



دانشکده علوم زمین

گروه آب شناسی و زمین شناسی زیست محیطی

آلودگی آبهای زیرزمینی در دشت مختاران  
(بخش شمالی کوه شاه - جنوب بیرجند) بر پایه اطلاعات ژئوشیمی منطقه

نگارش

غلامرضا ثوابی

استاد راهنما

دکتر بهناز دهرآزما

استاد مشاور

دکتر خسرو ابراهیمی نصر آبادی

پایان نامه تحصیلی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ماه ۱۳۸۹



تقدیم بہ  
دو کوہِ نابِ زندگی رام

پررم و مادرم

بہ پاسِ بخش کو چکی از زحمتِ تاش



## تشکر و قدردانی

خداوند را شاکرم که لطف و کرمش بار دیگر شامل اینجانب شد و استطاعت دوباره‌ای داد تا قدمی کوچک در راستای مشکلات پیش روی وطنم بردارم و در این راه خوشه‌ای از خرمن تجربه بزرگان برچینم.

اکنون که به یاری خداوند متعال این دوره از تحصیل نیز سپری شد، بر خود لازم می‌دانم از زحمات اساتید و تمامی دوستانم که در انجام این تحقیق یاری‌ام نمودند تشکر کنم. در این میان زحمات استاد صبور و پرتلاشم سرکار خانم دکتر بهناز دهرآزما ستودنی است، چه بسا که گذشته از سعی و کمک فراوان در راهنمایی این پایان نامه، در ساماندهی روش کار علمی‌ام بسیار مؤثر بودند. از خداوند متعال توفیق روزافزون برای ایشان خواستارم. از استاد مشاور عزیزم جناب دکتر ابراهیمی که در پیشبرد پایان نامه از مشاوره‌های ایشان بهره مند بودم صمیمانه متشکرم. از کلیه اساتید دانشکده بالاصح جناب آقای دکتر صادقیان و جناب آقای دکتر کاظمی و اساتید دیگر جناب آقای دکتر رزم آرا، آقای دکتر دولتی، آقای دکتر محمد زاده و سرکار خانم دکتر عابدی که در مسیر تحقیق یاری‌ام نمودند، تشکر می‌کنم. به جاست از زحمات کارشناسان دانشکده، خانمها مهندس سعیدی و مهندس فارسی و آقایان مهندس خانعلی زاده و مهندس میر باقری کمال تشکر را داشته باشم. در نهایت از دوستان خوبم در گروه زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود آقایان نعیمی، رحیمی و بسکابادی و خانم‌ها دم شناس و موسوی و ندائی و از دیگر دوستانم در در دانشگاههای فردوسی مشهد، شهید بهشتی تهران و شهید چمران اهواز که در تکمیل این پایان نامه یاریگر بودند صمیمانه تشکر می‌کنم.

## چکیده

سنگها و کانیهای تشکیل دهنده‌ی مسیر حرکت آبهای زیرزمینی و دگرسانی‌های رخ داده در سنگها از عوامل مهم تعیین کننده کیفیت آنها هستند. برهمکنش‌های بین آب و سنگ باعث می‌شود تا غلظت عناصر و کیفیت آنها تغییر یابند. در صورت افزایش غلظت بیش از حد مجاز عناصر در آب، مصرف آن توسط انسان و دیگر موجودات زنده باعث به خطر افتادن سلامتی و در پی داشتن عوارض سوء زیست محیطی می‌شود. این تحقیق جهت بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی حاشیه جنوبی دشت مختاران در جنوب بیرجند و شناسایی برخی از عوامل تعیین کننده آن صورت گرفته است. بدین منظور پس از جمع آوری اطلاعات و مطالعات صحرایی و انتخاب محل‌های مناسب جهت نمونه‌برداری، از آب طی دو مرحله، ۶ منبع آبی در آبان ۱۳۸۷ (انتهای فصل خشک) و ۱۲ منبع آبی در خرداد ۱۳۸۸ (انتهای فصل تر) نمونه گیری شد. همچنین از خاک و سنگهای محل نیز نمونه برداری صورت گرفت. ۱۹ نمونه سنگی جهت تهیه مقطع نازک و ۱۳ نمونه سنگی جهت آنالیز ICP-MS و ۱۸ نمونه آبی جهت اندازه‌گیری غلظت آنیونها و کاتیونها و تعیین غلظت عناصر به روش ICP-MS انتخاب شدند. از میان عناصر آنالیز شده به روش ICP-MS با توجه به اولویت‌های زیست محیطی و شرایط زمین شناسی منطقه، ۱۲ عنصر شامل Al, As, B, Ba, Cr, Cu, Fe, K, Pb, Sb, Si, Zn جهت ادامه مطالعات انتخاب شدند. مطالعات سنگ شناسی منطقه حاکی از حضور سنگهای ولکانیکی (آندزیتها) و ولکانو کلاستیکی (توفها) هستند. براساس شدت دگرسانی‌های رخ داده در سنگها، آنها به سه گروه I (نمونه‌های با دگرسانی ضعیف)، گروه II (نمونه‌های با دگرسانی شدید) و گروه III (نمونه‌های خاک و رسوب) تقسیم شدند. آنالیزهای ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که در سنگهای شدیداً دگرسان شده (گروه II)، عناصر Pb و Fe، K بیشترین غلظت و عناصر Zn, Al, Ba, Cr, Cu, Sb کمترین غلظت را در میان دیگر عناصر داشته‌اند. با استفاده از نتایج آنالیزهای انجام شده بر روی آنها و رسم نقشه توزیع غلظت عناصر و آنیونها و کاتیونها و دیگر پارمترهای اندازه گیری شده در منابع آبی منطقه مشخص گردید که دگرسانی باعث افزایش مجموع جامدات حل شده (TDS)، مجموع ذرات معلق در آب (TSS) و افزایش غلظت Al, Fe, K, Cu, Pb, Sb, B, Ca و  $SO_4^{2-}$  و کاهش غلظت Cr, Ba و As در آب شده است. همبستگی بالای بین پارمترهای مختلف نشانه تشابه رفتار ژئوشیمیایی آنها می‌باشد. بالاترین همبستگی‌ها بین Ca با  $SO_4^{2-}$  (+۰٫۹۱۴)، Mg با Si (+۰٫۸۰۰) و B با TDS (+۰٫۹۷۳)، B با Cl (+۰٫۹۶۷)، B با Na (+۰٫۹۹۴) در آنها و Ca با Sr (+۰٫۸۸۴) و Fe با K (+۰٫۹۰۱) در سنگها اندازه‌گیری شده است. محاسبه MI (شاخص فلزی) برای منابع آبی نشان داد که چشمه بیدخت، قناتهای رود کاج، یوش و بیدستان و چاههای کوشه، ولیعصر و دولت آباد دارای MI بالاتر از یک می‌باشند. کانیهای مونتموریلونیت، کائولینیت، همتایت، گوتیت و هیدورکسیدهای آهن از جمله کانیهای هستند

که در منابع آبی با شاخص اشباع شدگی (SI) بزرگتر از صفر بیشترین احتمال رسوبگذاری را دارند. دگرسانی باعث افزایش تغییرات SI برخی از کانیها در منابع آبی گردیده است. با توجه به مطالعات زمین شناسی، سنگ شناسی، ژئوشیمیایی، بررسی نقشه پراکنش عناصر در منابع آب، جداول همبستگی عناصر در آب و سنگ و نمودارهای شاخص اشباع شدگی عناصر، مدل مفهومی چگونگی برهمکنشهای بین آب و سنگ و انتقال و تغییرات برخی از عناصر در محیطهای حد واسط و ورود آنها به آب ارائه گردیده است. در این مدل عناصر از محیطهای اولیه شامل سنگهای اولیه، سنگهای دگرسان شده توسط سیالات هیدروترمالی و کانه زایی احتمالی توسط هوازدگی و دیگر واکنشهای شیمیایی می توانند وارد محیط حد واسط شوند. این عناصر در نهایت با انجام شستشو و واکنشهایی نظیر انحلال، تبادل یون و آزاد سازی به صورت محلول در منابع آبی ظاهر می گردند. در صورت به حالت اشباع رسیدن محلول از عناصر و یونها، رسوبگذاری صورت پذیرفته و عناصر از فاز محلول جدا شوند.

**کلمات کلیدی: آب زیرزمینی - ژئوشیمی - دگرسانی - برهمکنش های آب و سنگ - مدل مفهومی**

### مقالات مستخرج از پایان نامه

- دهرآزما ب. و ثوابی غ.ر.، (۱۳۸۷)، " بررسی عوامل اصلی مؤثر بر جذب و آزادسازی آرسنیک"، شانزدهمین انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، ۲۲-۲۳ آبان ۱۳۸۷، دانشگاه گیلان.
- ثوابی غ.ر.، دهرآزما ب.، ابراهیمی خ.، "ارزیابی کیفیت و غلظت عناصر سنگین (سرب و آرسنیک) در آب قنات بیدستان (جنوب بیرجند)"، کنفرانس بین المللی منابع آب، با رویکرد منطقه‌ای، مرداد ماه ۱۳۸۸، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ثوابی غ.ر.، دهرآزما ب.، ابراهیمی نصرآبادی خ.، " بررسی تاثیر آلتراسیون بر آب قنات های بیدستان و دزوک (جنوب بیرجند)"، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اسفند ۱۳۸۸، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

صفحه	کلیات	فصل اول
۲	مقدمه	۱-۱
۳	بیان مسئله	۲-۱
۴	خصوصیات منطقه مورد مطالعه	۳-۱
۴	موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۱-۳-۱
۵	آب و هوا و بارش	۲-۳-۱
۶	پراکندگی جمعیت انسانی	۳-۳-۱
۷	ضرورت انجام تحقیق	۴-۱
۷	اهداف تحقیق	۵-۱
۸	مراحل انجام تحقیق	۶-۱
۹	سازمان بندی پایان نامه	۷-۱
۱۱	زمین شناسی منطقه	فصل دوم
۱۲	مقدمه	۱-۲
۱۲	زمین شناسی بلوک لوت	۲-۲
۱۲	زمین شناسی ساختاری	۱-۲-۲
۱۲	زمین شناسی اقتصادی	۲-۲-۲
۱۳	زمین شناسی منطقه	۳-۲
۱۶	زمین شناسی ساختاری منطقه	۱-۳-۲
۱۶	ژئومورفولوژی منطقه	۲-۳-۲
۱۸	سنگ شناسی منطقه	۴-۲
۱۸	آندزیت پرفیری	۱-۴-۲
۲۱	واحد های پیروکلاستیکی	۲-۴-۲
۲۲	کوارتزیت	۳-۴-۲
۲۲	گابرو	۴-۴-۲
۲۲	دیوریت	۵-۴-۲
۲۲	ماسه سنگ آهکی	۶-۴-۲
۲۳	حوضه آبریز در منطقه مورد مطالعه	۵-۲
۲۶	مروزی بر مطالعات پیشین	فصل سوم
۲۷	مقدمه	۱-۳
۲۷	دگرسانی	۲-۳
۲۸	دگرسانی آرژیلیک	۱-۲-۳
۲۹	دگرسانی آلونیتی	۲-۲-۳
۲۹	دگرسانی سیلیسی	۳-۲-۳
۲۹	دگرسانی در منطقه مورد مطالعه	۴-۲-۳
۳۰	تأثیر دگرسانی بر ژئوشیمی	۳-۳



