
بالاترین تمرکز طلا در سنگ‌های سطحی، تقریباً در منطقه کانی‌سازی بوده و به اطراف و خصوصاً به سمت غرب منطقه از میزان آن کاسته می‌شود (شکل ۷-۲). بیشترین میزان طلا در نمونه R4 (۶/۸ میلی‌گرم در تن) در جنوب منطقه کانی‌سازی می‌باشد.

در مناطق اکتشافی (شکل ۲-۲) نیز گمانه‌هایی حفر شده است که نتایج این گمانه‌ها در شرق منطقه اکتشافی شماره یک ناهنجاری‌های بسیار بالایی از طلا را در سطح تا عمق ۱۰۰ متری نشان می‌دهد. بالاترین مقدار (۵۱۸۰ میلی‌گرم در تن) آن در اعماق ۵۵ تا ۷۵ متری دیده می‌شود (شکل ۳-۷). مقدار طلا در غرب منطقه اکتشافی شماره یک، تا ۱۴۳۰ میلی‌گرم در تن می‌رسد. ناهنجاری طلا در منطقه اکتشافی شماره ۳، از سطح تا عمق ۴۰ متری دیده می‌شود و بیشترین مقدار آن تا ۲۴۴۰ می‌رسد (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶).

بنابراین مقدار طلا هم در سطح و هم در عمق سنگ‌های منطقه بالا می‌باشد که طی هوازدگی، وارد محیط می‌شود. اما، طلا یک عنصر نامحلول در آب بوده و در آن رسوب می‌نماید (شکل ۳-۱) بنابراین غلظت طلا در تمامی نمونه‌های آبی بسیار پایین می‌باشد (جدول ۴-۵).



شکل ۲-۷: مقادیر طلا در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

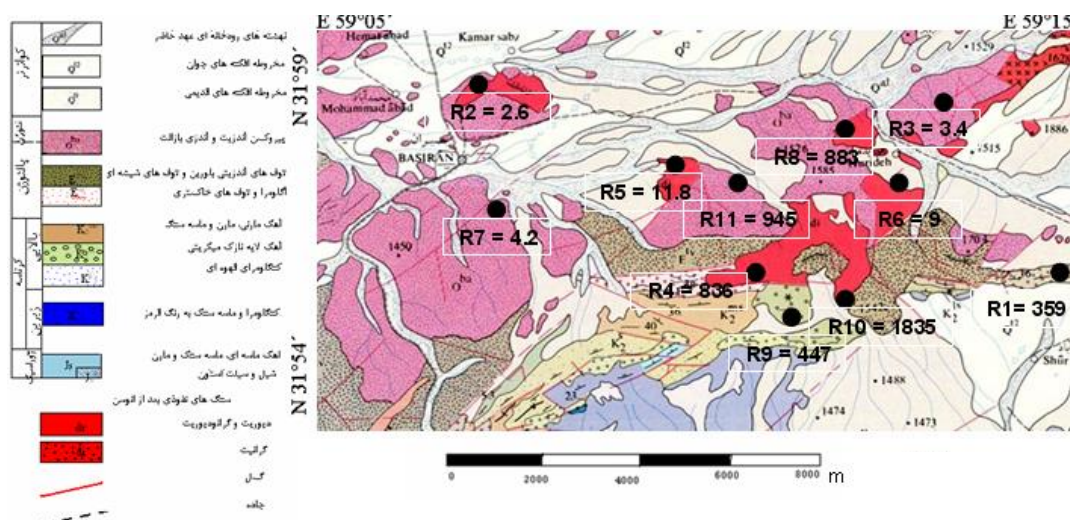


شکل ۳-۷: تغییرات طلا در شرق منطقه اکتشافی شماره ۱ در دو گمانه B7 و B6 (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶)

قنات شورابه (S1) در جنوب شرق منطقه کانی‌سازی (شکل ۷-۱) و پایین دست نمونه R10 که مقدار طلای بالای (۶/۴ میلی‌گرم در تن) دارد، بیشترین غلظت طلا (۰/۶ میکروگرم بر لیتر) را دارا است.

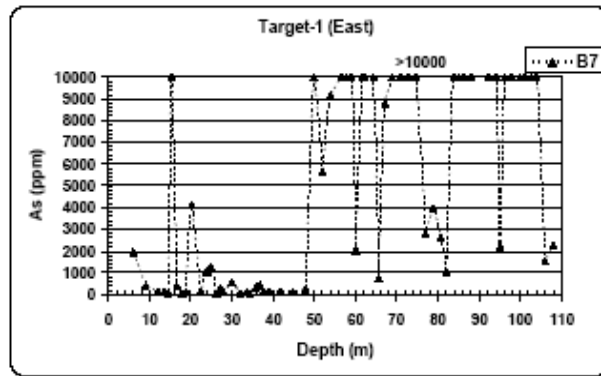
۷-۴-۲- آرسنیک

از آن جایی که آرسنوپیریت (شکل ۵-۱۹ و ۵-۲۰) همراه با کانه‌زایی طلا مشاهده می‌شود، ناهنجاری‌های بالای از عنصر آرسنیک در منطقه مشاهده می‌شود. مقادیر آرسنیک در سنگ‌های سطحی منطقه نیز نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز آرسنیک در اطراف مناطق کانی‌سازی بوده و با دور شدن در آن خصوصاً به سمت شمال از میزان آن کاسته می‌شود (شکل ۷-۴).



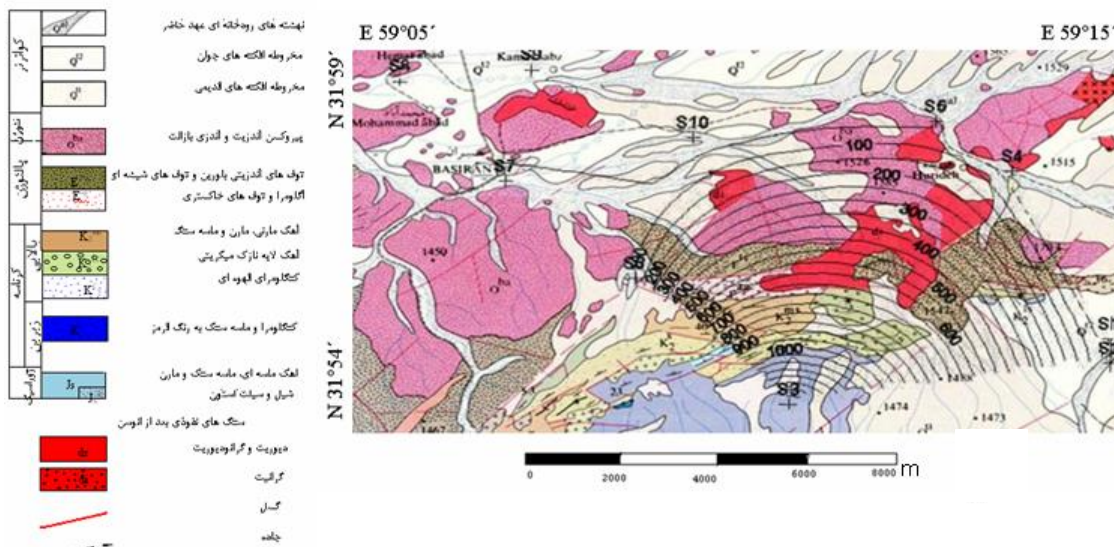
شکل ۷-۴: مقادیر آرسنیک در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

در گمانه حفر شده در شرق منطقه اکتشافی شماره یک، مقدار آرسنیک از سطح تا عمق ۵۰ متری بین ۲۶ تا ۱۹۳۵ گرم در تن بوده و پس از آن افزایش یافته و تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن می‌رسد. ناهنجاری‌های بالای آرسنیک در عمق ۵۰ تا ۱۰۰ متری است (شکل ۷-۵). حداکثر میزان آرسنیک در منطقه اکتشافی ۳ به ۵۵۵۰ گرم در تن می‌رسد (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶).



شکل ۷-۵: تغییرات آرسنیک در شرق منطقه اکتشافی شماره یک، در گمانه B6 (کریم پور و همکاران ۱۳۸۶)

وجود مقادیر بالای آرسنیک در سنگ‌های سطحی و عمقی (شکل ۷-۴ و ۷-۵) و حلالیت بالای آن در آب‌های زیرزمینی (شکل ۳-۲) تأییدکننده غلظت بالای آرسنیک در آب می‌باشد (جدول ۴-۵ و ۴-۶). غلظت آرسنیک در آب، در قسمت‌های شمالی ناچیز و به سمت جنوب افزایش می‌یابد (شکل ۷-۶).



شکل ۷-۶: توزیع آرسنیک در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران
 S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه عزیزاده

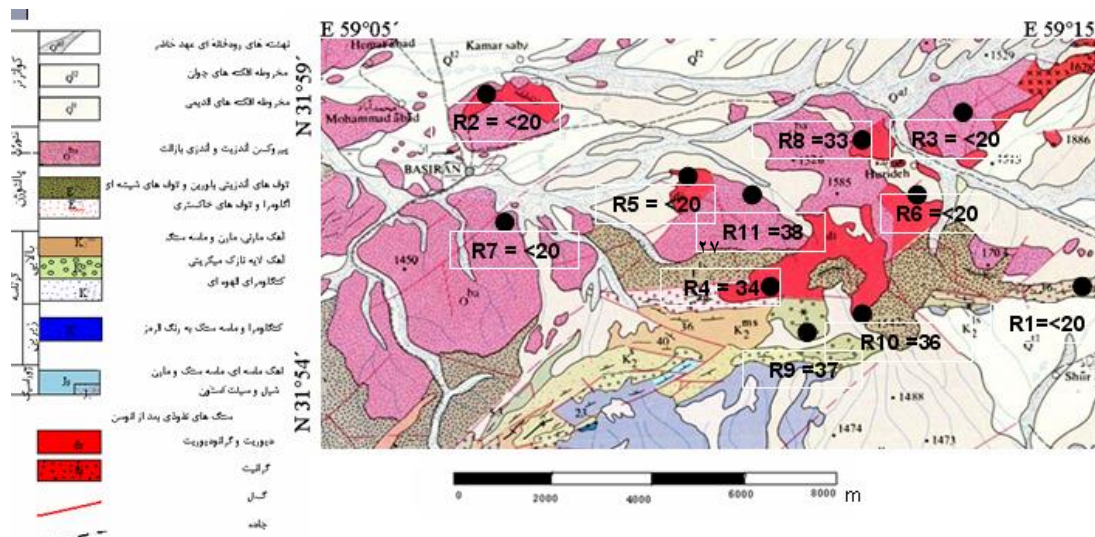
در واقع نحوه پراکندگی آرسنیک در سنگ‌های سطحی و منابع آبی از یکدیگر تبعیت می‌کنند (مقایسه شکل ۷-۴ و ۷-۶). چاه لکتو (S3) و ابریخه (S4) (شکل ۷-۱) دارای بیشترین غلظت آرسنیک (به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۴۲۸/۲ میکروگرم بر لیتر) در آب می‌باشند. این چاه‌ها در پایین دست

نمونه‌های R9 و R4 که به ترتیب دارای ۱۸۳۵ و ۴۴۷ گرم در تن آرسنیک می‌باشد، قرار دارند، بنابراین بیشترین غلظت آرسنیک را نسبت به بقیه نمونه‌ها دارا می‌باشد.

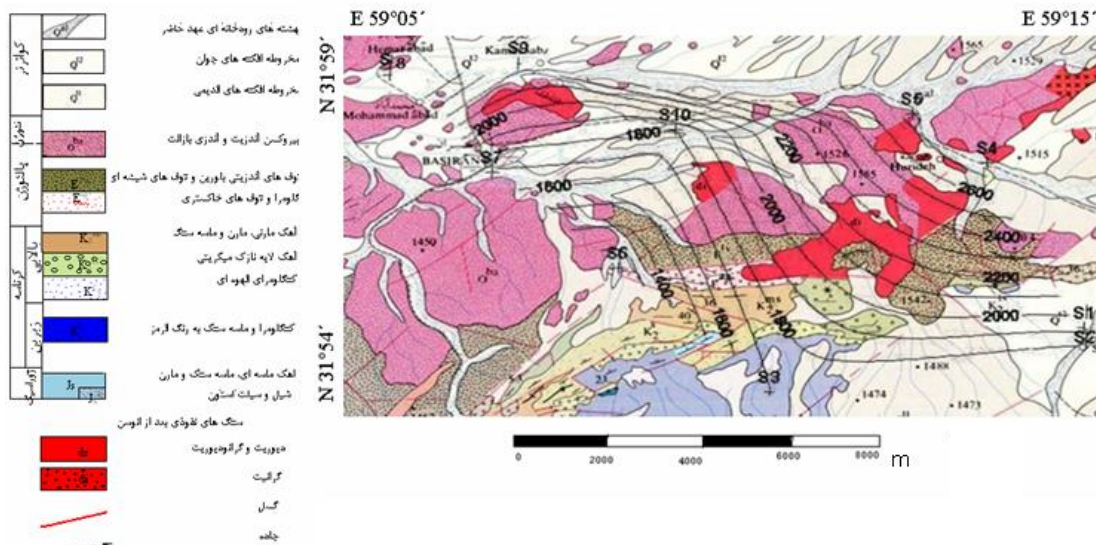
۷-۴-۳- بور

وجود تورمالین (شکل ۵-۹) و آلتراسیون‌های تورمالینی (بخش ۵-۲-۱-۳) عامل افزایش بور در سنگ‌های منطقه می‌باشد (جدول ۴-۷). تمرکز بالای بور در سنگ‌های سطحی منطقه، در اطراف مناطق کانی‌سازی می‌باشد (شکل ۷-۷).

به علت حلالیت بالای بور در گستره بالایی از Eh و pH (شکل ۳-۳)، غلظت بور در همه نمونه‌های آبی بالا می‌باشد. افزایش غلظت بور در نمونه‌های شمال شرقی، به دلیل گستردگی بیشتر آلتراسیون‌های تورمالینی (بخش ۵-۲-۱-۳) و نمونه‌های شمال غربی، مسافت طولانی تر سفره، می‌باشد (شکل ۷-۸).



شکل ۷-۷: مقادیر بور در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

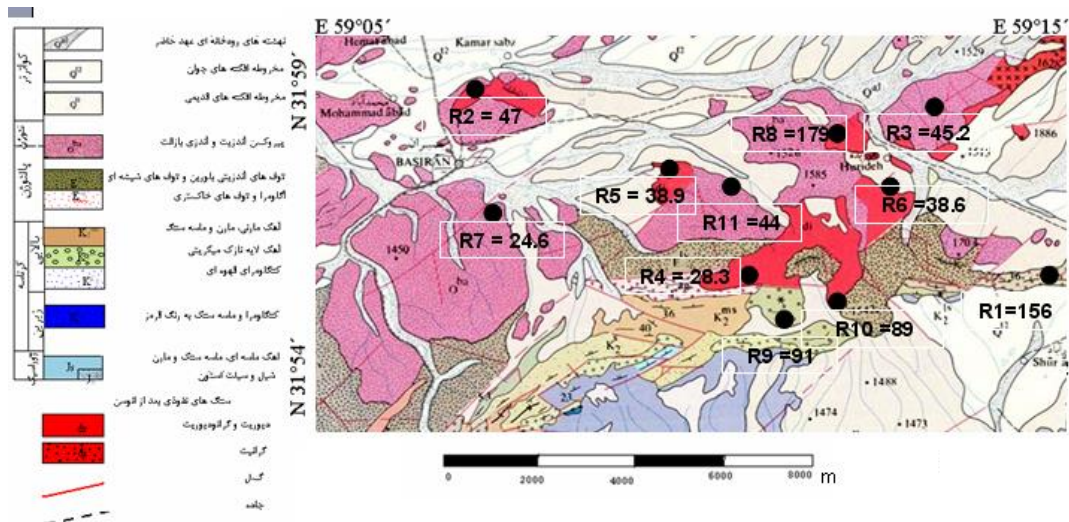


شکل ۷-۸: توزیع یور در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

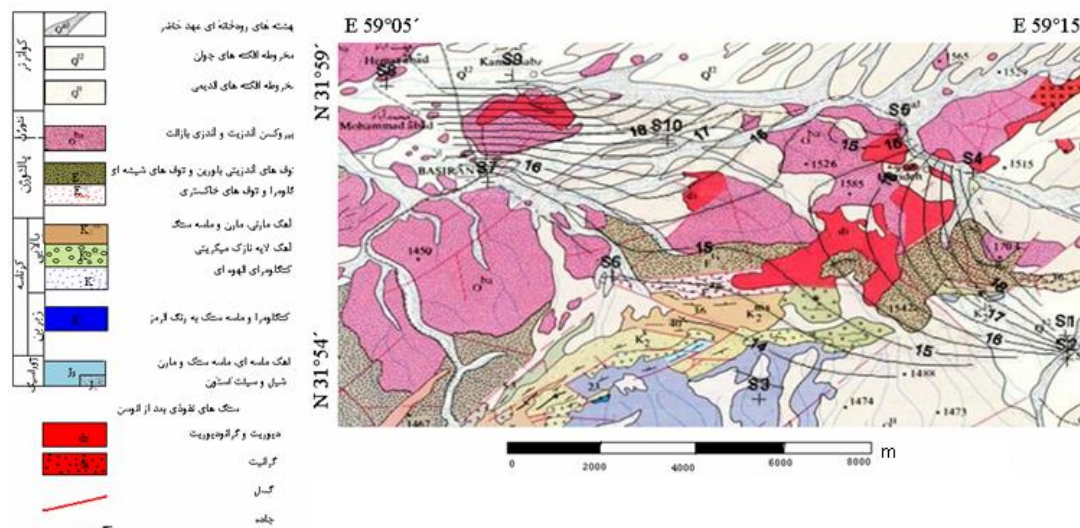
S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

۷-۴-۴- کروم

با توجه به ترکیب سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه، کروم از جمله عناصر فرعی دارای مقدار کم می‌باشد. کانه‌زایی کروم به صورت کانی پدیدار نشده است، لذا تصور می‌رود کروم جایگزین آهن و یا آلومینیم در شبکه کانی‌های مافیک شده است. میزان کروم در سنگ‌های منطقه تا ۱۷۹ گرم در تن می‌رسد (جدول ۴-۵). مقدار کروم در سنگ‌های منطقه در شرق و شمال مناطق کانی‌سازی بیشترین مقدار می‌باشد (شکل ۷-۹). کروم در صورت ورود به آب‌های زیرزمینی، رسوب می‌نماید (شکل ۳-۴)، بنابراین مقدار آن در منابع آبی برداشت شده بسیار پایین می‌باشد (جدول ۴-۵ و ۴-۶). پراکندگی غلظت کروم در آب از نحوه پراکندگی غلظت این عنصر در سنگ‌ها تبعیت می‌کند و بیشترین غلظت‌ها در قسمت‌های شرقی و شمالی دیده می‌شود (شکل ۷-۱۰). با توجه به حرکت آبراهه‌ها، نمونه‌های R8 و R11 (شکل ۷-۱) می‌توانند از منابع تغذیه‌کننده کروم در آب‌های منطقه باشند.



شکل ۷-۹: مقادیر کروم در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران



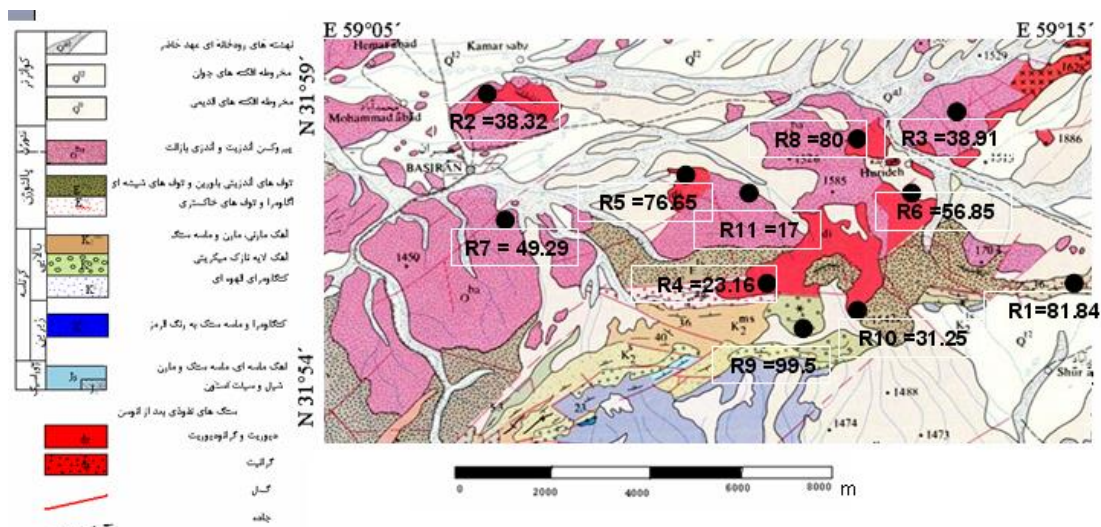
شکل ۷-۱۰: توزیع کروم در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

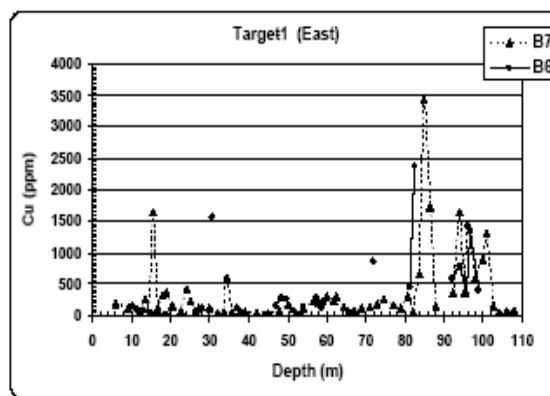
۷-۴-۵- مس

کالکوپیریت (شکل ۵-۲۰) و همچنین مالاکیت و آزوریت (در بخش‌های هوازده) مهمترین کانی‌های مس‌دار منطقه می‌باشند. مقادیر مس در سنگ‌های سطحی منطقه نشان می‌دهد که به جز قسمت کوچکی در مرکز در بقیه نقاط توزیع نسبتاً یکنواختی در منطقه دارد (شکل ۷-۱۱). در دو گمانه حفر شده در شرق منطقه اکتشافی شماره یک، مس از عمق ۸۰ تا ۱۰۰ متری ناهنجاری‌هایی تا ۳۵۰۰

گرم در تن نشان می‌دهد (شکل ۷-۱۲). عنصر مس تا ۱۰۰۰ گرم در تن در غرب منطقه اکتشافی شماره یک می‌رسد. در منطقه اکتشافی شماره ۳ ناهنجاری این عنصر از عمق ۴۰ تا ۱۰۰ متری بارزتر است و بالاترین مقدار آن ۱۱۳ گرم در تن از عمق ۳۸ تا ۳۹/۹ متری می‌باشد (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶).