۳۱	تأثیر دگرسانی بر کیفیت منابع آب	۴-۳
۳۱	تأثیر دگرسانی بر برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی	۱-۴-۳
۳۳	تأثیر دگرسانی بر کاتیونها و آنیونهای اصلی	۲-۴-۳
۳۳	تأثیر دگرسانی بر غلظت فلزات سنگین در آب	۳-۴-۳
۳۵	<b>برهمکنشهای بین آب و سنگ</b>	۵-۳
۳۷	انحلال و رسوب	۱-۵-۳
۳۸	اکسیداسیون و احیا	۲-۵-۳
۳۹	جذب سطحی و آزاد سازی	۳-۵-۳
۴۰	تبادل یون	۴-۵-۳
۴۱	تشکیل کانیه‌های ثانویه	۵-۵-۳
۴۳	<b>فصل چهارم روش انجام تحقیق</b>	
۴۴	مقدمه	۱-۴
۴۴	نمونه برداری	۲-۴
۴۴	تعیین محل نمونه برداری	۱-۲-۴
۵۱	نحوه نمونه برداری	۲-۲-۴
۵۱	آماده سازی نمونه‌ها	۳-۲-۴
۵۲	روشهای آنالیز نمونه‌ها	۳-۴
۵۲	تعیین pH	۱-۳-۴
۵۲	تعیین EC	۲-۳-۴
۵۲	تعیین غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی	۳-۳-۴
۵۲	تعیین غلظت عناصر اصلی با روش ICP-MS	۴-۳-۴
۵۳	تهیه مقطع نازک	۵-۳-۴
۵۹	<b>فصل پنجم ژئوشیمی سنگها</b>	
۶۰	مقدمه	۱-۵
۶۰	گروه‌های سنگی براساس شدت دگرسانی	۲-۵
۶۱	همبستگی عناصر	۳-۵
۶۳	بررسی غلظت عناصر در نمونه‌های سنگی	۴-۵
۶۳	آلومینیوم	۱-۴-۵
۶۴	آرسنیک	۲-۴-۵
۶۵	باریم	۳-۴-۵
۶۷	کروم	۴-۴-۵
۶۸	مس	۵-۴-۵
۶۹	آهن	۶-۴-۵
۷۰	پتاسیم	۷-۴-۵
۷۱	سرب	۸-۴-۵
۷۲	گوگرد	۹-۴-۵
۷۴	آنتیموان	۱۰-۴-۵

۷۵	۱۱-۴-۵	روی
۷۷	<b>فصل ششم بررسی کیفیت و هیدروشیمی آبهای زیرزمینی و مدل مفهومی برهمکنشهای بین آب و سنگ</b>	
۷۸	۱-۶	مقدمه
۷۸	۲-۶	بررسی همبستگی پارامترها در نمونه های آبی
۸۴	۳-۶	تغییرات برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی
۸۴	۱-۳-۶	تغییرات EC (هدایت الکتریکی) و TDS (غلظت املاح حل شده)
۸۶	۲-۳-۶	تغییرات pH
۸۷	۳-۳-۶	تغییرات TSS
۸۸	۴-۳-۶	تغییرات TH (سختی کل)
۹۰	۴-۶	<b>تغییرات غلظت آنیونها و کاتیونها</b>
۹۰	۱-۴-۶	تغییرات غلظت بی کربنات
۹۰	۲-۴-۶	تغییرات غلظت کربنات
۹۱	۳-۴-۶	تغییرات غلظت کلرید
۹۲	۴-۴-۶	تغییرات غلظت سولفات
۹۳	۵-۴-۶	تغییرات غلظت کلسیم
۹۴	۶-۴-۶	تغییرات غلظت منیزیم
۹۵	۷-۴-۶	تغییرات غلظت سدیم
۹۶	۵-۶	بررسی ویژگیهای تیپ و رخساره‌ای
۱۰۲	۶-۶	<b>بررسی غلظت عناصر در منابع آبی منطقه</b>
۱۰۲	۱-۶-۶	آلومینیوم
۱۰۶	۲-۶-۶	آرسنیک
۱۰۸	۳-۶-۶	بور
۱۱۱	۴-۶-۶	باریم
۱۱۳	۵-۶-۶	کروم
۱۱۵	۶-۶-۶	مس
۱۱۶	۷-۶-۶	آهن
۱۲۰	۸-۶-۶	پتاسیم
۱۲۲	۹-۶-۶	سرب
۱۲۴	۱۰-۶-۶	آنتیموان
۱۲۶	۱۱-۶-۶	سیلیسیم
۱۲۸	۱۲-۶-۶	روی
۱۳۰	۷-۶	<b>مقایسه غلظت عناصر در فصل تر و خشک</b>
۱۳۰	۱-۷-۶	قنات گولک
۱۳۱	۲-۷-۶	چشمه بیدخت
۱۳۲	۳-۷-۶	قنات مهنج
۱۳۳	۴-۷-۶	قنات جنگ آباد

۱۳۵	۵-۷-۶	قنات دزوک
۱۳۶	۶-۷-۶	قنات بیدستان
۱۳۸	۸-۶	تبادل جرمی
۱۴۳	۹-۶	بررسی MI (شاخص فلزی در نمونه‌های آبی)
۱۴۴	۱۰-۶	ارائه مدل مفهومی توزیع عناصر بین واحدهای سنگی و آب زیرزمینی
۱۵۱		<b>فصل هفتم نتیجه گیری</b>
۱۵۲	۱-۷	مقدمه
۱۵۲	۲-۷	زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه
۱۵۳	۳-۷	بررسی غلظت عناصر و دیگر پارامترها در آبها و سنگها
۱۵۴	۴-۷	بررسی همبستگی بین پارامترهای مختلف در آبها و سنگها
۱۵۴	۵-۷	تیپ رخساره آب
۱۵۵	۶-۷	مقایسه کیفیت منابع آب در فصول تر و خشک
۱۵۵	۷-۷	بررسی برخی از شاخص‌های تأثیر دگرسانی بر آب زیرزمینی
۱۵۶	۸-۷	بررسی مدل مفهومی توزیع عناصر بین آب و سنگ
۱۵۸		منابع و مراجع

فهرست جداول

۵	۱-۱	بارش متوسط سالانه در منطقه مورد مطالعه
۶	۲-۱	جمعیت انسانی ساکن در منطقه مورد مطالعه
۴۷	۱-۴	مشخصات منابع آبی مطالعه شده در این تحقیق
۴۸ و ۴۹ و ۵۰	۲-۴	مشخصات نمونه های سنگی و خاک برداشت شده
۵۴	۳-۴	نتایج برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه های آب در انتهای فصل خشک (آبان ۱۳۸۷)
۵۵	۴-۴	نتایج برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه های آب در انتهای فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)
۵۶	۵-۴	نتایج آنالیز ICP-MS نمونه های آب در انتهای فصل خشک (آبان ۱۳۸۷)
۵۷	۶-۴	نتایج آنالیز ICP-MS نمونه های آب در انتهای فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)
۵۸	۷-۴	نتایج آنالیز ICP-MS نمونه های سنگ، خاک و آبرفت
۶۲	۱-۵	همبستگی غلظت عناصر در سنگها
۷۹	۱-۶	همبستگی عناصر و پارامترها در نمونه های آب
۸۹	۲-۶	تقسیم بندی آبها براساس سختی
۸۹	۳-۶	سختی در نمونه های آب مورد بررسی
۸۹	۴-۶	ویژگیهای تیپ و رخساره آبهای مورد مطالعه
۱۰۰	۵-۶	توالی آنیونی و کاتیونی منابع آبی مورد مطالعه
۱۳۹	۶-۶	مقادیر بحرانی در روش تعادل جرمی
۱۴۰ و ۱۴۱ و ۱۴۲	۷-۶	بررسی غلظت عناصر در آبهای زیرزمینی به روش تعادل جرمی

فهرست شکلها

۴	۱-۱	موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (کادر مستطیلی) در دشت مختاران (محدوده پرننگ شده) و راههای دسترسی به آن
۱۳	۱-۲	تقسیم بندی حوضه های رسوبی ساختاری ایران
۱۵	۲-۲	نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند و مختاران)
۱۷	۳-۲	نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه (نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰۰ بزراچ)
۱۸	۴-۲	واحد‌های مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه
۱۹	۵-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R6 (در نور XPL)
۱۹	۶-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R3 (در نور XPL)
۱۹	۷-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R9 (در نور XPL)
۱۹	۸-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R8 (در نور PPL)
۲۰	۹-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R10 (در نور XPL)
۲۰	۱۰-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R1 (در نور XPL)
۲۰	۱۱-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R2 (در نور XPL)
۲۰	۱۲-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R17 (در نور XPL)
۲۰	۱۳-۲	آندزیت پرفیری-نمونه R11 (در نور PPL)
۲۱	۱۴-۲	توف- نمونه R12 (در نور XPL)
۲۱	۱۵-۲	کریستال توف- نمونه R4 (در نور XPL)
۲۱	۱۶-۲	لیتیک توف-نمونه R5 (در نور XPL)
۲۱	۱۷-۲	کریستال توف- نمونه R7 (در نور XPL)
۲۲	۱۸-۲	لیتیک توف- نمونه R15 (در نور XPL)
۲۳	۱۹-۲	کوارتزیت- نمونه R13 (در نور XPL)
۲۳	۲۰-۲	گابرو-نمونه R18 (در نور XPL)
۲۳	۲۱-۲	میکرودیوریت پرفیری-نمونه R16 (در نور XPL)
۲۳	۲۲-۲	ماسه سنگ آهکی-نمونه R14 (در نور XPL):
۲۵	۲۳-۲	طرح آبراهه های منطقه در حوضه آبریز (برگرفته از عکس هوایی منطقه)
۳۸	۱-۳	شرایط Eh-pH برخی از محیطهای طبیعی
۴۶	۱-۴	نمایش محل‌های نمونه برداری آب و سنگ بر روی نقشه زمین‌شناسی