شکل ۷-۱۱: مقادیر مس در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

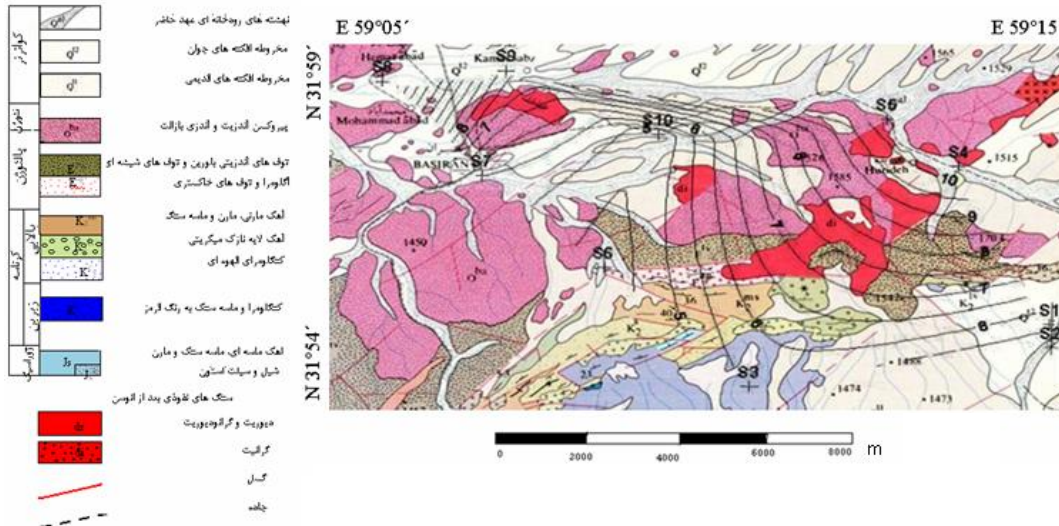


شکل ۷-۱۲: تغییرات مس در شرق منطقه اکتشافی شماره یک در گمانه‌های حفر شده B6 و B7 (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶)

قنات هیرد (S4)، رحیمی (S5)، همت آباد (S8) و نوری (S9) که بیشترین میزان مس را دارند، با توجه به مسیر حرکت آبراهه‌ها در پایین دست نمونه‌های R6 (قنات هیرد و رحیمی) و R2 (قنات همت آباد و نوری) که مقدار مس بالایی (به ترتیب ۵۶/۸۵ و ۳۸/۳۲ گرم در تن) دارند، می‌باشند

(شکل ۷-۱۳). از طرفی افزایش غلظت مس در قنات‌های همت آباد و نوری را می‌توان به بالا بودن

غلظت مس در سنگ‌های عمقی مناطق اکتشافی نسبت داد.



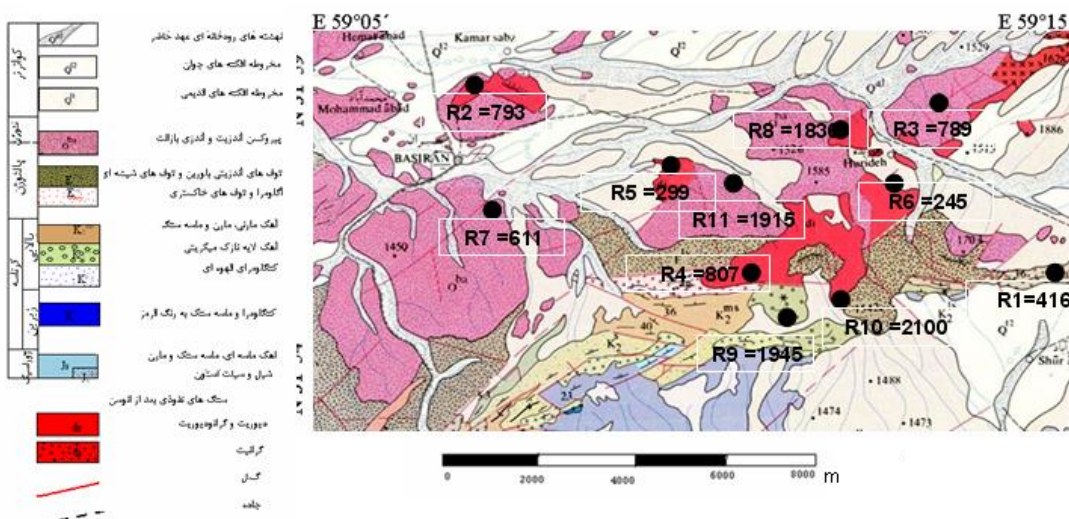
شکل ۷-۱۳: توزیع مس در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی

S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

۷-۴-۶- منگنز

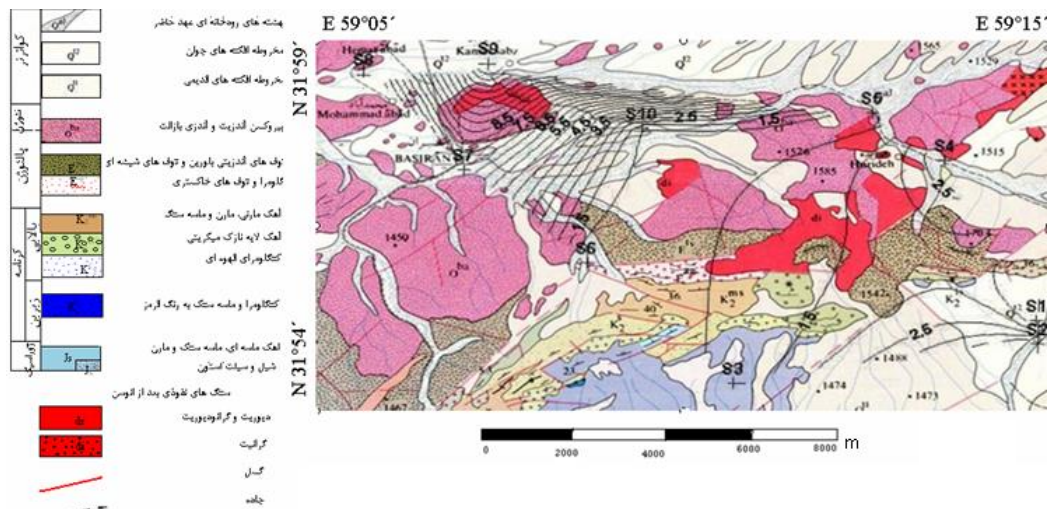
مقدار منگنز در بین نمونه‌های برداشت شده از سنگ‌ها بالا (بین ۲۹۹ تا ۲۱۰۰ گرم در تن) می‌باشد

(جدول ۷-۴) و در اطراف مناطق کانی‌سازی بیشترین مقدار می‌باشد (شکل ۷-۱۴).



شکل ۷-۱۴: مقادیر منگنز در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

منگنز در سطح به صورت اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز بر جا می ماند، بنابراین مقدار کمی از آن وارد آب های زیرزمینی می شود. بیشترین غلظت منگنز در آب، در شمال غرب منطقه یعنی قنات بصیران (S7) و قنات نوری (S9) که مسیر طولانی تری را می پیماید بیشتر می باشد (شکل ۷-۱۵).



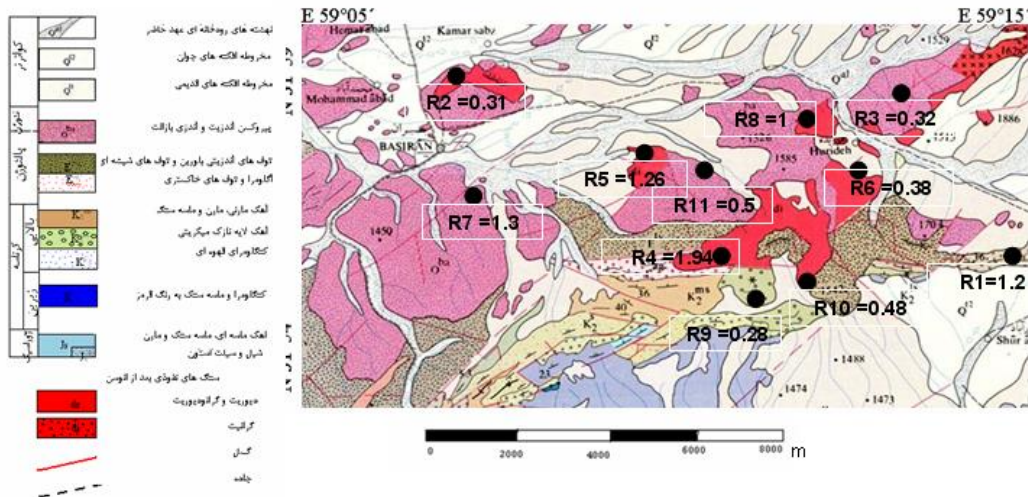
شکل ۷-۱۵: توزیع منگنز در آب های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین شناسی

S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه عزیزاده

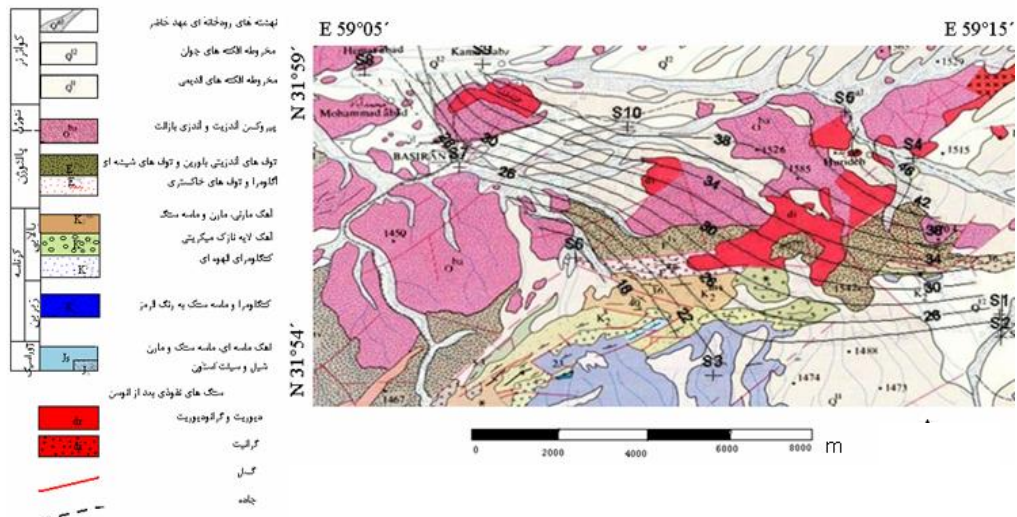
۷-۴-۷- مولیبدن

مولیبدن به صورت کانی مستقل نمود ظاهری ندارد، ولی می تواند با کانی های مس دار مثل کالکوپیریت همراه باشد. مقادیر مولیبدن در سنگ های سطحی منطقه نشان می دهد که بیشترین تمرکز مولیبدن در جنوب غربی مناطق کانی سازی می باشد (شکل ۷-۱۶).

مولیبدن معمولاً جذب سطحی شده و کمتر وارد آب می شود. غلظت مولیبدن در آب کم و تقریباً در منطقه به طور یکنواخت می باشد (شکل ۷-۱۷).



شکل ۷-۱۶: مقادیر مولیبدن در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران



شکل ۷-۱۷: توزیع مولیبدن در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران
 S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

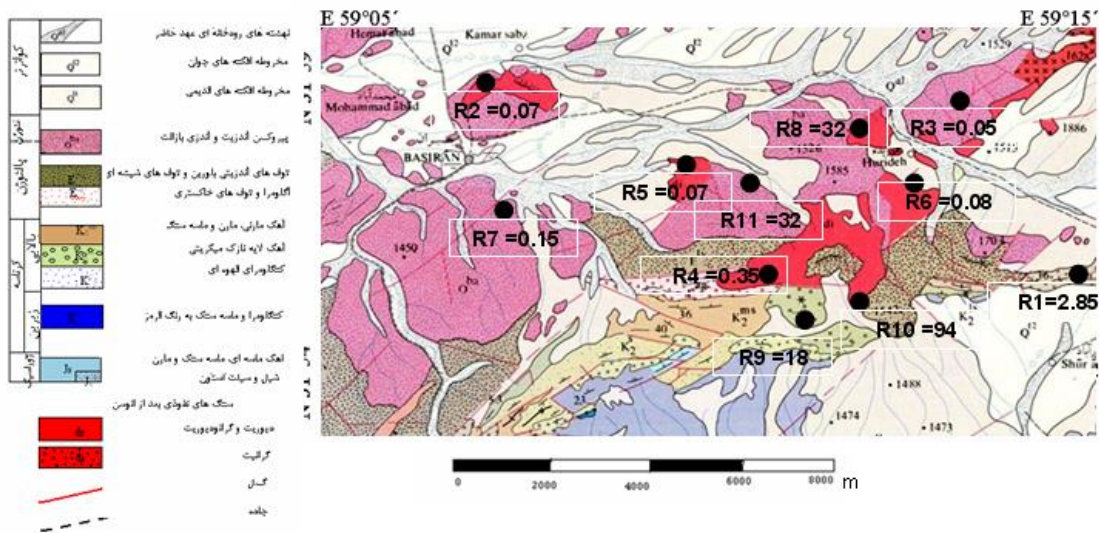
۷-۴-۸- آنتیموان

استیبینیت مهمترین کانی آنتیموان دار موجود در منطقه می‌باشد. مقادیر آنتیموان در سنگ‌های سطحی منطقه نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز آنتیموان در اطراف زون‌های کانی‌سازی بوده و به اطراف مخصوصاً در قسمت‌های شمالی آن میزان آن کاسته می‌شود (شکل ۷-۱۸).

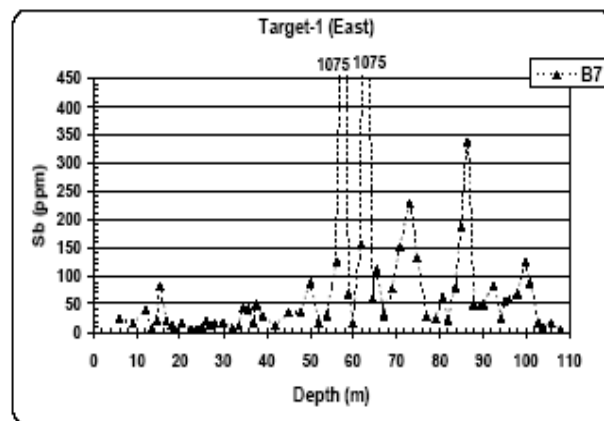
در گمانه حفر شده در شرق منطقه اکتشافی شماره یک آنتیموان، از عمق ۵۰ تا ۱۰۰ متری مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار آن در عمق ۵۶ تا ۵۸ و ۶۲ تا ۶۴ متری با مقدار ۱۰۷۵ گرم

در تن است (شکل ۷-۱۹). در منطقه اکتشافی شماره سه نیز مقدار این عنصر حداکثر ۹۱۰ گرم در تن می‌باشد (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶).

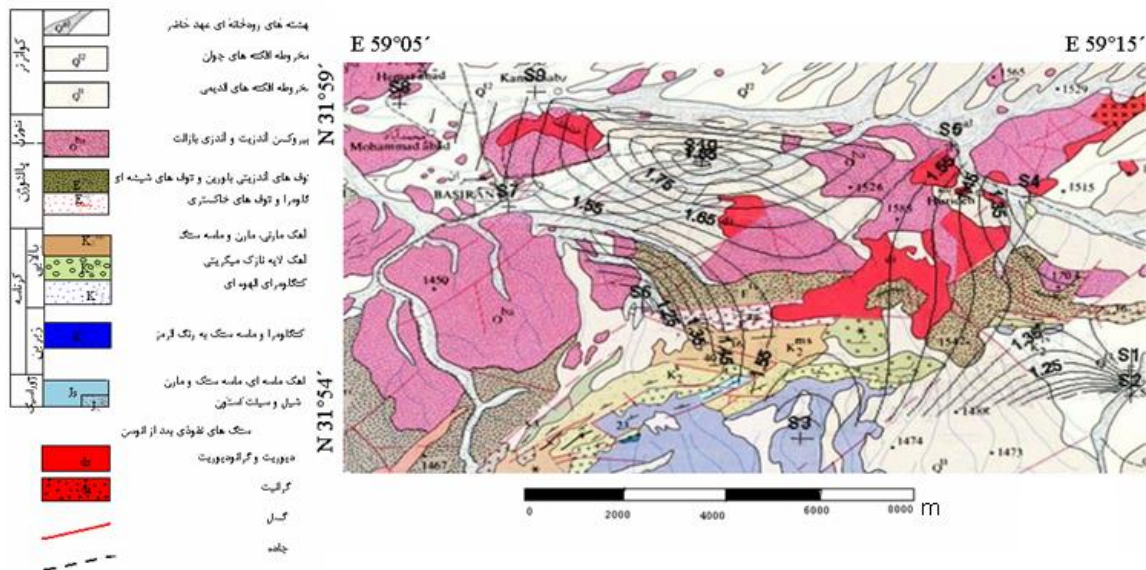
علی‌رغم وجود آنتیموان در نمونه‌های سطحی (جدول ۴-۷) و عمقی در منطقه (شکل ۷-۱۹)، به دلیل انحلال کم آنتیموان در آب‌های زیرزمینی (شکل ۳-۸) غلظت آن در نمونه‌های آبی بسیار پایین می‌باشد (جدول ۴-۷)، به طوری که غلظت آنتیموان در نمونه‌های آبی بین ۰/۷۱ تا ۱/۹۳ ppb در تغییر می‌باشد (شکل ۷-۲۰).



شکل ۷-۱۸: مقادیر آنتیموان در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران



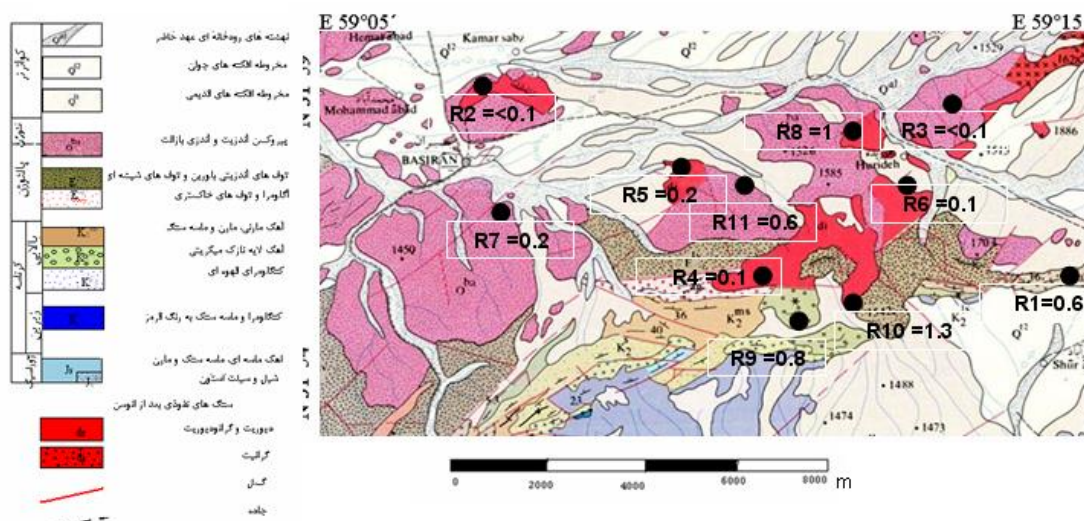
شکل ۷-۱۹: تغییرات آنتیموان در شرق منطقه اکتشافی یک در گمانه B7 (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶)



شکل ۷-۲۰: توزیع آنتیموان در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران
 S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابریکه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

۷-۴-۹- سلنیم

سلنیم معمولاً با کانی‌های سولفیدی و خصوصاً سولفیدهای آرسنیک همراه می‌باشد. تمرکز سلنیم در سنگ‌های منطقه، در قسمت‌های شمالی و مرکزی می‌باشد (شکل ۷-۲۱).

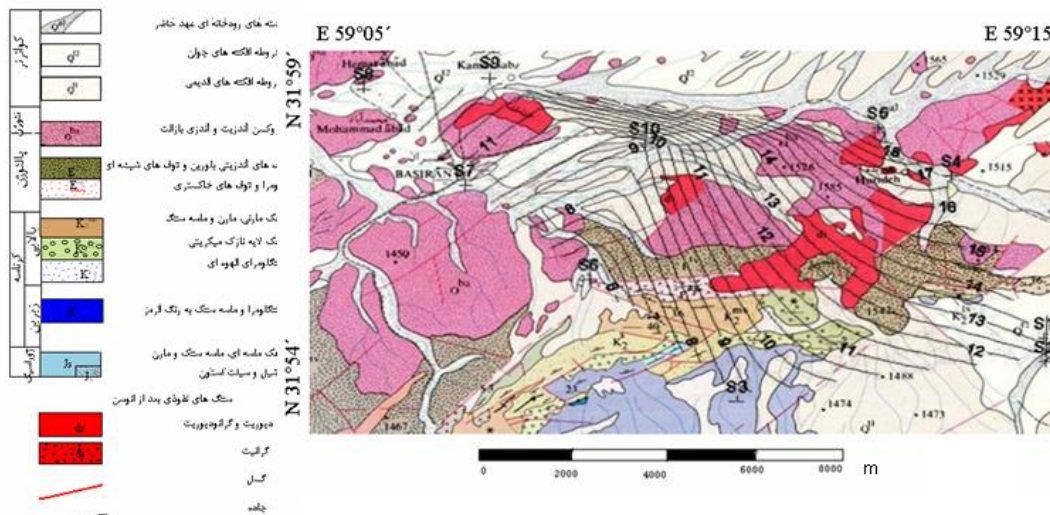


شکل ۷-۲۱: مقادیر سلنیم در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

سلنیم در آب‌های سطحی معمولاً به صورت محلول بوده و در صورت ورود به آب‌های زیرزمینی به میزان زیادی رسوب می‌نماید (شکل ۷-۳). غلظت سلنیم در آب در قسمت‌های شمالی افزایش می‌یابد

(شکل ۷-۲۲) که تقریباً با روند توزیع آن در سنگ‌ها مطابقت دارد. بالا بودن غلظت سلنیم در نمونه-

های سنگی R6 و R8 افزایش غلظت این عنصر را در منابع آبی ذکر شده توجیه می‌نماید.

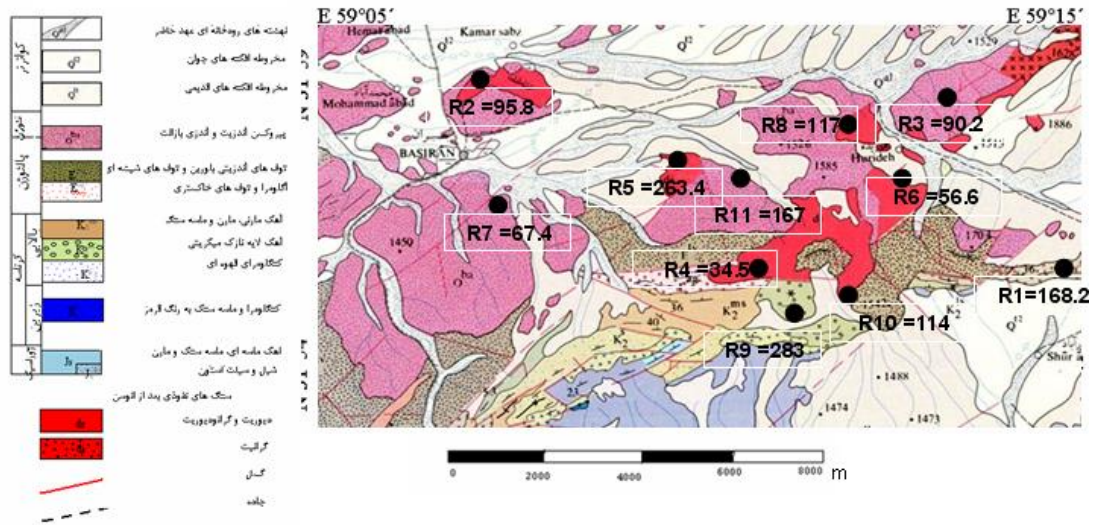


شکل ۷-۲۲: توزیع سلنیم در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی

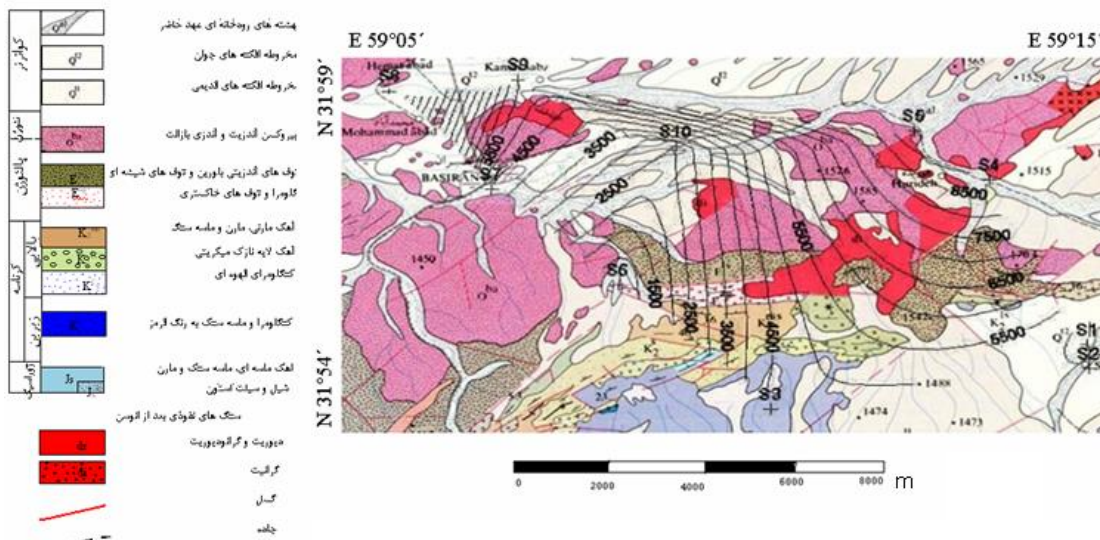
S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه علیزاده