- ۶۳ ۱-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر Al در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %)
- ۶۴ ۲-۵ پراکنش غلظت عنصر Al بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب %)
- ۶۴ ۳-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر As در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)
- ۶۵ ۴-۵ پراکنش غلظت عنصر As بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm)
- ۶۶ ۵-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر Ba در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)
- ۶۶ ۶-۵ پراکنش غلظت عنصر Ba بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm)
- ۶۷ ۷-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر Cr در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)
- ۶۷ ۸-۵ پراکنش غلظت عنصر Cr بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm)
- ۶۸ ۹-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر Cu در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)
- ۶۸ ۱۰-۵ پراکنش غلظت عنصر Cu بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm)
- ۶۹ ۱۱-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر Fe در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %)
- ۷۰ ۱۲-۵ پراکنش غلظت عنصر Fe بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب %)
- ۷۰ ۱۳-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر K در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %)
- ۷۱ ۱۴-۵ غلظت عنصر K بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب %)
- ۷۱ ۱۵-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر Pb در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)
- ۷۲ ۱۶-۵ غلظت عنصر Pb بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm)
- ۷۳ ۱۷-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر S در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %)
- ۷۳ ۱۸-۵ غلظت عنصر S بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب %)
- ۷۴ ۱۹-۵ تغییرات غلظت عنصر Sb در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)
- ۷۴ ۲۰-۵ عنصر Sb بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm)
- ۷۵ ۲۱-۵ تغییرات غلظت عنصر Zn در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)
- ۷۶ ۲۲-۵ غلظت عنصر Zn بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm)
- ۸۵ ۱-۶ توزیع مقادیر EC در منابع آبی منطقه مورد مطالعه
- ۸۵ ۲-۶ توزیع مقادیر TDS در منابع آبی منطقه مورد مطالعه
- ۸۷ ۳-۶ توزیع مقادیر pH در منابع آبی منطقه مورد مطالعه
- ۸۸ ۴-۶ توزیع غلظت TSS در منابع آبی منطقه مورد مطالعه
- ۸۹ ۵-۶ توزیع مقدار سختی در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

۹۰	توزیع غلظت بی کربنات در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۶-۶
۹۱	توزیع غلظت کربنات در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۷-۶
۹۲	توزیع غلظت کلرید در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۸-۶
۹۳	توزیع غلظت سولفات منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۹-۶
۹۴	توزیع غلظت کلسیم در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۱۰-۶
۹۵	توزیع غلظت منیزیم در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۱۱-۶
۹۶	توزیع غلظت سدیم در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۱۲-۶
۹۷	نمودار پایپر منابع آبی مورد مطالعه در پایان فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)	۱۳-۶
۹۸	نمودار استیف منابع آبی مورد مطالعه در پایان فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)	۱۴-۶
۹۹	نمودار شولر منابع آبی در پایان فصل تر (تیر ۱۳۸۸)	۱۵-۶
۱۰۳	توزیع غلظت Al در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه	۱۶-۶
۱۰۴	نمودار Eh-pH مربوط به Al	۱۷-۶
۱۰۶	SI برخی از کانیهای Al دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۱۸-۶
۱۰۷	توزیع غلظت As در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۱۹-۶
۱۰۸	نمودار Eh-pH مربوط به Al	۲۰-۶
۱۰۸	SI برخی از کانیها As دار در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۲۱-۶
۱۰۹	توزیع غلظت بور در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۲۲-۶
۱۱۰	واحدهای آرژیلیکی در مناطق شدیداً دگرسان شده	۲۳-۶
۱۱۰	نمودار Eh-pH مربوط به عنصر بور	۲۴-۶
۱۱۱	مقادیر SI کانیهای بوردار در منابع آبی در منطقه مورد مطالعه	۲۵-۶
۱۱۲	توزیع غلظت باریم در منابع آبی در منطقه مورد مطالعه	۲۶-۶
۱۱۲	نمودار Eh-pH مربوط به عنصر باریم	۲۷-۶
۱۱۳	مقادیر SI کانیهای باریم در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۲۸-۶
۱۱۴	توزیع غلظت کروم در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۲۹-۶
۱۱۴	نمودار Eh-pH مربوط به عنصر کروم	۳۰-۶
۱۱۶	توزیع غلظت مس در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۳۱-۶
۱۱۶	SI کانیهای مس دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۳۲-۶
۱۱۱۷	وجود رنگ زرد در آب و رسوبات قهوه‌ای رنگ در محل مظهر قنات بیدستان	۳۳-۶
۱۱۸	توزیع غلظت آهن در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۳۴-۶

۱۱۹	نمودار Eh-pH مربوط به Fe	۳۵-۶
۱۲۰	مقادیر SI مهمترین کانیهای آهن دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۳۶-۶
۱۲۱	توزیع غلظت K در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه	۳۷-۶
۱۲۱	نمودار Eh-pH مربوط به K	۳۸-۶
۱۲۲	مقادیر SI مهمترین کانیهای پتاسیم دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۳۹-۶
۱۲۳	توزیع غلظت سرب در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۴۰-۶
۱۲۳	نمودار Eh-pH مربوط به Pb	۴۱-۶
۱۲۴	SI کانیهای سرب دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۴۲-۶
۱۲۵	توزیع غلظت آنتیموان در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۴۳-۶
۱۲۵	نمودار Eh-pH مربوط به Sb	۴۴-۶
۱۲۶	توزیع غلظت سیلیسیم در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۴۵-۶
۱۲۷	نمودار Eh-pH مربوط به Si	۴۶-۶
۱۲۸	SI کانیهای سیلیسیم دار در منابع آبی در منطقه مورد مطالعه	۴۷-۶
۱۲۹	توزیع غلظت Zn در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه	۴۸-۶
۱۲۹	نمودار Eh-pH مربوط به روی	۴۹-۶
۱۳۰	مقادیر SI کانیهای روی دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه	۵۰-۶
۱۳۱	مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات گولک	۵۱-۶
۱۳۱	مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات گولک	۵۲-۶
۱۳۲	مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در چشمه بیدخت	۵۳-۶
۱۳۲	مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در چشمه بیدخت	۵۴-۶
۱۳۳	مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها اصلی و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات مهنج	۵۵-۶
۱۳۳	مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات مهنج	۵۶-۶
۱۳۴	مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها اصلی و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات جنگ آباد	۵۷-۶
۱۳۵	مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات جنگ آباد	۵۸-۶
۱۳۶	مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها اصلی و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات دزوک	۵۹-۶
۱۳۶	مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات دزوک	۶۰-۶
۱۳۷	مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها اصلی و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک	۶۱-۶



با استاندارد WHO در قنات بیدستان

- ۱۳۷ مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات بیدستان ۶۲-۶
- ۱۴۳ مقادیر MI در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ۶۳-۶
- ۱۵۰ مدل مفهومی توزیع عناصر بین آب و سنگ ۶۴-۶

# فصل اول کیست

این فصل شامل بخشهای زیر می باشد:

مقدمه

بیان مسئله

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

ضرورت انجام تحقیق

اهداف تحقیق

مراحل انجام تحقیق

سازمان بندی پایان نامه

## ۱-۱- مقدمه

زمین و پدیده های زمین شناسی عواملی هستند که بر زندگی انسانها تأثیر مثبت و منفی فراوانی گذاشته و خواهند گذاشت. غارهای طبیعی ایجاد شده در دل کوهها اولین پناهگاه انسان و سنگهای برنده اولین ابزار دفاعی و تهاجمی انسانها بوده اند. از سوی دیگر همواره زلزله، آتشفشانها و زمین لغزه ها اثرات ناگواری بر زندگی انسانها گذاشته اند. آب یکی از کلیدی ترین عوامل انتخاب محل برای سکونت و یکی از عوامل توسعه زندگی انسانها می باشد. هر عاملی که بر کمیت و کیفیت آب اثر می گذارد بر زندگی انسان نیز بی تأثیر نخواهد بود. در این میان پدیده های طبیعی متعددی هستند که نشأت گرفته از اعماق زمین، کیفیت و کمیت آبهای سطحی و زیرزمینی را تغییر می دهند. دگرسانی و کانه زایی همراه آن از جمله پدیده های طبیعی زمین شناختی و عامل کاهشده کیفیت آبها و از نشانه های تأثیر زمین بر کیفیت زندگی انسانها هستند.

به دلیل اهمیت اثرات آلودگی طبیعی آبها بر سلامتی انسانها، این موضوع در تحقیقات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه های متعددی از آلودگی آبها به عناصر سمی مانند آرسنیک، بُر، فلئور، آنتیموان، جیوه، سرب گزارش شده است. در کشور ما نیز مواردی از آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی در اثر کانه زایی، معدنکاری و دگرسانی گزارش شده است. آنچه در این میان مشترک است، واکنشهای اکسایش سولفیدها، انحلال و جایگزینی یونها هستند که نشانه تأثیر سنگهای مناطق مورد مطالعه بر کیفیت آب می باشند.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از حاشیه جنوبی دشت مختاران در ۹۰ کیلومتری جنوب بیرجند است که آبهای استخراجی از قناتها در این محل کیفیتی بسیار پایین تر نسبت به نقاط همجوار خود دارند و دگرسانی های رخ داده در بالا دست آنها وسیع تر و توسعه یافته تر می باشد. قناتها در این منطقه تنها منبع آب کشاورزی و حتی شرب ساکنان روستاها هستند. از سوی دیگر چاههای پایین دست در منطقه مورد مطالعه، در حال حاضر آب مصرفی ساکنان دیگر نقاط دشت و در آینده نه چندان دور به عنوان منبع آب مصرفی شهر بیرجند مورد توجه قرار دارند. بنابراین با توجه

به اهمیت موضوع، در تحقیق حاضر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی قرار داده شده و آلاینده های موجود در این منابع شناسایی گردیده و در نهایت به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل پرداخته شده است.

این فصل به معرفی منطقه مورد مطالعه، مرور برخی از ویژگیهای کلی آن، بیان مسئله، ضرورت انجام تحقیق حاضر و اهداف آن و همچنین به معرفی نحوه سازمان بندی پایان نامه حاضر اختصاص داده شده است.