۷-۴-۱۰- استرانسیم

استرانسیم معمولاً همراه با فلدسپات‌ها به ویژه پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های پتاسیک می‌باشد. روند توزیع مقادیر استرانسیم در سنگ و آب منطقه شبیه سلنیم می‌باشد. بالاترین غلظت آن در سنگ‌ها، در مرکز منطقه می‌باشد (شکل ۷-۲۳). از آن جایی که استرانسیم در آب قابل حل بوده، غلظت بالایی از استرانسیم در آب وجود دارد (جدول ۴-۵). غلظت استرانسیم در تمام نمونه‌ها بالا بوده و در شمال شرق و شمال غرب که سفره آب مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند، بالاترین میزان را دارد (شکل ۷-۲۴).



شکل ۷-۲۳: مقادیر استرانسیم در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

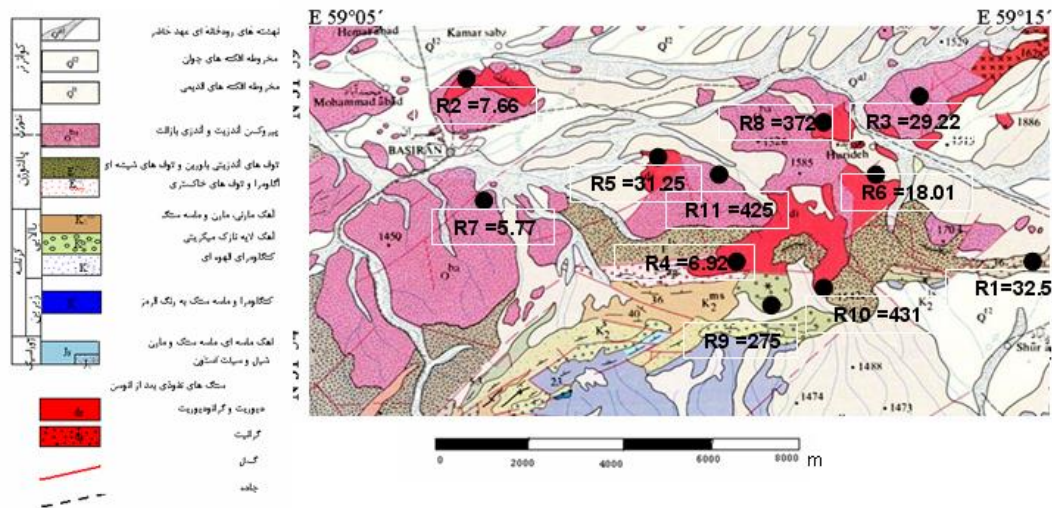


شکل ۷-۲۴: توزیع استرانسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران
 S1: قنات شورابه، S2: چاه گلچین، S3: چاه لکتو، S4: قنات هیرد، S5: قنات رحیمی، S6: چاه ابربخه، S7: قنات بصیران، S8: قنات همت آباد، S9: قنات نوری، S10: چاه عزیزاده

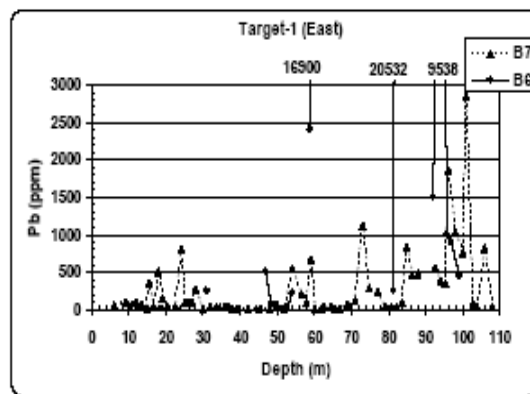
۷-۴-۱۱- سرب

تمرکز سرب در سنگ‌های سطحی منطقه، بیشتر در اطراف مناطق کانی‌سازی است و به اطراف خصوصاً شمال و غرب از مقدار آن در سنگ‌ها کاسته می‌شود (شکل ۷-۲۵). در گمانه‌های حفر شده شرق منطقه اکتشافی شماره یک، کمترین مقدار سرب در عمق ۱۰ تا ۵۰ متری و ناهنجاری‌های آن از عمق ۷۰ تا ۱۱۰ متری دیده می‌شود و غلظت آن به ۲۰۵۳ گرم در تن می‌رسد (شکل ۷-۲۶). در غرب منطقه اکتشافی شماره یک، مقدار سرب تا حدود ۷۰۰ گرم در تن

(عمق ۴۲ تا ۴۶ متری) می‌رسد. عمده ناهنجاری‌های سرب در منطقه اکتشافی شماره سه می‌باشد و تا عمق ۴۰ متری و تا ۱۰۰/۵ گرم در تن می‌رسد (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶). حلالیت کم سرب به سبب توانایی این عنصر، در تشکیل کربنات سرب است که به صورت غیر محلول در می‌آید.



شکل ۷-۲۵: مقادیر سرب در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

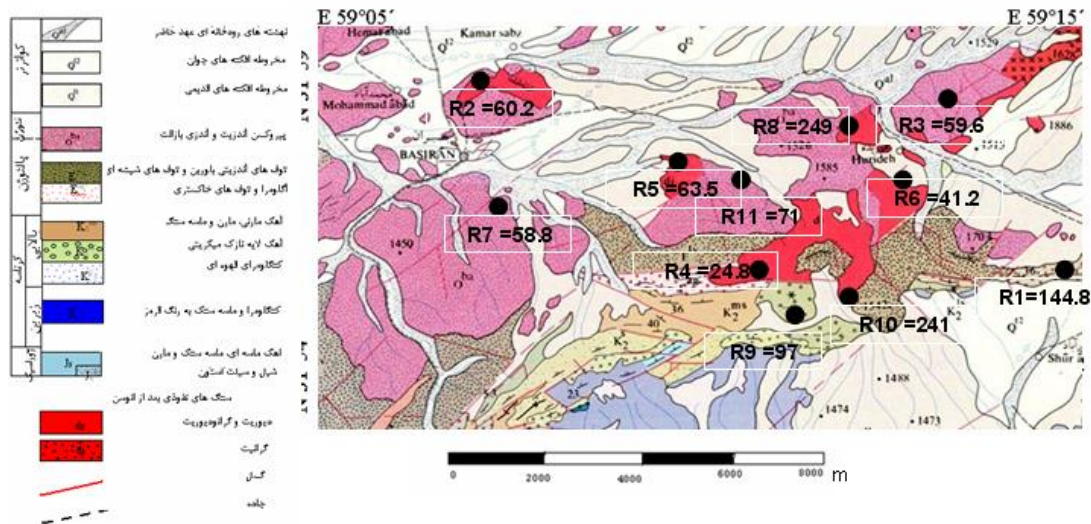


شکل ۷-۲۶: تغییرات سرب در شرق منطقه اکتشافی شماره یک B6 و B7 (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۶)

با توجه به مقدار سرب در سنگ‌های سطحی و عمقی منطقه، هوازگی سرب و ورود آن به آب‌های سطحی و زیرزمینی امری معلوم می‌باشد. اما مقدار سرب در تمام نمونه‌های آبی بسیار پایین می‌باشد (جدول ۴-۵). دلیل این امر وجود سنگ‌های آهکی و اسکارن‌ها (بخش ۲-۵ و ۲-۵-۴) در منطقه می‌باشد که باعث تشکیل کربنات سرب و رسوب‌گذاری و عدم حلالیت سرب در منابع آبی منطقه می‌شود.

۷-۴-۱۲- روی

اسفالریتم مهمترین کانی روی دار منطقه می باشد. مقدار روی در سنگ های سطحی، در اطراف مناطق کانی سازی بیشترین مقدار است و به اطراف از میزان آن کاسته می شود (شکل ۷-۲۷).

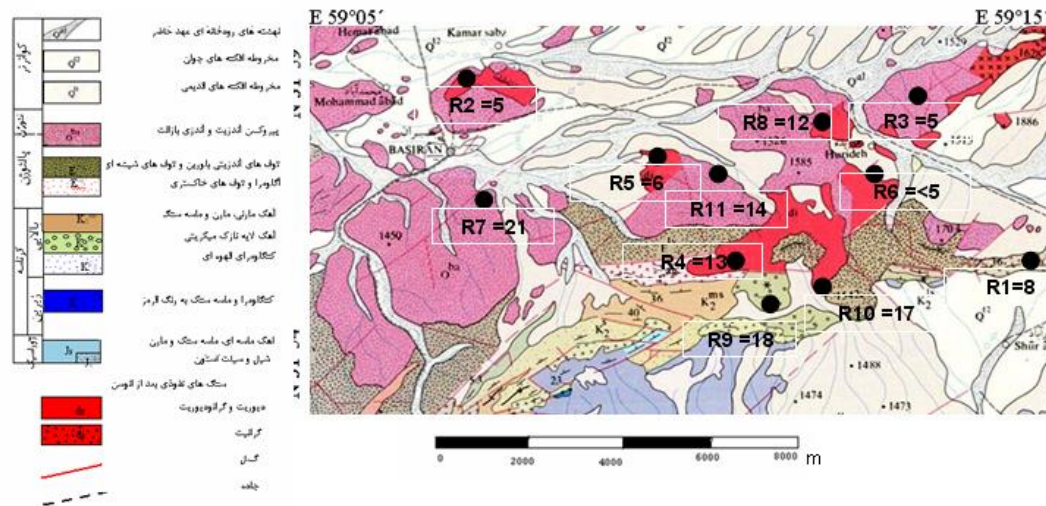


شکل ۷-۲۷: مقادیر روی در سنگ های منطقه بر روی نقشه زمین شناسی بصیران

در گمانه حفر شده در شرق منطقه اکتشافی شماره یک، ناهنجاری های روی با سرب هماهنگی داشته و در عمق ۷۰ تا ۱۱۰ متری بیشترین مقدار (۲۴۱۵۸ گرم در تن) است (شکل ۷-۲۸). در غرب منطقه اکتشافی یک، مقدار روی تا ۶۰۰ گرم در تن می رسد. مقدار روی در منطقه اکتشافی شماره ۳ به ۲۴۰ گرم در تن می رسد (کریم پور و همکاران ۱۳۸۶).

غلظت روی در آب های زیرزمینی منطقه به سمت شرق افزوده می شود (شکل ۷-۲۹). با توجه به حلالیت زیاد روی (شکل ۳-۱۲) و مقادیر بالای آن در سنگ های سطحی و عمقی، مقدار نسبتاً بالایی از روی در نمونه های آبی دیده می شود. می توان دلیل این امر را وجود نمونه های سنگی R1، R8 و R10 دانست که بیشترین مقدار روی (به ترتیب ۱۴۴/۸، ۲۴۹ و ۲۴۱ میلی گرم در لیتر) را در بین نمونه ها دارا می باشند و در شرق منطقه و در بالادست قنات ها و چاه های شرقی (قنات شورابه، هیرد و رحیمی) قرار دارند.

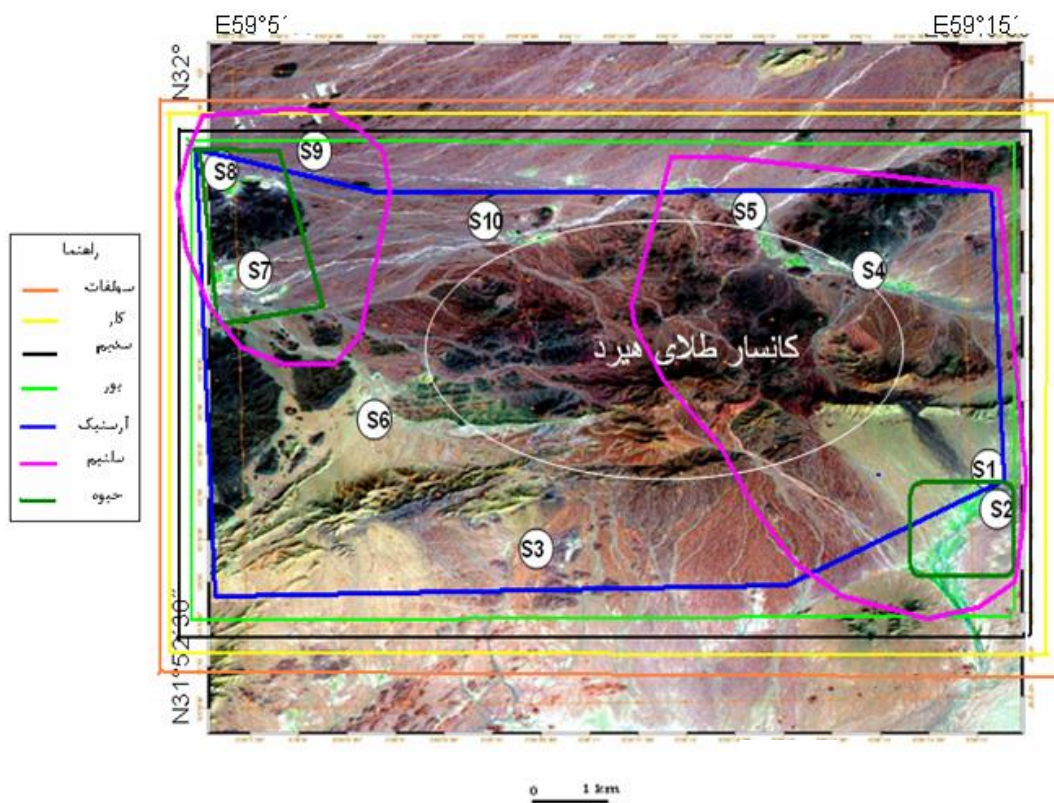
pH در نمونه‌های آبی منطقه (متوسط $pH=7/8$) که از محدوده قلیایی ضعیف می‌باشد، غلظت جیوه در این نمونه بسیار پایین می‌باشد (جدول ۴-۵).



شکل ۷-۳۰: مقادیر جیوه در سنگ‌های منطقه بر روی نقشه زمین‌شناسی بصیران

۷-۵- بررسی مناطق آلوده

با توجه به کلیه اطلاعات موجود از کیفیت منابع آبی زیرزمینی منطقه، مناطق با آلودگی بالا، بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه نشان داده شده است (شکل ۷-۳۱). غلظت سولفات، کلر، سدیم و بور در تمام نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. غلظت آرسنیک تقریباً در تمام منطقه بالا می‌باشد. سلنیم در قسمت‌های شرقی و گوشه شمال غربی بالاتر از حدود استاندارد می‌باشد. غلظت جیوه در دو نقطه شمال غربی و جنوب شرقی بالا می‌باشد. به طور کلی می‌توان بیان کرد که آب تمام قنات‌ها و چاه‌ها از نظر یک یا چند عنصر و پارامتر آلوده بوده و غیرقابل شرب برای انسان می‌باشد.



شکل ۷-۳۱: نمایش غلظت ترکیبات و عناصر بالاتر از حد استاندارد بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه

فصل هشتم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۸-۱- مقدمه

در این تحقیق سعی بر آن بوده که میزان تأثیرگذاری حضور کانسار طلای هیرد (جنوب بیرجند) بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. خصوصیات زمین‌شناسی منطقه معدنی هیرد بررسی گردید (فصل ۲). در این راستا مطالعات جامعی در زمینه تحقیقات گذشته، انجام پذیرفت (فصل ۳). نمونه‌برداری از سنگ و منابع آب زیرزمینی صورت گرفت (فصل ۴). با استفاده از نتایج بدست آمده، خصوصیات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه و توزیع عناصر در سنگ‌های منطقه (فصل ۵) مطالعه گردید. غلظت و نحوه توزیع پارامترهای فیزیکوشیمیایی و آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و عناصر و فلزات سنگین در آب ترسیم و سپس میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها در فصل خشک و تر مقایسه شد (فصل ۶) و در انتها، ارتباط آلودگی منابع آبی با توزیع عناصر در سنگ‌های منطقه (فصل ۷) مورد تجزیه و تحلیل واقع شد. در این بخش نتیجه‌گیری به دست آمده از بخش‌های مختلف این تحقیق، به طور خلاصه آمده است. در نهایت پیشنهادهای انجام تحقیقات آتی در منطقه مطرح شده است.

۸-۲- خصوصیات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه

خصوصیات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه در فصل ۵ بررسی گردید. مطالعه این بررسی‌ها نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیتی، گرانودیوریتی و دیوریتی با سن بعد از ائوسن در سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی نفوذ کرده و باعث اسکارنی شدن، متاسوماتیسم و در نهایت موجب کانه‌زایی طلا شده است (بخش ۵-۲-۲). مهمترین آلتراسیون‌های سطحی منطقه شامل: ۱- زون پروپلیتی ± سیلیسی ± سریسیتی، ۲- زون تورمالین- سریسیت، ۳- زون تورمالین- کلریت و ۴- زون کوارتز- تورمالین- سریسیت می‌باشد. مهمترین کانی‌ها در مناطق کانی‌سازی شامل، آرسنوپیریت ± پیریت ± پیروتیت ± کالکوپیریت ± اسفالریت ± گالن + تورمالین + کوارتز ± سریسیت ± کلسیت ± کلریت است (بخش ۵-۲ و ۵-۳). بررسی نتایج ژئوشیمیایی سطحی نشان می‌دهد که غلظت طلا در سنگ-

های منطقه بین ۰/۶ تا ۶/۸ ppb، آرسنیک بین ۲/۶ تا ۱۸۳۵ ppm، بور تا ۳۸ ppm، کروم ۴۷ تا ۱۵۶/۴ ppm، مس ۱۷ تا ۹۹/۵ ppm، جیوه تا ۲۱ ppb، منگنز ۲۹۹ تا ۲۱۰۰ ppm، مولیبدن ۰/۲۸ تا ۱/۹۴ ppm، سرب ۵/۷۷ تا ۴۳۱ ppm، گوگرد تا ۷۰ ppm، آنتیموان ۰/۵ تا ۹۴ ppm، سلنیم تا ۰/۶ ppm، استرانسیم ۳۴/۵ تا ۳۶۲/۴ ppm، روی ۴۲/۲ تا ۱۴۴/۸ ppm می‌رسد (بخش ۵-۵).

۸-۳- ضریب همبستگی بین پارامترهای مختلف در سنگ و آب

همبستگی بین عناصر مختلف در نمونه‌های سنگ (بخش ۵-۴) و بین عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های آب (بخش ۶-۲) محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی در سنگ، بین روی با طلا (۰/۹۰۲) و استرانسیم (۰/۹۱۲) وجود دارد (جدول ۵-۱). بیشترین میزان همبستگی در آب بین سدیم، سولفات، کلر، گوگرد، سلنیم، استرانسیم و بور دیده می‌شود (جدول ۶-۱). همبستگی بالای بین برخی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها نیز در واقع نشانه حضور نمک حاصل از پیوند این کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول می‌باشد. از جمله این نمک‌ها می‌توان به کلرید بور، کلرید استرانسیم، سولفات بور، سولفات مس و سولفات استرانسیم اشاره کرد.

۸-۴- پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب زیرزمینی منطقه

نتایج بدست آمده از تعیین pH، EC و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و سختی آب در بخش ۶-۲ مطالعه شده است. نتایج نشان داد که به علت هوازدگی کانی‌های سولفیدی معمولاً چاه‌های نزدیک به زون‌های کانی‌سازی (شرق منطقه)، همانند قنات رحیمی و هیرد، اسیدیته کمتر و آن‌هایی که دورتر هستند (غرب منطقه)، همانند قنات نوری و همت آباد، اسیدیته بالاتر دارند (شکل ۶-۲). غلظت سولفات، کلر و سدیم در همه نمونه‌ها بیشتر از حد استاندارد (WHO 1998) می‌باشد (شکل ۶-۳، ۶-۵ و ۶-۱۲). غلظت این املاح در شمال غرب و شمال شرق منطقه به دلیل مسافت طولانی سفره آب زیرزمینی و انحلال بیشتر املاح در آن، بیشتر می‌باشد (شکل ۶-۴، ۶-۶، ۶-۱۳).

مقدار کل املاح محلول، تا ۷۸۲۰ میلی گرم بر لیتر در قنات همت آباد می‌رسد. این غلظت‌ها بسیار فراتر از مقدار استاندارد (EPA 2006) می‌باشد (شکل ۶-۱۹).

سختی آب در چاه علیزاده ۱۳۵ میلی گرم بر لیتر بوده و جزء آب‌های سخت قرار می‌گیرد، اما بقیه نمونه‌های آب از نظر سختی در رده آب‌های بسیار سخت قرار می‌گیرند (شکل ۶-۲۲).

۸-۵- غلظت عناصر و فلزات سنگین در آب

با استناد به نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری غلظت عناصر، تغییرات غلظت هر یک از عناصر در منطقه و مقایسه آن با میزان استاندارد، به طور جداگانه مورد مطالعه قرار گرفت و توزیع هر کدام از فلزات با استفاده از نرم افزارهای Office (Excel) و Surfer در بخش ۶-۲-۵ نمایش داده شد. نتایج نشان داد که غلظت طلا در تمام نمونه‌های آبی پایین می‌باشد (جدول ۴-۲). غلظت آرسنیک تنها در چاه گلچین و قنات نوری کمتر از میزان استاندارد (WHO 2006) بوده و در بقیه نمونه‌ها بیشتر از حد استاندارد است (شکل ۶-۲۳). غلظت آرسنیک در آب از شمال به جنوب به دلیل افزایش آرسنیک در سنگ‌ها زیاد می‌گردد (شکل ۶-۲۴). مقدار بور در همه نمونه‌ها از میزان استاندارد (WHO 2006) بسیار فراتر می‌باشد (شکل ۶-۲۵). به دلیل محلول ماندن بور در شرایط مختلف و گستردگی بیشتر آلتراسیون تورمالینی در شمال شرق و قسمت‌های شمال غرب که مسافت طولانی‌تری را از محل‌های کانی‌سازی طی کرده‌اند بیشتر است (شکل ۶-۲۶). غلظت کروم و مس در همه نمونه‌ها بسیار پایین‌تر از حد استاندارد (WHO 2006) می‌باشد (شکل ۶-۲۷ و ۶-۲۹) و در قسمت‌های شمال غرب و شمال شرق منطقه بیشتر است (شکل ۶-۲۸ و ۶-۳۰). غلظت منگنز در همه نمونه‌ها با مقدار استاندارد (WHO 2006) فاصله بسیاری را نشان می‌دهد (شکل ۶-۳۱). به سمت شمال غرب بر مقدار منگنز در آب افزوده می‌گردد (شکل ۶-۳۲). غلظت مولیبدن نیز در همه نمونه‌ها از مقدار استاندارد (WHO 1998) کمتر می‌باشد (شکل ۶-۳۳). غلظت مولیبدن در قسمت‌های شمال و شمال شرق بیشتر می‌باشد (شکل ۶-۳۴). غلظت آنتیموان در همه نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد می‌باشد

(WHO 2006) (شکل ۶-۳۷) و در قسمت های مرکزی افزایش می یابد (شکل ۶-۳۸). مقدار سلنیم در چاه های ابریخه، لکتو و علیزاده کمتر از میزان استاندارد (WHO 2006) بوده و در نمونه های دیگر بیش از حد استاندارد می باشد (شکل ۶-۳۹). غلظت سلنیم در آب در قسمت های شمالی افزایش می-یابد (شکل ۶-۴۰). غلظت استرانسیم در همه نمونه ها بالا است. این غلظت از ۴۱۴ میکروگرم بر لیتر در چاه ابریخه تا ۱۳/۵۳ میلی گرم بر لیتر در قنات همت آباد می رسد (شکل ۶-۴۱). غلظت استرانسیم در شمال غرب و شمال شرق منطقه بالا می باشد (شکل ۶-۴۲). سرب به سبب توانایی، در تماس با کربنات های منطقه (بخش ۵-۲-۴) ترکیبات نامحلول را ایجاد می کند، بنابراین مقدار سرب در نمونه های آبی بسیار پایین می باشد (جدول ۴-۵). غلظت روی در همه نمونه ها کمتر از حد استاندارد (WHO 1998) می باشد (شکل ۶-۴۳). غلظت روی در قسمت شرق منطقه که در جهت مسیر حرکت آب شستشوکننده زون های کانی سازی می باشد، بالاتر از دیگر قسمت ها است (شکل ۶-۴۴). غلظت جیوه در هر سه نمونه از مقدار استاندارد (WHO 1998) بیشتر می باشد. غلظت جیوه در بقیه نمونه ها بسیار کم می باشد (شکل ۶-۴۵).