#### ۱-۲- بیان مسئله

دشت مختاران با وسعت ۲۴۸۶ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های حوضه بزرگ کویر لوت است که در استان خراسان جنوبی و در جنوب دشت بیرجند قرار دارد. از ویژگیهای قابل توجه این دشت تنوع سنگ شناسی ارتفاعات شمالی، شرقی و جنوبی دشت است. با توجه به وجود تنها چند رودخانه فصلی در دشت مختاران، آب زیرزمینی مهمترین منبع آب مصرفی ساکنان دشت مختاران می‌باشد. این موضوع را می‌توان در تعدد چاههای آب (که عمدتاً در بخشهای میانی دشت وجود دارند) و قناتها (که به طور پراکنده در بخشهای مختلف دشت در حال زهکشی آب زیرزمینی هستند) ملاحظه نمود. مطالعات ژئوفیزیکی و بررسی مقادیر EC نشان داده است که آب از بخشهای مرتفعتر شمالی، شرقی و جنوبی به بخشهای میانی و غربی دشت حرکت می‌کند (گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی مختاران ۱۳۸۷). بنابراین انتظار می‌رود آبی که از میانه دشت برداشت می‌شود حاصل اختلاط آبهای باشد که از مناطق با سنگ شناسی‌های مختلف عبور کرده و حاوی املاح مختلف با نسبتهای متفاوتی باشد. از سوی دیگر مشکلاتی نظیر وجود عنصر مضر کروم و کاهش کیفیت آب شرب شهر بیرجند (باریک بین ۱۳۷۶)، باعث شده تا به آب زیرزمینی دشت مختاران به عنوان منبع آب شرب شهر بیرجند در آینده توجهی ویژه شود. همچنین می‌توان وجود دگرسانی‌های آلونیتی و

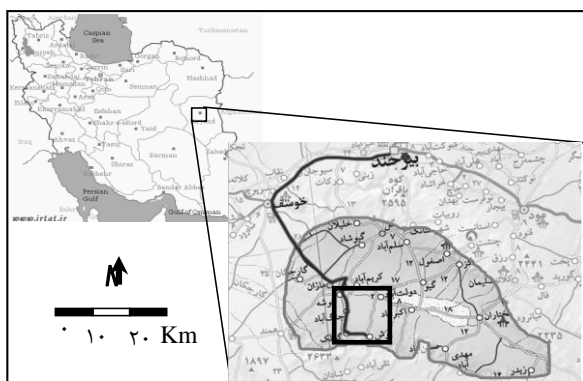
آرژیلیکی (رسا و همکاران ۱۳۸۴) در مناطق بالادستی تامین آب زیرزمینی دشت مختاران را بر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مؤثر دانست.

با توجه به موارد ذکر شده، این تحقیق در بخش جنوبی دشت مختاران به بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی و عوامل تأثیر گذار بر آن و چگونگی توزیع ژئوشیمیایی عناصر سنگین در منابع آبی و ارتباط این پراکندگی با شرایط خاص زمین شناسی، سنگ شناسی و حضور دگرسانی در منطقه پرداخته است.

### ۳-۱- خصوصیات منطقه مورد مطالعه

#### ۱-۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۹۰ کیلومتری جنوب بیرجند، در بخشی از حاشیه جنوبی دشت مختاران و در شمال ارتفاعات کوه شاه واقع شده که از طول جغرافیایی  $59^{\circ} 01' 13/74''$  تا  $59^{\circ} 08' 48/02''$  شرقی و عرض  $32^{\circ} 24' 52/74''$  تا  $32^{\circ} 32' 27/96''$  شمالی امتداد دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۶۵ کیلومتر مربع بوده که می توان از مسیرهای بیرجند - خوسف - ماژان - جنگ آباد به محدوده مطالعاتی و روستاهای واقع در آن دسترسی یافت (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (کادر مستطیلی) در دشت مختاران (محدوده پررنگ شده) و

راههای دسترسی به آن (سایت راهنمای جامع راههای ایران-۱۳۸۸)

## ۱-۳-۲- آب و هوا و بارش

آب و هوای منطقه مورد مطالعه توسط توده‌های هوایی کنترل می‌شود که آب و هوای تمام استان خراسان جنوبی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در تابستانها، آب و هوای استان خراسان جنوبی از چهار توده هوایی شامل هوای قاره‌ای و معتدله از شمال و شمال غرب، جریانهای خشک و گرم از جنوب غرب از منشأ عربستان و جریانهای خشک و گرم کویری از منشأ کویر یا افغانستان از شرق و جریانهای موسمی که به ندرت از جنوب شرق وارد می‌شود تأثیر می‌پذیرد. در زمستانها نیز ۲ جریان خشک و سرد سیبری از شمال و جریانهای مرطوب مدیترانه‌ای از غرب به استان وارد می‌شوند (گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی مختاران، ۱۳۸۷).

دشت مختاران و دیگر دشتهای مجاور در نهایت به کویر لوت ختم می‌شوند. حوزه آبریز کویر لوت شامل ۱۲ ایستگاه باران سنجی می‌باشد. اندازه‌گیری مناسبترین روابط بین ارتفاع ایستگاه و مقدار بارش سالانه نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع میزان بارندگی نیز افزایش می‌یابد. دوری از دریا و کم بودن ارتفاع دو عاملی هستند که باعث شده‌اند بارندگی در استان خراسان جنوبی به طور کلی اندک باشد. رژیم بارش در منطقه، کویری مدیترانه‌ای است. بارش در استان عمدتاً در فاصله بهمن تا پایان فروردین رخ می‌دهد و فصل خشک متمرکز بر تابستان است (جدول ۱-۱) (گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی مختاران، ۱۳۸۷).

جدول ۱-۱- بارش متوسط سالانه در منطقه مورد مطالعه

(گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی مختاران، ۱۳۸۷)

بارش متوسط (mm)	فصل
۱۵/۹	پاییز
۵۸	زمستان
۲۶	بهار
۰/۱	تابستان

دمای هوا در استان خراسان جنوبی به تبعیت از توده های هوایی وارد شده بسیار متغیر بوده و از حداقل ۲۹/۵- در سربیشه تا ۵۰+ در خوسف گزارش شده است. پتانسیل تبخیر در استان عموماً بالا و تابع دما می باشد. مقدار متوسط تبخیر از ۴۵۰۰ میلیمتر در سال در نواحی جنوبی استان تا ۱۰۰۰ میلیمتر در سال در ارتفاعات متغیر است (گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی مختاران ۱۳۸۷).

### ۱-۳-۳- پراکندگی جمعیت انسانی

به دلیل دوری از شهر و کافی نبودن امکانات ضروری زندگی نظیر آب بهداشتی، برق، راه دسترسی مناسب، امکانات ارتباطی و بهداشتی، جمعیت در منطقه گسترش چندانی نداشته و محدود به چند روستا در منطقه می شود. در جدول (۱-۲) مشخصات جمعیت انسانی این روستاها نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- جمعیت انسانی ساکن در منطقه مورد مطالعه (مرکز آمار ایران ۱۳۸۵)

نام روستا	تعداد خانوار	زن	مرد	جمع
کوشه	۵۱	۹۳	۷۷	۱۷۰
گولک	۱۸	۳۸	۲۳	۶۱
قیس آباد	۱۵	۳۳	۲۳	۵۶
حسین آبادشیبانی	۱۵	۲۸	۲۲	۵۰
یوش	۱۲	۲۴	۲۰	۴۴
بیدستان	۱۱	۲۴	۱۱	۳۵
مهنج	۸	۱۵	۱۹	۳۴
شیخ آباد	۱۳	۲۱	۱۰	۳۱
بیدخت	۵	۱۱	۸	۱۹
جیرک	۷	۱۱	۸	۱۹
یوشو	۵	۹	۴	۱۳
کاخکوک	۴	۷	۵	۱۲
سورگ	۱	۴	۲	۶
علی کوری	۱	۴	۱	۵
مزارشاه	۲	۲	۳	۵
محمدآباد	۱	۱	۱	۲
رودکاج	۱	۱	۰	۱
جمع	۱۷۰	۳۲۶	۲۳۷	۵۶۳

طبق سرشماری سال ۱۳۸۵ پرجمعیت ترین روستاهای منطقه به ترتیب شامل کوشه، گولک، قیس آباد و حسین آباد شیبانی هستند (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵). دامداری و کشاورزی مهمترین منبع کسب درآمد اهالی روستاها است. آب مورد نیاز برای کشاورزی حاشیه روستا از قنات‌ها و چاه‌ها تامین می‌شود. چاه‌ها و قنات‌های منطقه به مصرف شرب دام و شستشو و عموماً به مصرف آشامیدن انسان نیز می‌رسند.

#### ۴-۱- ضرورت انجام تحقیق

دگرسانی سنگها (نظیر آلونیتی و آرژیلیکی) پدیده‌ای است که همراه با برخی از کانه‌زایی‌ها رخ می‌دهد و از عوامل مؤثر بر کیفیت آب منطقه می‌باشد. انجام تحقیق حاضر با توجه به حضور دگرسانی‌ها در منطقه و همچنین، به دلیل احتمال تامین آب شرب شهر بیرجند از بخش‌های میانی دشت مختاران که بخشی از آن از ارتفاعات و دامنه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه تامین می‌شود و عدم وجود تحقیق جامعی در ارتباط با کیفیت منابع آب منطقه، اهمیت و ضرورت می‌یابد. از سوی دیگر با توجه به گسترش این نوع دگرسانی‌ها در نقاط دیگر کشور و جهان، نتایج این تحقیق قابل بسط به سایر مناطق مشابه نیز می‌باشد.

#### ۵-۱- اهداف تحقیق

هدف کلی از تحقیق حاضر، بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی موجود با نگرشی ویژه به سنگ شناسی حاشیه جنوبی دشت مختاران (شمال کوه شاه) و نیز بررسی تأثیر احتمالی نواحی دگرسان شده و کانه‌زایی شده بر آنها می‌باشد. اهداف جزئی زیر در این تحقیق مد نظر می‌باشد.

۱- بررسی کانی شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های منطقه و تعیین پراکنش عناصر در آنها.

۲- بررسی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی حاضر در منابع آبی و ارتباط آنها با ژئوشیمی منطقه.



۳- بررسی مقادیر غلظت عناصر موجود در آب و مقایسه آنها با مقادیر استانداردهای ملی و جهانی و ارتباط آنها با سنگ شناسی منطقه.

۴- بررسی و مقایسه تغییرات غلظت عناصر و دیگر پارامترهای مورد اندازه‌گیری طی دو مرحله نمونه برداری (انتهای فصل تر و انتهای فصل خشک).

۵- معرفی مهمترین نشانه‌های تأثیر دگرسانی موجود در منطقه بر کیفیت آبهای زیرزمینی.

۶- ارائه مدل مفهومی در ارتباط با برهمکنشهای موجود بین آب و سنگ در منطقه.

#### ۱-۶- مراحل انجام تحقیق

این تحقیق در ۴ مرحله به شرح زیر انجام پذیرفته است:

##### ۱- جمع آوری اطلاعات

با مرور مقالات، کتب و دیگر منابع معتبر، مهمترین اثرات زمین شناسی و به ویژه دگرسانی‌ها بر کیفیت آبهای زیرزمینی مطالعه و مهمترین پارامترهای متغیر شناسایی شدند. همچنین آمار و اطلاعات و نقشه‌های مورد نیاز از منابع زیر گردآوری شد:

– آمار و اطلاعات منابع آب از سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی.

– نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مختاران تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی کشور.

– عکسهای هوایی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی ارتش.

##### ۲- نمونه برداری آب و سنگ

برای این منظور با تلفیق اطلاعات، منابع آبی موجود، قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند تا بتوان تأثیر سنگ شناسی (سنگهای آتشفشانی و آبرفتها) و تنوع دگرسانی را در آنها مشاهده نمود. پس از انجام مطالعات صحرایی جامع و انتخاب محل‌های نمونه برداری، از منابع آب طی دو مرحله در آبان ماه ۱۳۸۷ (انتهای فصل خشک) و خرداد ماه ۱۳۸۸ (انتهای فصل تر) نمونه برداری انجام شد. از سوی دیگر با توجه به ارتفاعات منطقه و وضعیت آبراهه‌های بالا دست

قناتها و چشمه های مورد مطالعه و تنوع لیتولوژیکی موجود، واحدهای سنگی و مناطق دگرسان شناسایی شده و از آنها نمونه برداری انجام شد.