۸-۶- نوع و تیپ آب در منابع آب زیرزمینی منطقه

تمامی نمونه ها، جزء آب های شور قرار گرفته (شکل ۶-۴۶) و تیپ همه آن ها سولفات-سدیک می باشد (شکل ۶-۴۷).

۸-۷- مقایسه کیفیت منابع آب در فصول خشک و تر

در آب تمام قنات ها و چاه ها معمولاً یک روند مشخص در افزایش یا کاهش آنیون ها و کاتیون ها و عناصر در پایان دو فصل خشک و تر دیده می شود. از بین آنیون ها و کاتیون های اصلی، غلظت

سولفات، بی‌کربنات، کلر و سدیم و از عناصر غلظت آرسنیک، بور، کروم، مولیبدن، گوگرد، سلنیم و استرانسیم در پایان فصل تر نسبت به خشک کاهش و غلظت منیزیم، کلسیم، منگنز، آنتیموان و روی در پایان فصل تر نسبت به خشک افزایش نشان می‌دهند. افزایش مقدار آب و انجام پدیده رقیق‌سازی را می‌توان دلیل اصلی برای کاهش غلظت عناصری با پتانسیل یونی پایین در پایان فصل تر نسبت به خشک دانست. در واقع مکانسیم‌های تأثیرگذار در جذب و واجذب عناصر و کیفیت آب در تماس با خاک و سنگ، تعیین‌کننده نحوه کاهش و یا افزایش عناصر در آب‌های منطقه می‌باشد.

۸-۸- ارتباط غلظت عناصر در آب با سنگ‌های منطقه

روند توزیع عناصر در سنگ و آب منطقه با استفاده از نرم افزار Global mapper بر روی نقشه زمین‌شناسی ترسیم گردید و روابط مابین عناصر با در آب و سنگ تفسیر گردید (فصل ۷). نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم مقدار بالای طلا در سنگ‌های منطقه (شکل ۷-۲)، به دلیل غیر محلول بودن آن در آب، غلظت طلا در آب کم می‌باشد (جدول ۴-۵). وجود مقادیر بالای آرسنیک در سنگ‌های سطحی و عمقی (شکل ۷-۵ و ۷-۶) و حلالیت بالای آن در آب‌های زیرزمینی (شکل ۳-۲) تأیید-کننده غلظت بالای آرسنیک در آب می‌باشد (جدول ۴-۵ و ۴-۶). وجود تورمالین (شکل ۵-۹) و آلتراسیون‌های تورمالینی (بخش ۵-۲-۱-۳) عامل افزایش بور در سنگ‌های منطقه می‌باشد (جدول ۴-۷). تمرکز سلنیم در سنگ‌های منطقه، در قسمت‌های شمالی و مرکزی می‌باشد (شکل ۷-۲۲). غلظت سلنیم در آب در قسمت‌های شمالی افزایش می‌یابد (شکل ۷-۲۳) که تقریباً با روند میزان آن در سنگ‌ها مطابقت دارد (شکل ۷-۲۲).

از آن جایی که استرانسیم در آب قابل حل بوده، غلظت بالایی از استرانسیم در آب وجود دارد (جدول ۴-۵). عامل pH بر روی تحرک و یا پایداری عنصر جیوه تأثیرگذار می‌باشد و در pH‌های خنثی تا قلیایی تحرک کمتر شده و عنصر به حالت پایدار در می‌آید (شکل ۳-۱۳)، بنابراین غلظت جیوه در بیشتر نمونه‌های آبی بسیار پایین می‌باشد (جدول ۴-۵).

۸-۹- بررسی مناطق آلوده

در نهایت مناطق با آلودگی بالا در منابع آبی در منطقه مورد مطالعه، بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه نشان داده شده است (شکل ۷-۳۲). غلظت سولفات، کلر، سدیم و بور در تمام نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. غلظت آرسنیک تقریباً در تمام منطقه بالا می‌باشد. سلنیم در قسمت‌های شرقی و گوشه شمال غربی بالاتر از حدود استاندارد می‌باشد. غلظت جیوه در دو نقطه شمال غربی و جنوب شرقی بالا می‌باشد. بنابراین آب تمام قنات‌ها و چاه‌ها غیرقابل شرب برای انسان می‌باشد.

۸-۱۰- پیشنهادها

در راستای تکمیل مطالعات در منطقه پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- نمونه‌برداری از گیاهان منطقه و تعیین گیاهان با خصوصیت جمع‌کنندگی عناصر مختلف.
- ۲- بررسی تأثیر افزایش غلظت عناصر بر سلامتی در منطقه.
- ۳- برآورد ریسک خطر آلودگی در منابع آبی در صورت استخراج و فرآوری طلا در منطقه.
- ۴- مکان‌یابی جهت تعیین محل صحیح کارخانه فرآوری.

منابع:

- آقاباتی ع، (۱۳۸۴)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران. ص ۵۸۳.
- احمدیان م. (۱۳۷۵)، "جغرافیای شهرستان بیرجند"، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۳۴۵.

اشراقی ح، (۱۳۸۴)، "مطالعه سیالات درگیر در رخداد طلای هیرد: نمونه ای از ذخایر طلای مرتبط با نفوذی های گرانیتوئیدی احيائي"، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران.

امیری ع، (۱۳۸۶)، "بررسی اثرات زیست محیطی معادن متروک"، اولین همایش زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی، تهران.

بصیری م ح، نبی یان جوردی ف، (۱۳۸۷)، "بررسی مزیت نسبی معادن در حال بهره برداری طلای ایران با استفاده از روش هزینه منابع داخلی"، **مجله علوم زمین**، شماره ۵۷، ص ۲-۱۵.

چراتی ع، علیزاده غ، جعفرزاده ا، عباس زاده ف، خانلریان م، (۱۳۸۶)، "بررسی نقش مولیبدن و سیلیسیم در افزایش عملکرد بهبود کیفیت گندم"، اولین کنگره علوم خاک ایران، ص ۴۰۳، کرج.

رفیعی ب، بختیاری نژاد م، خدائی الف، (۱۳۸۷)، "ارزیابی غلظت جیوه در خاک های محدوده طلای داشکن، قروه، استان کردستان"، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۴۲۰، اهواز.

روحانی ع، (۱۳۸۷)، عکس هوایی منطقه معدنی هیرد"، سازمان زمین شناسی کشور.

زارع نقدهی م، حیدری شکری ب، جمشاسب ف، (۱۳۸۶)، "بررسی بیماری های مرتبط با انتشار آلودگی های حاصل از منابع معدنی"، اولین کنفرانس زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی، تهران.

سازمان آب منطقه ای خراسان جنوبی، (۱۳۸۷)، "گزارش مطالعات آب های زیرزمینی".

سحابی ف، ۱۳۸۵، "ژئوشیمی زیست محیطی"، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۱۵.

شعبانیان غ. رقیمی م، یخشکی الف، (۱۳۸۴) "هیدروژئوشیمی آب های زیرزمینی در دشت گرگان: راهکارهایی برای حساسیت سنجی آلودگی آب های زیرزمینی"، **مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی**، شماره سیزدهم، دوره چهارم، ص ۱۴-۲۸.

شهاب پور ج، (۱۳۸۵)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص ۴۸۵.

طلایی ر، پیروان ح، (۱۳۸۵)، "بررسی اثرات زیست محیطی آنتیموان در مناطق مینرالیزه شمال مشکین شهر"، اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، ص ۱۴۴۷-۱۴۵۳، تهران.

عسکری ع، صفری م، (۱۳۸۲)، "طرح اکتشافات مواد معدنی جنوب خراسان، گزارش نقشه زمین شناسی معدنی ۱:۲۰۰۰۰ ناحیه امید بخش معدنی طلای هیرد (شمال غرب نهبندان)"، سازمان زمین شناسی کشور، ص ۲۲۰.

علی محمدی م، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "کانی شناسی، ژئوشیمی، دورسنجی و ژنز کانسار طلای هیرد"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

علیزاده الف، (۱۳۸۱)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۳۴۵.

کریم پور م ح، سعادت س، (۱۳۸۴)، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۵۵۳.

کریم پور م، ملک زاده شفاوردی الف، حیدریان م، عسکری ع، (۱۳۸۶)، "کانی سازی، دگرسانی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی طلا- قلع هیرد، استان خراسان جنوبی"، **مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران**، شماره ۱، ص ۶۷-۹۰.

کشاورزی ب، مرف، اسماعیلی ع، جمشیدیان م، (۱۳۸۷)، "بررسی اثرات زیست محیطی ناشی از کانه زایی و معدنکاری طلا بر منابع آب و رسوبات منطقه موته، اصفهان"، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۴۶۳، اهواز.

لیاقت الف، (۱۳۸۷)، "بررسی خشکسالی و ترسالی و پیش بینی تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل های آماری"، **مجله علوم جغرافیا**، شماره ۱۴، ص ۵۴-۶۳.

لیاقت ع، (۱۳۷۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه الیکا در رابطه با اثرات زیست محیطی فعالیت های معدنی در ناحیه معدن در ناحیه معدن سرب و باریت دونا در البرز مرکزی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت معلم تهران.

محمدی م، سمائی م، (۱۳۸۴)، "بررسی میزان عناصر سرب و کادمیوم در آب، رسوبات معلق و بافت ماهیچه ای ماهی در رودخانه قره چای"، **مجله علوم دریایی**، شماره ۳ و ۴، دوره ۴، ص ۵۳-۵۸.

مرف، شرفی ع، (۱۳۷۳)، ترجمه، "اصول ژئوشیمی"، مرکز نشر دانشگاه شیراز، ص ۴۳۵.

مرکز آمار ایران، (۱۳۸۷)، استان خراسان جنوبی، بیرجند.

مقصودی ع، رحمانی م، رشیدی ب، (۱۳۸۴)، "کانسارها و نشانه های معدنی طلا در ایران"، نشر تهران، ص ۳۴۶.

مهاجری الف، (۱۳۸۴)، "بررسی رفتار و نحوه انتشار سیانور و فلزات سنگین در آب های زیرزمینی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده عمران.

مهدوی م، (۱۳۷۲) "بررسی و شناخت جغرافیای منابع آبی روستاهای ایران"، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۲۴۶ صفحه.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۷)، استاندارد ۱۰۵۳ آب آشامیدنی ایران.