### ۳- انجام آنالیزهای کمی و کیفی

نمونه های آب تهیه شده پس از اندازه گیری مقادیر pH و EC در صحرا، برای اندازه گیری آنیونها و کاتیونها اصلی به آزمایشگاه پارک علم و فناوری سمنان واقع در شاهرود ارسال گردیدند. همچنین نمونه های آب و سنگ برای اندازه گیری عناصر به روش ICP-MS به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شدند. از مقاطع میکروسکوپی تهیه شده جهت انجام مطالعات کانی شناسی استفاده گردید.

### ۴- تجزیه و تحلیل اطلاعات و نتیجه گیری

نتایج آنالیزهای انجام شده با استفاده از رسم نمودارها و شکل های مختلف پردازش و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جهت رسم نمودارها از نرم افزارهای Excell, Surfer, Global mapper, WATEVAL, PHREEQC استفاده گردید.

## ۱-۷- سازمان بندی پایان نامه

گزارش این تحقیق در ۷ فصل به شرح زیر به نگارش در آمده است:

فصل اول (کلیات): در این فصل به معرفی منطقه و مهمترین ویژگیهای اقلیمی، جغرافیایی و انسانی پرداخته شده است.

فصل دوم (زمین شناسی): مطالعات زمین شناسی عمومی و سنگ شناسی منطقه و اطلاعات زمین شناسی صحرایی و نتایج مطالعات مقاطع نازک تهیه شده در این فصل مورد بحث قرار گرفته است.

فصل سوم (مروری بر مطالعات گذشته): این فصل به تحقیقات انجام شده در سطح ایران و جهان مرتبط با دگرسانی، اثرات دگرسانی بر کیفیت آبها، برهمکنشهای بین آب و سنگ اختصاص داده شده است.

فصل چهارم (روش انجام تحقیق): چگونگی انتخاب محل و روش نمونه برداری آب و سنگ، روشهای آنالیز و روشهای تجزیه و تحلیل اطلاعات در این فصل مشخص گردیده است.

فصل پنجم (ژئوشیمی): این فصل به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی سنگها، نحوه پراکنش عناصر در سنگهای منطقه پرداخته و آنها را از دیدگاههای مختلف مورد بررسی قرار داده است.

فصل ششم (بررسی کیفیت آبها و برهمکنشهای آب و سنگ): در این فصل با توجه به نتایج آنالیزهای انجام شده، کیفیت آبهای منطقه با استفاده از نمودارها و اشکال مختلف مورد نمایش و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین ارتباط این کیفیت با شرایط زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی سنگهای منطقه معلوم گردیده و در نهایت مدلی برای نمایش بهتر برهمکنشهای بین آب و سنگ در منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است.

فصل هفتم (نتیجه گیری): نتیجه گیری نهایی در مورد کل بحثهای انجام شده در تحقیق حاضر، در این فصل آورده شده است.

مراجع: کلیه مراجع و منابع مورد استفاده جهت انجام تحقیق حاضر در این بخش مشخص گردیده است.

# فصل دوم

## زمین‌شناسی منطقه

این فصل شامل بخشهای زیر می باشد:

مقدمه

زمین شناسی بلوک لوت

زمین شناسی منطقه

سنگ شناسی منطقه

حوضه آبریز منطقه

## ۱-۲- مقدمه

بررسی زمین شناسی منطقه بخشی مهمی از این تحقیق می‌باشد. شناخت سنگها و پدیده‌های زمین-شناختی رخ داده در منطقه اطلاعات با ارزشی را فراهم می‌کند که می‌توان براساس آنها تغییرات کیفیت آبها را در منطقه توضیح داد. منطقه مورد مطالعه در شرق ایران و در حاشیه شرقی بلوک لوت در نزدیکی محل اتصال بلوک لوت و حوضه فلیشی نه‌بندان-خاش (Berberian and King, 1981) واقع است و خصوصیات کلی مشابه بلوک لوت دارد.

در این فصل زمین شناسی بلوک لوت به اختصار معرفی گردیده است. پس از آن زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه با توصیف مقاطع نازک به تفصیل بحث و بررسی گردیده و در نهایت درباره حوضه آبریز منطقه توضیحاتی داده شده است.

## ۲-۲- زمین شناسی بلوک لوت

### ۱-۲-۲- زمین شناسی ساختاری

نخستین بار نبوی (۱۳۵۵)، پس از آن افتخار نژاد (۱۳۵۹) و آقاناتی (۱۳۸۳) ایران را به چند حوضه رسوبی-ساختاری تقسیم کردند (شکل ۱-۲). بلوک لوت بخشی از خرد قاره ایران مرکزی است که خود بخشی از ایران میانی است. زمین درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه، افیولیت‌های کاشمر-سبزوار خرد قاره ایران مرکزی را در بر گرفته‌اند. خرد قاره ایران مرکزی توسط گسل‌های طویل امتداد لغز راستگرد به بلوک‌های لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام، فروافتادگی بیاضه-بردسیر و بلوک یزد تقسیم می‌شود (شکل ۱-۲) (آقاناتی، ۱۳۸۳).



سنگهای آتشفشانی با سن پالئوژن و نئوژن به صورت خرد شده و دگرسان شده می‌تواند ما را در رسیدن به ذخیره اپی‌ترمال احتمالی کمک کند. دگرسانی آلونیتی رخ داده می‌تواند راهنمای مناسبی برای اکتشاف طلا و نقره اپی‌ترمال در این منطقه باشد (رسا و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین تکتونیک و دگرسانی، پتانسیلی را برای ذخایر کانی‌سازی غیر فلزی (کائولینیت) به وجود آورده‌اند.

در حوالی روستای گولک، دایکها فراوانترند و دو روند شمالی-جنوبی و شرقی-غربی داشته‌اند. دایکهای با روند شمالی-جنوبی جوانتر از دایکهای با روند شرقی-غربی بوده‌اند. در منطقه مورد مطالعه سنگهای آتشفشانی و نیمه عمیق شدیداً دگرسان شده‌اند. مطالعه مقاطع نازک، دگرسانی آرژیلیکی، سیلیسی، سرسیتی و کربناتی را مشخص کرده است که در میان آنها دگرسانی آرژیلیکی وسیعترین بوده است.





## ۲-۳-۱- زمین شناسی ساختاری منطقه

براساس تقسیم بندی واحدهای ساختاری-رسوبی ایران (نبوی، ۱۳۵۵) محدوده مورد مطالعه بین بلوکهای لوت و نهبدان-خاش قرار دارد، بنابراین اشکال ساختمانی مخصوص بلوک لوت را نشان می‌دهد. خردشدگی سنگ ها و دگرسانی شدید پس از آن و تشکیل کانی های رسی نشانه تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی است. گسلها در جابجایی سنگهای آتشفشانی و کنترل واحدهای ساختاری نقش قابل توجهی داشته‌اند. در نتیجه به دلیل شدت تغییر شکل و فرسایش پس از آن تشخیص ساختمانیهای اولیه را مشکل نموده است. گسلها در منطقه مورد مطالعه دارای دو روند هستند: دسته اول با روند شمال غرب-جنوب شرق که فراوانتر بوده و فاقد کانی سازی هستند. شکستگیهای حاصل از عملکرد این گسلها توسط کربناتها، کوارتز و اکسید آهن و اکسید منگنز پر شده است. همچنین در مجاورت گسلها برشهای گسلی تشکیل شده و در آن قطعات زاویه دار توسط سیمان سیلیسی به هم متصل شده‌اند. دسته دیگر گسلها با روند شمال شرق-جنوب غرب که با کانی سازی غیر فلزی (کائولینیت) همراه هستند. مقدار جابجایی این گسلها از چند میلیمتر تا چند متر متغیرند.

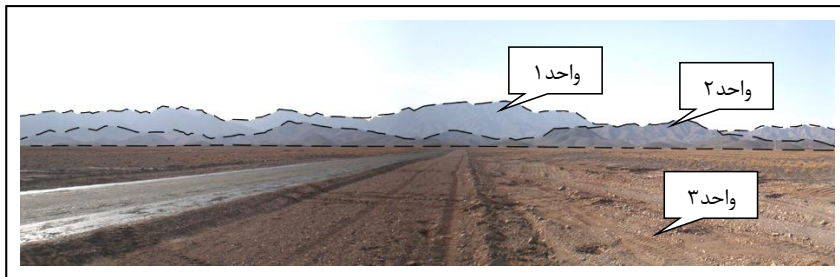
## ۲-۳-۲- ژئومورفولوژی منطقه

با توجه به نقشه توپوگرافی منطقه (شکل ۲-۳) و مطالعات صحرایی، واحدهای مورفولوژیکی منطقه را می‌توان در ۳ گروه دسته بندی کرد:

واحد ۱: شامل ارتفاعات بلند با قله کشیده، پر شیب و سطوح توپوگرافی خشن می باشد. در جنوب منطقه، ارتفاعات کوه شاه (شاه سلیمان علی) با ارتفاع ۲۵۴۰ متر و کوه عقاب با ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا از جنس سنگهای داسیتی به سن پالئوژن قرار دارند.

واحد ۲: به صورت تپه ماهورها با سطوح توپوگرافی صاف و هموار بین ارتفاعات واحد ۱ و دشت قرار دارند. این تپه ماهورها عمدتاً از جنس سنگهای آتشفشانی و نیمه عمیق با سن پالئوژن و نئوژن هستند. واحدهای آرژیلیکی با رنگ زرد روشن متمایز در میان این واحد قابل تفکیک هستند. همچنین عمده منابع آبی روستاهای مورد مطالعه در میان تپه‌های این بخش قرار دارند.



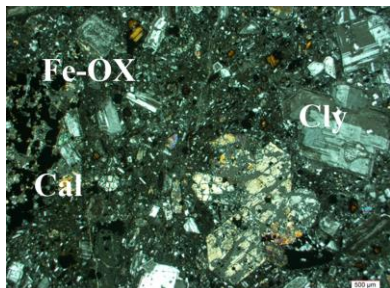


شکل ۲-۴- واحدهای مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه

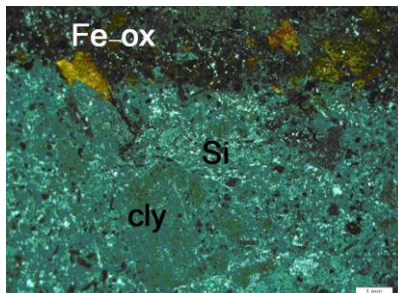
#### ۲-۴- سنگ شناسی منطقه

۲-۴-۱- آندزیت پرفیری (شکلهای ۲-۵ تا ۲-۱۳)

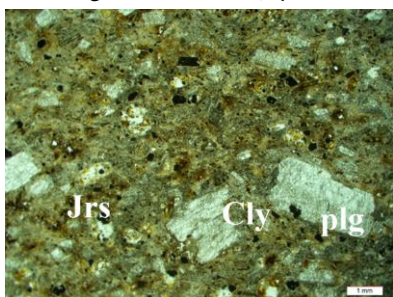
قسمتهای وسیعی در جنوب منطقه را تشکیل می‌دهند. با وجود تحمل دگرسانی شدید، بافت پرفیری اولیه در آنها همچنان حفظ شده است. فنوکریستها که عمدتاً پلاژیوکلازها هستند اغلب به مجموعه رسها (شکلهای ۲-۵، ۲-۹، ۲-۱۲ و ۲-۱۳)، کلسیت (شکلهای ۲-۷ و ۲-۱۱)، و سیلیس (شکلهای ۲-۶ و ۲-۹) تبدیل شده‌اند. کانیهای فرومنیزین در زمینه با اکسیدهای آهن (شکلهای ۲-۵ و ۲-۱۰) و یا گاه با ژاروسیت (شکل ۲-۸) جایگزین شده‌اند. در برخی از نمونه‌ها کانیهای اولیه حفظ شده‌اند (شکلهای ۲-۶ و ۲-۱۱) در دیگر نمونه‌ها به مقادیر مختلفی دگرسان شده‌اند. شدت دگرسانی گاه تا حدی است که قالب حفظ شده کانی توسط سیلیس و کانیهای رسی پر شده است (شکل ۲-۵ و ۲-۹) و در مواردی خرد شدگی باعث نفوذ رگچه‌های سیلیس به زمینه سنگ شده است (شکل ۲-۶).



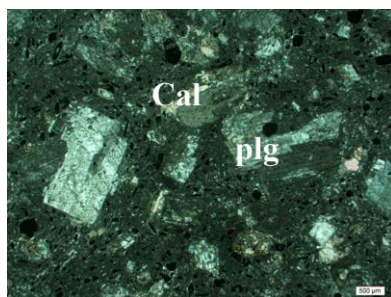
شکل ۲-۶- آندزیت پرفیری-نمونه R3 (در نور XPL):  
 نوع دگرسانی: آرژیلیکی  
 تبدیل شدن تدریجی پلاژیوکلازها به کانیهای رسی  
 (Cly) از حاشیه بلور، پر شدن فضای شکستگیها با رگچه  
 های سیلیس (Si) و کلسیت (Cal)، تبدیل شدن  
 کانیهای مافیک به اکسید آهن



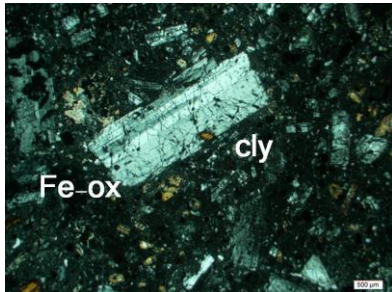
شکل ۲-۵- آندزیت پرفیری-نمونه R6 (در نور XPL):  
 نوع دگرسانی: آرژیلیکی و سیلیسی  
 جایگزینی و پرشدگی قالب کانیهای پلاژیوکلاز با کانیهای  
 رسی (cly)، سیلیس (Si) همراه با آغستگی به اکسید  
 آهن (Fe-ox)



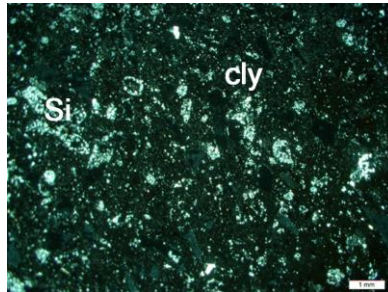
شکل ۲-۸- آندزیت پرفیری-نمونه R8 (در نور PPL):  
 نوع دگرسانی: آرژیلیکی ،  
 تبدیل شدن بخشی از پلاژیوکلازها (plg) و تمام زمینه  
 سنگ به کانیهای رسی (Cly) همراه با تشکیل ژاروسیت  
 در سنگ (Jrs)



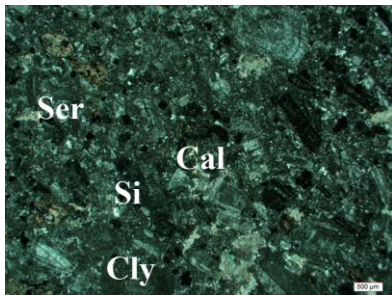
شکل ۲-۷- آندزیت پرفیری-نمونه R9 (در نور XPL):  
 نوع دگرسانی: آرژیلیکی ،  
 تبدیل شدن بخشی از پلاژیوکلازها (plg) و تقریباً تمام  
 زمینه به کانیهای رسی (cly) همراه با رشد رگچه های  
 کلسیتی (cc)



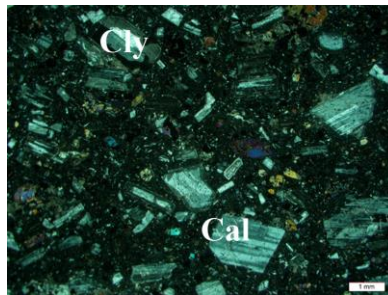
شکل ۲-۱۰- آندزیت پرفیری-نمونه R1 (در نور XPL):  
 نوع دگرسانی: آرژیلیکی،  
 تبدیل شدن بخشی از پلاژیوکلاز و تمام زمینه به کانیهای  
 رسی (cly) و تبدیل کانیهای فرومنیزین به اکسید  
 آهن (Fe-ox)



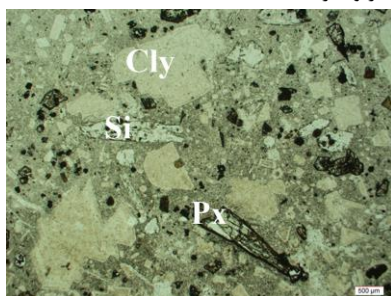
شکل ۲-۹- آندزیت پرفیری-نمونه R10 (در نور XPL):  
 نوع دگرسانی: سیلیسی،  
 برشی شدن و پرشدگی قالب کانیهای اولیه با  
 سیلیس (Si) و کانیهای رسی (cly)



شکل ۲-۱۲- آندزیت پرفیری-نمونه R17 (در نور XPL):  
 نوع دگرسانی: آرژیلیکی و کربناتی،  
 جایگزینی پلاژیوکلازها با کانیهای رسی (Cly) و سرسیت  
 (Ser) همراه با نفوذ رگچه های متعدد کلسیتی



شکل ۲-۱۱- آندزیت پرفیری-نمونه R2 (در نور XPL):  
 نوع دگرسانی: آرژیلیکی،  
 تبدیل شدن بخشی از پلاژیوکلازها و تمام زمینه سنگ به  
 کانیهای رسی (Cly) همراه با نفوذ رگچه های  
 کلسیتی (Cal) به پلاژیوکلاز

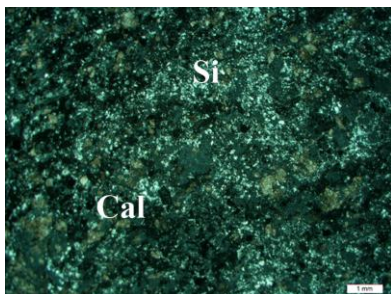


شکل ۲-۱۳- آندزیت پرفیری-نمونه R11 (در نور PPL): نوع دگرسانی: آرژیلیکی و سیلیسی،  
 جایگزینی پلاژیوکلازها با کانیهای رسی (Cly) (قالبها حفظ شده اند) و جایگزینی پیروکسنها (Px) با سیلیس (Si)

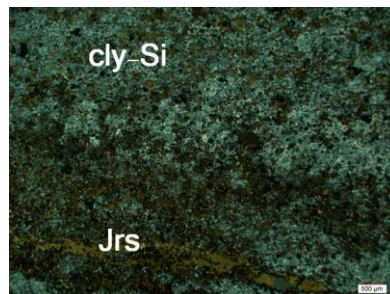


۲-۴-۲- واحدهای پیروکلاستیکی (۲-۱۴ تا ۲-۱۸)

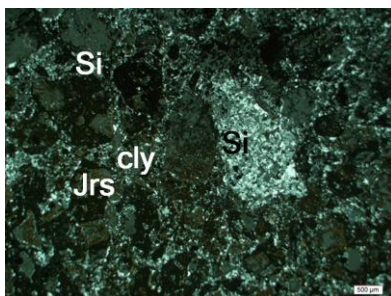
توفها بعد از آندزیتها فراوانترین واحد سنگی در منطقه مورد مطالعه می باشند. توفها اغلب در بخشهای کم ارتفاع تر منطقه رخنمون یافته‌اند و تقریباً به طور کامل دگرسان شده و در آنها کانیهای رسی (شکل ۲-۱۴) ، و نفوذ رگچه های سیلیس (شکلهای ۲-۱۵، ۲-۱۶، ۲-۱۷ و ۲-۱۸)، ژاروسیت (شکل ۲-۱۴) مشاهده می شود. به دلیل سستی و مقاومت پایین آنها، در اثر فرسایش، اغلب قناتهای منطقه در میان آنها یا آبرفتهای منشأ گرفته از آنها حفر شده‌اند.



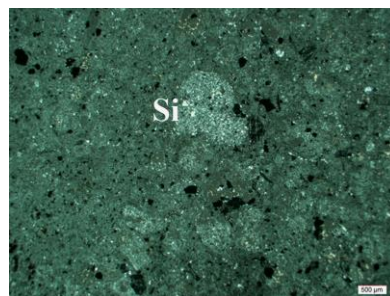
شکل ۲-۱۵- کریستال توف- نمونه R4 (در نور XPL):  
نوع دگرسانی: سیلیسی،  
نفوذ رگچه های متعدد سیلیس (Si) و کلسیت (cc) در  
سنگ و جایگزینی آنها با کانیهای اولیه



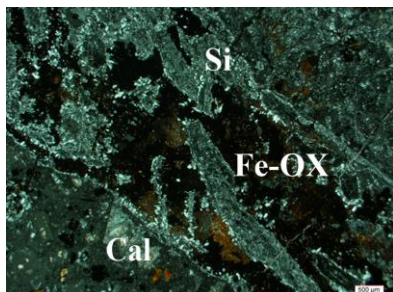
شکل ۲-۱۴- توف- نمونه R12 (در نور XPL):  
نوع دگرسانی: آرژیلیک،  
توف با زمینه رسی (cly) و سیلیسی (Si) و نفوذ رگچه  
های ژاروسیت (Jrs)



شکل ۲-۱۷- کریستال توف- نمونه R7 (در نور XPL):  
نوع دگرسانی: آرژیلیک،  
پرشدگی فضای بین دانه ها توسط سیلیس و قالب کانیها  
توسط کانیهای رسی (cly) و ژاروسیت (jrs) و سیلیس



شکل ۲-۱۶- لیتیک توف -نمونه R5 (در نور XPL):  
نوع دگرسانی: سیلیسی،  
جایگزینی زمینه سنگ و قالب کانیها با سیلیس (Si)



شکل ۲-۱۸- لیتیک توف- نمونه R15 (در نور XPL):

نوع دگرسانی: سیلیسی و کربناتی،

وقوع دو مرحله دگرسانی سیلیسی (Si) و کربناتی شدن در کریستال توف همراه با حضور اکسیدهای آهن (Fe-ox)،

۲-۴-۳- کوارتزیت (شکل ۲-۱۹):

افزایش سیلیس در سنگ گذشته از افزایش مقاومت سنگ و ایجاد مورفولوژی خشن برای واحدهای سنگی، در نهایت باعث تولید پوشش (Cap) سیلیسی می شود که با رنگ تیره در سطح و اختلاف شدید در مقاومت در برابر هوازدگی به صورت تیغه های برجای مانده از فرسایش در میان دیگر واحدها مشاهده می شود.