میر احمدی ح، صفری سنجانی ع الف، (۱۳۸۶)، "آلودگی خاک به سرب و روند کاهش آن در برخی از خاک های گیلان"، دومین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۵۳۲-۱۵۳۳، کرج.

هزاره م، امیدوار م، (۱۳۸۱)، "هیرد ارمغانی طلایی از جنوب خراسان"، بیستمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

- Armah Y., Nyarko B. J. B., Dampare S. B., Adomak D., (2006), "Levels of Arsenic and Antimony in Water and Sediment from Prestea, A Gold Mining Town in Ghana and its Environments", **Water, Air, and Soil Pollution**, Vol 175: 181-192.
- Aykol A., Budakoglu M., Kumral M., Gultekin A. H., Turhan M., Esenli V., Yavuz F., Orgun Y., (2003), "Heavy metal pollution and acid drainage from the abandoned Balya Pb-Zn sulfide Mine, NW Anatolia, Turkey", **Environmental Geology**, Vol. 45: 198-208.
- Barkouch Y., Sedki A., Pineau A., (2007), "A New Approach for Understanding Lead Transfer in Agricultural Soil", **Water, Air, and Soil Pollution**, Vol 178: 125-138.
- Camp V.E., Griffis R.J., (1982), "Character, genesis and tectonic setting of igneous rock in the Sistan Suture Zone eastern Iran, Lithos", **Applied Geochemistry**, Vol 9: 230-255.
- Dongarra G., Manno E., Sabatino G., Varrica D., (2009), "Geochemical characteristics of waters in mineralised area of Peloritani Mountains (Sicily, Italy)", **Applied Geochemistry**, Vol 24: 900–914.
- Earman S., Hershey R. L., (2004), "Water quality impacts from waste rock at a Carlin-type gold mine, Elko County, Nevada", **Environmental Geology**, Vol 46: 1043-1053.
- Environmental Protection Agency (EPA), (1997, 2006), "Notional interim primary drinking water regulations".
- Florea R. M., Stoica A I., Baiulescu G. E., Capota P., (2005), "Water pollution in gold mining industry: a case study in Rosia Montana district, Romania", **Environmental Geology**, Vol 48: 1132-1136.
- Garellick H., Dybowska A., Jones E., Priest N. D., (2005), "Remediation Technologies for Arsenic Contaminated Drinking Waters", **Soils and Sediments**, Vol 5(3): 182– 190.
- Hakkou R., Benzaazoua M., Bussiere B., (2008), "Acid Mine Drainage at the Abandoned Kettara Mine, Mine Waste Geochemical Behavior", **Mine Water and the Environment**, Vol 27: 160-170.
- Hong C. O., Lee D. K., Chung D. Y., Kim P. J., (2007), "Liming Effects on Cadmium Stabilization in Upland Soil Affected by Gold Mining Activity", **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, Vol 35: 231-248.
- Hossain F., Hill J., (2007), "Geostatistically based management of arsenic contaminated ground water in shallow wells of Bangladesh", **Water Resour Management**. Vol 21:1245–1261.
- Jadhav S. H., Sarkar S. N., Ram G. C., Tripathi H. C., (2007), "Immunosuppressive Effect of Subchronic Exposure to a Mixture of Eight Heavy Metals, Found as Groundwater Contaminants in Different Areas of India, Through Drinking Water in Male Rats", **Environmental Contamination and Toxicology**, Vol 35: 177-191.

Jahan K., Mosto P., Mattsone C., Frey E., DerchaK L., (2006), "Microbial removal of Arsenic", **Water, Air, and Soil Pollution**, Vol 6: 71–82.

Jung H., Yun S., Mayer B., Kim S., Park S., Lee P., (2005), "Transport and sediment–water partitioning of trace metals in acid mine drainage: an example from the abandoned Kwangyang Au–Ag mine area, South Korea", **Environmental Geology**, Vol 47: 278-292.

Kasoyiannis I. A., Kasoyiannis A. A., (2006), "Arsenic and other metal contamination of groundwater in the industrial area of Thessaloniki", **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol 123: 393–406.

Kelepertsis A., Alexakis D., Skordas K., (2006), "Arsenic, antimony and other toxic elements in the drinking water of Eastern Thessaly in Greece and its possible effects on human health", **Environmental Geology**, Vol 50: 76–84.

Kortatsi B. K., Tay Collins K., Anornu G., Hayford E., Dartey G. A., (2007), "Hydrogeochemical evaluation of groundwater ", **Environmental Geology**, Vol 53: 1651-1662.

Kuma J. S. (2003) "Is groundwater in the Tarkwa gold mining district of Ghana potable?", **Environmental Geology**, Vol 41: 1265-1274.

Kuma J. S. (2006), "Hydrogeological studies on the Tarkwa gold mining district, Ghana", **Geotechnical and Geological Engineering**, 24: 1545–1559.

Kuma J. S., Younger P. L., (2004), "Water quality trends in the Tarkwa gold-mining district, Ghana, Bulletin of Engineering Geology and the Environment", **Journal of Geochemical Exploration**, Vol 75: 119-132.

Land M., Thunberg J., Ohlander B. (2002), "Trace metal occurrence in a mineralised and a non-mineralised spodosol in northern Sweden", **Journal of Geochemical Exploration**, Vol 63:71–91.

Lawrence R. W., Higgs S. A. T. W., (2007), "Removing and stabilizing as in acid mine water", **Metals and Materials Society**, Vol 51: 27-29.

Leake R. C., Chapman R. J., Bland D. J., Stone P., Cameron D. G., Styles M. T. (1998), "The origin of alluvial gold in the Leadhills area of Scotland:evidence from interpretation of internal chemical characteristics", **Journal of Geochemical Exploration**, Vol 53 :7–36

Lee C. H., (2003), "Assessment of contamination load on water, soil and sediment affected by the Kongjujeil mine drainage, Republic of Korea", **Environmental Geology**, Vol 44:501–515.

Mahlknecht J., Steinich B., Navarro I., (2004), "Groundwater chemistry and mass transfers in the Independence aquifer, central Mexico, by using multivariate statistics and mass-balance models", **Environmental Geology**, Vol 45: 781-795.

Mendoza J. A., Barmen G., (2007), "Assessment of groundwater vulnerability in the Rio Artiguas basin, Nicaragua", **Environmental Geology**, Vol 50: 569-580.

Nordstrom D. K., (2008), "What was the groundwater quality before mining in a mineralized region?", **Geosciences Journal**, Vol 12: 139-149.

Pandey P.K., Sharma R., Roy M., Roy S., Pandey M. (2006), "Arsenic contamination in the Kanker district of central-east India: geology and health effects", **Environmental Geochemistry and Health**, Vol 28:409–420.

Patel K.S., Shrivastava K., Hoffmann P., Jakubowski N., (2006), "A survey of lead pollution in Chhattisgarh State, central India", **Environmental Geochemistry and Health**, Vol 28:11–17.

Rao S. S. M., Reddy V., (2006), "Characterization of Kolar gold field mine tailings for cyanide and acid drainage", **Geotechnical and Geological Engineering**, Vol 24: 1545–1559.

Sanchez A., Contreras F., Adams M., Santos F., (2006), "Atmospheric mercury emissions from polluted gold mining areas (Venezuela)", **Environmental Geochemistry and Health**, Vol 28: 529-540.

Silva F. O. F. D., Zhang C., Pinto L. S., Patinha C., Reis P., (2004), "Hazard assessment on arsenic and lead in soils of Castromil gold mining area, Portugal", **Geochemistry Applied**, Vol 19(6): 887-898.

Smedley P.L., Knudsen J., Maiga D., (2007), "Arsenic in groundwater from mineralised Proterozoic basement rocks of Burkina Faso", **Applied Geochemistry**, Vol 22: 1074–1090.

Takeno N., (2005), "Atlas of Eh-pH diagram", Geological survey of Japan open file report, N 419.

Taylor J., Tang Z., Xiao W., Hong S. W., (2006), "Monitoring of distribution water qualities under various source water blending", **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol 117: 59–71.

Terlecka E., (2005), "Arsenic speciation analysis in water samples: A review of the Hyphenated Techniques", **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol 107: 259–284.

Thompson J. F. H., Newberry R. J., (2000), "Gold deposits Related to Reduced granitic intrusion, SEG Reviews", **Mineralium Deposita**, Vol 111: 377-400.

Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K., (1999), "Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces", **Mineralium Deposita**, Vol 110: 323-334.

Tirrul R., Bell I. R., Griffis R J., Camp V. E., (1983), "The Sistan Suture Zone of eastern Iran, Geological Soc. of Amer. Bull", **Mineralium Deposita**, Vol 94: 134- 150.

Todd, D. K., (2005), "**Groundwater Hydrology**", NewYork, 535 pp.

Villaescusa J. I., Bollinger C., (2008), "Arsenic in drinking water: sources, occurrence and health effects", **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol 7:307-323.

Wilson k. (2004), "Antimony distribution and environmental mobility at an historic antimony smelter site, New Zealand", **Environmental Pollution**, Vol 129(2): 257-266.

Woolee S., Taelee B., Yongkim J., Woongkim K., lee J. S., (2006), "Human risk assessment for heavy metals and as contamination in the Abandoned metal mine areas, korea", **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol 119: 233–244.

World Health Organization (WHO), (1998, 2006), "drinking-water standard".

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of gold mineralization on the quality of the groundwater in Hired Gold Mine Zone. The region (almost 128 km²) is located in south of Birjand, Southern Khorasan province. The average annual air temperature is 16.4 degree of centigrade and average annual rainfall in this region is 171.5 mm and the area is in the arid climate. Geology of area is included Jurassic sedimentary rocks, Cretaceous, Paleosen and volcanic rocks which composed Andezit-Dasit with age of Eosen. Moderate acidic Granotoeidic bodies Type-I included Diorit, Grano-Diorit and Granit with age of Oligosen are intruded to this section. Mineralization of Au, Sb and As is caused by hydrothermal flows which involved silicic vein. The mineral veins are the most important sources of pollution by heavy metals as well as the cause of distribution of elements and heavy metals in the area. The main mineralization zone is located in the northern slope of Siah-Kamar Mountain (center of region). For sampling, the position of wells and qanats were determined by field investigations. In order to measure the physico-chemical parameters including the important anions and cations and the concentration of elements and heavy metals, the water samples were analyzed through the standard methods and ICP-MS techniques. To investigate the relationship between the lithology and the groundwater quality in the area, the rock samples were collected. 19 thin sections and 7 polished sections were prepared and studied by polarizing microscope. Some rock samples were analyzed by ICP-MS techniques. The results showed that the concentration of gold was 0.6 to 6.8 ppb, arsenic 2.6 to 1835 ppm, bore 38 ppm, mercury 21 ppb, sulfur 70 ppm, selenium 0.6 ppm and strontium 34.5 to 362.4 ppm and reaches the maximum concentrations in the vicinity of the mineralization area. Concentration of chloride, sulfate and sodium in all of water samples were higher than the standard values. In the water samples, the concentrations of arsenic was 1426 ppb, bore 2778 ppb, sulfur 349 ppb, selenium 19.4 ppb, strontium 13.53 ppm and mercury 1.5 ppb. At the end of the wet season, concentrations of Cl, SO₄, Na, As, B, Cr, Mo, S, Se and Sr decreased while the concentrations of Mg, Ca, Mn, Sb and Zn were increased. High correlation in water samples between Cu with S, Na with Sr, SO₄ with B and Mg with SO₄ indicate a similar geochemical behavior of these elements. Offsetting the distribution of elements in iso-concentration maps of water and rocks on the geological map of the region, mineralogical studies which confirm the presence of arsenopyrit, pyrite and tourmaline in the area, and variety of alterations in the region, indicate the effects of racks and minerals on groundwater quality. In overall, the water resources in the area are contaminated by Cl, SO₄, Na, As, B, Se and Hg and are not suitable for drink.

Key words: Hired gold mineral region, groundwater, contamination, heavy metals, lithology.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

**Investigation on heavy metals concentration in the
groundwater in Hired gold exploration zone and it's
relation with lithology of the region**

by

Elham Damshenas

Supervisors:

Dr. B. Dahrazma

Dr. M. Sadeghian

Advisor:

A. Askari

April 2010