۲-۴-۴- گابرو (شکل ۲-۲۰):

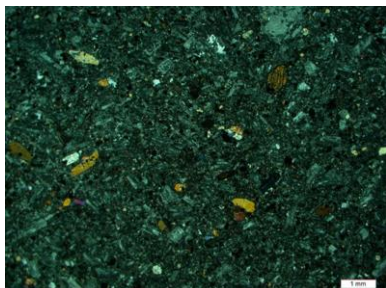
این واحد گسترش کمی در منطقه داشته و تنها در رود کاج در جنوب غرب منطقه به ویژه اطراف قنات رود کاج مشاهده می شوند.

۲-۴-۵- دیوریت (شکل ۲-۲۱):

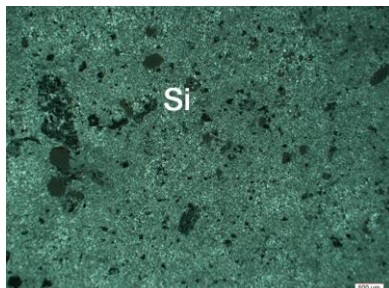
این واحد گسترش کمی در منطقه داشته و تنها در رود کاج در جنوب غرب منطقه به ویژه اطراف قنات رود کاج مشاهده می شود.

۲-۴-۶- ماسه سنگ آهکی (شکل ۲-۲۲):

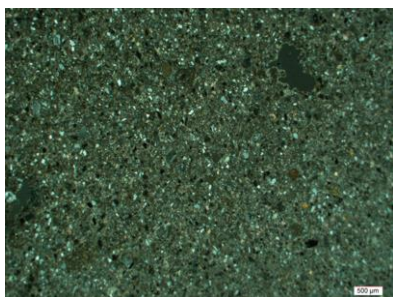
به صورت محدود در حوالی قنات یوش واحدهای کربناتی متخلخل با رنگ روشن متمایز از دیگر واحدها مشاهده می شود.



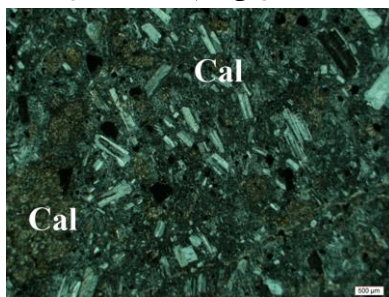
شکل ۲-۲۰- گابرو-نمونه R18 (در نور XPL):  
گابرو با بلورهای کمابیش حفظ شده و آغشته به مالاکیت



شکل ۲-۱۹- کوارتزیت- نمونه R13 (در نور XPL):  
نوع دگرسانی: سیلیسی،  
جایگزینی تمام سنگ با سیلیس



شکل ۲-۲۲- ماسه سنگ آهکی-نمونه R14 (در نور XPL):  
ماسه سنگ آهکی با دانه های عمدتاً پلاژیوکلاز و به مقدار کمتر  
اکسید آهن، و سیلیس با جورشدگی خوب و گردشدگی بسیار  
ضعیف با سیمان کربناتی



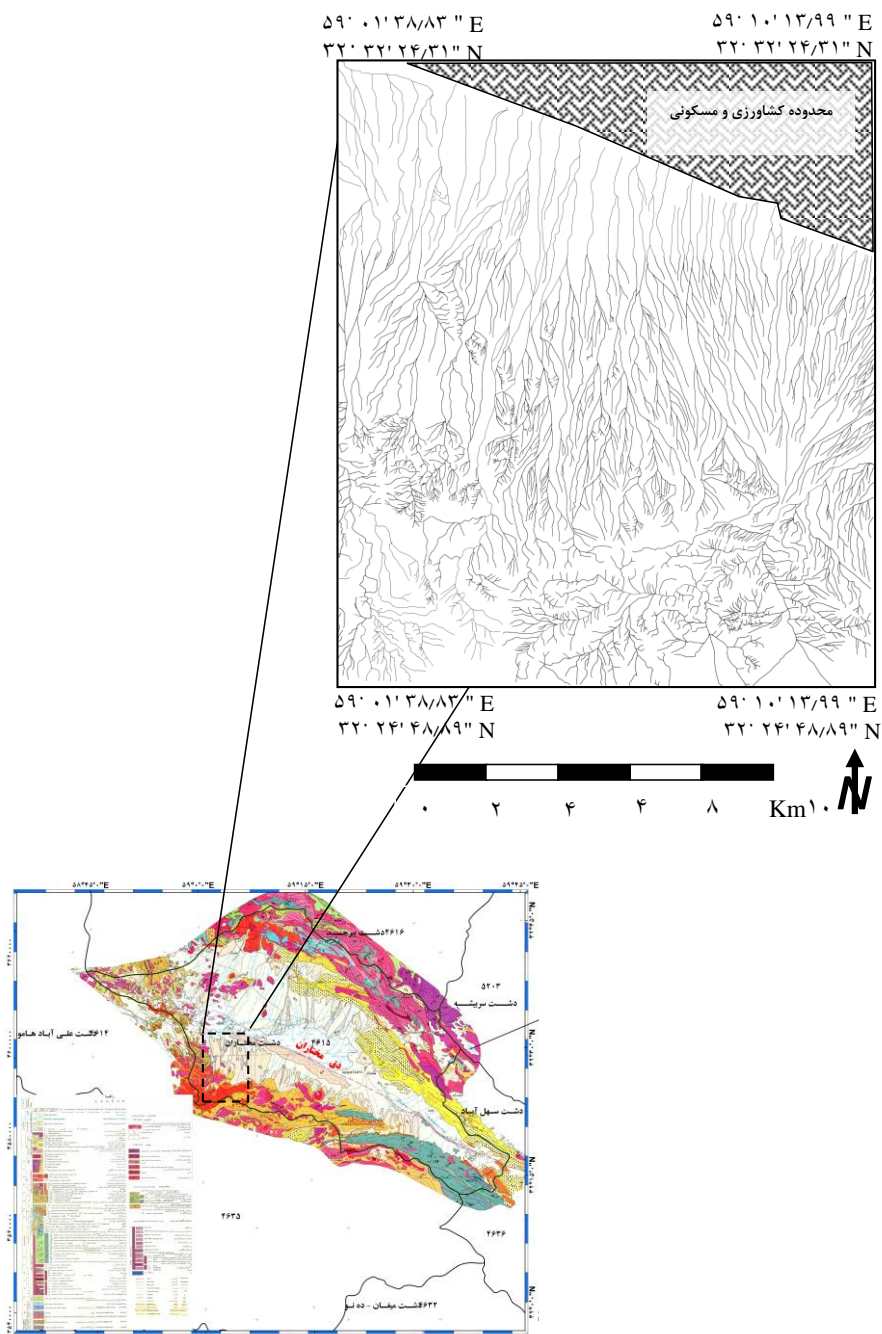
شکل ۲-۲۱- میکرودیوریت پرفیری-نمونه R16 (در نور  
XPL): نوع دگرسانی: کربناتی،  
همراه با نفوذ رگچه های متعدد کربناتی (Cal)

## ۲-۵- حوضه آبریز منطقه

منطقه مورد مطالعه خود بخشی از حوضه آبریز دشت مختاران است. هیچ رودخانه دائمی در این منطقه وجود ندارد و رودخانه های موقتی تنها پس از بارش ها به مدت کوتاه جریان می یابند. جهت حرکت کلی آب زیرزمینی از جنوب به شمال می باشد (گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت محدوده مطالعاتی مختاران، ۱۳۸۷) و البته محور قناتهای حفر شده و آبراهه های منطقه نیز از این روند تبعیت کرده و اغلب راستای شمالی-جنوبی دارند (شکل ۲-۲۳). با توجه به ملاحظات صحرایی می توان



دریافت که افزایش تراکم آبراهه‌ها منطبق با نواحی شدیداً دگرسان شده می باشد که اغلب در بالا دست قناتهای بیدستان و دزوک گسترش یافته‌اند.



شکل ۲-۲۳- طرح آبراهه های منطقه در حوضه آبریز (برگرفته از عکس هوایی منطقه)

# فصل سوم مرور بر مطالعات پیشین

این فصل شامل بخشهای زیر می باشد:

مقدمه

دگرسانی

تأثیر دگرسانی بر ژئوشیمی

تأثیر دگرسانی بر کیفیت منابع آب

برهمکنشهای بین آب و سنگ

## ۳-۱- مقدمه

بررسی تحقیقات گذشته دیدگاه مناسبی از ملزومات تحقیق فراهم می‌کند و اطلاعات محقق را در ارتباط با موضوع تحقیق افزایش می‌دهد. در این فصل در ابتدا به بررسی دگرسانی و فرآیندهای مرتبط، تهی شدگی و غنی شدگی عناصر طی دگرسانی در سنگ و تأثیر آن بر کیفیت آنها پرداخته شده است. سپس درباره مهم‌ترین برهمکنشهای بین آب و سنگ، انحلال، جذب سطحی و آزاد سازی، تبادل یونی، اکسیداسیون و احیا و تشکیل کانیهای ثانویه و اثرات این برهمکنشها بر کیفیت آب توضیح داده شده است.

## ۳-۲- دگرسانی

کلیه تغییرات شیمیایی و کانی شناسی که تحت تاثیر آبهای ماگمایی و گرمایی در سنگها ایجاد می‌شود را دگرسانی می‌نامند. نوع تغییرات شیمیایی و کانی شناختی مناطق دگرسان تابع ترکیب شیمیایی محلول گرمایی یا ماگمایی، دما، عمق، شرایط pH و Eh محلول و ترکیب شیمیایی و کانی شناسی سنگ مادر می‌باشد (کریم پور و سعادت ۱۳۸۵). به بیان دیگر دگرسانی گرمایی فرآیند بسیار پیچیده‌ای است که در آن در اثر واکنش سیالات آبگین داغ در حین عبور از میان سنگ، تغییرات کانی‌شناسی و بافتی در سنگ اولیه تحت شرایط فیزیکی شیمیایی خاص ایجاد می‌شود (Piranjo 2009).

به دلیل اهمیت مطالعه دگرسانیها به ویژه در اکتشاف ذخایر معدنی، محققین در سطح جهان مطالعات وسیعی در این ارتباط داشته‌اند (Barens 1979, Bonham 1988, Hemely et al. 1969, Karimpour and Bowes 1983, Perkins 1973). در ایران طی سالهای اخیر مطالعات متعددی به ویژه با استفاده از تکنیکهای سنجش از دور بر روی نواحی دگرسان شده نقاط مختلف کشور انجام شده است که از آنها می‌توان به ابراهیمی و همکاران ۱۳۸۶، شبانی و همکاران ۱۳۸۷، ملک زاده و همکاران ۱۳۸۷ اشاره کرد.

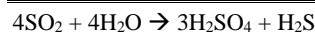
از سوی دیگر واکنشهای شیمیایی متنوعی در ایجاد دگرسانی مؤثر می‌باشند. به همین دلیل برای توصیف و شناسایی بهتر، دگرسانی‌ها را بر مبنای یک یا چند کانی مهم تفکیک کرده و به هر بخش یک زون گفته می‌شود. بر مبنای ذکر شده می‌توان به دگرسانی‌های پتاسیک، پروپلیتیک، سرسیتیک، آرژلیک، آلونیتی، گرایزنی، سیلیسی، زئولیتی، فنیتیک، کلریتی، تورمالینیزه و آلبیتی اشاره کرد (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵). چون در منطقه مورد

مطالعه عملکرد دگرسانی‌های آرژیلیک، آلونیتی و سیلیسی مشاهده می‌شود در ادامه به بررسی این دگرسانی می‌پردازیم.

### ۳-۲-۱- دگرسانی آرژیلیک

این دگرسانی با تشکیل کانیه‌های رسی مشخص می‌شود که در آن رسها به دلیل متاسوماتیزم شدید  $H^+$  و شستشو توسط سیالات اسیدی در دمای بین  $100^{\circ}C$  و  $300^{\circ}C$  تشکیل شده‌اند. این دگرسانی‌ها عموماً از داخل توسط زون فیلیک و از خارج توسط زون پروپلیتیک در برگرفته می‌شود. از آنجا که در سیستم‌های اپی‌ترمالی شستشوی اسیدی خیلی شدیدی رخ می‌دهد، دگرسانی آرژیلیکی بوجود آمده در این نوع سیستمها می‌تواند راهنمای مناسبی برای شناخت این نوع دگرسانی و کانه زایی همراه آنها باشد. در این دگرسانی شستشوی آلومینوسیلیکاتها منجر به غنی‌شدگی از سیلیس می‌شود. همچنین کانیه‌های رسی جایگزین پلاژیوکلاز و سیلیکاتهای مافیک (نظیر هورنبلند و بیوتیت) می‌شوند. دگرسانی آرژیلیک با حضور مونتموریلونیت، ایلیت، کلریت، رسهای گروه کائولینیت (کائولینیت، دیکیت، هالوزیت، هالوفان) و اندکی سرسیت مشخص می‌شود. در این شرایط یونهای K, Ca, Mg, Na به طور کامل از محیط خارج نمی‌شود (Pirajno, 2009).

با ادامه شستشوی اسیدی کانیه‌ها و سنگها، یونهای قلیایی تقریباً به طور کامل شسته و از محیط خارج می‌شوند. پلاژیوکلازها و سیلیکاتهای مافیک به طور کامل تخریب شده و توسط کانیه‌های دیگر جایگزین می‌شوند. این نوع دگرسانی را آرژیلیک پیشرفته می‌نامند. دگرسانی‌های اسید-سولفات، آلونیت-کائولینیت  $\pm$  پیروفیلیت مترادف دگرسانی آرژیلیک پیشرفته هستند (Pirajno, 2009). در این شرایط کانی‌های شاخص عبارت خواهند بود از: کائولینیت، دیکیت، دیاسپور، پیروفیلیت و گاهی سرسیت، کوارتز، آلونیت، پیریت، تورمالین و توپاز (کریم پور و سعادت ۱۳۸۵). همچنین کانیه‌های سولفیدی با نسبت بالای گوگرد به صورت کوولیت (CuS)، دیژنیت ( $Cu_9S_5$ )، انارژیت ( $Cu_3AsS_4$ ) نیز ممکن است در محیط وجود داشته باشند. سایر کانیه‌های همراه شامل روتیل، آنهیدریت و کرونوم است. رسهای آمورف نظیر آلفان در محیط‌های سوپرژن دیده می‌شوند (Pirajno, 2009). این نوع دگرسانی زمانی رخ می‌دهد که بخار ماگمایی شامل  $SO_2$  وارد سیستم شود و چگالش یافته و محیط غنی از گوگرد را بسازد؛ در آن صورت مطابق واکنش تسهیم نامتناسب رابطه (۳-۱) در محیط ممکن است اسید سولفوریک تشکیل شود (Rey et al., 1992):



رابطه ۱-۳

دگرسانی آرژلیک پیشرفته با کانیهای آلونیت، کائولینیت و ژاروسیت می تواند در بخشهای سوپرژن رگه‌های کانه‌دار نیز تشکیل شود (دریس و همکاران، ۱۳۸۷).

## ۳-۲-۲- دگرسانی آلونیتی

کانیهای مهم زون آلونیت عبارتند از: آلونیت، کوارتز، کلسدون و اوپال. کانیهای فرعی آن عبارتند از: کائولینیت، سرسیت، دیاسپور، ژاروسیت، روتیل، پیریت، هماتیت و پیروفیلیت (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵).

محلولهای ماگمایی و گرمایی غنی از سولفات در شرایط اکسیدان و در دمای کمتر از  $300^{\circ}\text{C}$  موجب هیدرولیز سنگهای غنی از Al و K شده و در نتیجه آلونیت تشکیل می شود. آلونیت در بخشهای فوقانی سیستمهای مس پورفیری و در بعضی از کانسارهای اپی ترمالی یافت می شود. آلونیت می تواند در زون آرژلیک و سرسیتیک نیز یافت شود. افزایش غلظت  $\text{SO}_4^{2-}$  عامل مهم و اساسی در تشکیل آلونیت است. کاهش دما محدوده تشکیل آلونیت را گسترش می دهد. با توجه به اینکه در زون آلونیت سیستم مربوطه اشباع از سیلیس است، بنابراین اکسیدهای سیلیس کریپتوکریستالین می توانند تشکیل شوند (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵).

## ۳-۲-۳- دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن از دو راه اضافه شدن  $\text{SiO}_2$  به سنگ توسط محلول ماگمایی یا گرمایی و یا بالا رفتن مقدار سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر سنگ صورت می گیرد (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵).

## ۳-۲-۴- دگرسانی در منطقه مورد مطالعه

رسا و همکاران (۱۳۸۴) منطقه مورد مطالعه را در قالب طرح پژوهشی با عنوان پی جویی منابع بنتونیتی در محدوده نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ بیرجند و مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمیایی به منظور تعیین نوع کاربری آنها، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در این منطقه محلولهای هیدروترمال در امتداد یک شکستگی با امتداد کلی شمال غربی-جنوب شرقی تزریق شده و باعث پیدایش یک زون دگرسانی به طول حدود ۱/۵ کیلومتر در سنگهای میزبان شده است. نتایج مطالعات پتروگرافی بر روی مقاطع تهیه شده از نواحی دگرسان شده نشان داد که بخش اصلی رگه های سیلیسی از کوارتز ریز بلور و مقدار کمی کانیهای کدر دارای بافت میکروکریستالین بوده است. در مجاورت رگه سیلیسی و روی دیواره آن در برخی نقاط اجزا کائولینیتی شده به رنگ زرد کهربایی دیده می شود که

نتایج مطالعات XRD وجود کانی ژاروسیت را به عنوان فاز اصلی نشان می‌دهد. همچنین در مجاورت رگه های سیلیسی، ریوداسیت شدیداً دگرسان شده با فنوکریستهای پلاژیوکلاز و فلدسپات آکالن کاملاً دگرسان شده وجود دارد که به کانیه‌های رسی و سرسیتی تبدیل شده است. مطالعه XRD بر روی نمونه های آرژیلیکی شده، حضور کائولینیت و کوارتز را به عنوان فاز اصلی معلوم ساخته است. همراه با کائولینیت، ناتروآلونیت کانی سولفات مهمی است که در نمونه‌ها شناسایی شده است. همیافتی ناتروآلونیت، ژاروسیت، کائولینیت، سرسیت و کوارتز در منطقه مورد مطالعه بیانگر واکنش سنگهای اسیدی آتشفشانی با سیال غنی از سولفات با فعالیت بالای یون هیدروژن است (رسا و همکاران، ۱۳۸۴).

### ۳-۳- تاثیر دگرسانی بر ژئوشیمی

در طی دگرسانی، برخی عناصر دچار غنی شدگی و برخی دچار تهی شدگی می شوند. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با شستشوی شدید کاتیونهای قلیایی و قلیایی خاکی (Na, K, Ca) و همچنین Si همراه است. این دگرسانی با افزایش  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $SO_3$  و  $LOI^1$ ، کاهش CaO, MgO, MnO,  $K_2O$  و  $Fe_2O_3$  همراه است. ممکن است  $SiO_2$  تهی شده باشد (امامی ۱۳۸۷). چنانچه بخش عمده‌ای از عناصر Na, K, Ca, Mg, Al نیز تقریباً به طور کامل از ترکیب سنگ حذف شوند، زون سیلیسی تشکیل می شود. دگرسانی آرژیلیک حدواسط نیز با کاهش CaO,  $LOI$  و  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SO_4$ , Nb, HREE<sup>2</sup> و افزایش  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $SiO_2$ , MnO, MgO, Rb (امامی، ۱۳۸۷) در محیط مشخص می‌شود. به دلیل غنی شدگی یا تهی شدگی عناصر طی دگرسانی، خاکهای حاصل از این سنگها نیز نسبت به مناطق سالم دچار غنی شدگی یا تهی شدگی عناصر خواهند بود. در نتیجه این تغییرات، غلظت عناصر نه تنها در خاکها بلکه در آبهای سطحی و زیرزمینی و حتی برخی از گیاهان نیز مقادیر غیر عادی خواهد بود. در منطقه دوست بیگلو مشکین شهر به همراه دگرسانی‌های آرژیلیک پیشرفته، فلیک و سیلیسی، کانه زایی مس (طلایی و پیروان، ۱۳۸۶-الف)، آنتیموان (طلایی و پیروان، ۱۳۸۶-ج)، آرسنیک (طلایی و همکاران، ۱۳۸۸ و طلایی و پیروان، ۱۳۸۶-ب)، نیز رخ داده است. در افقهای سطحی خاکهای روی زون‌های دگرسان شده، عناصر طلا، گوگرد، آرسنیک، مولیبدن و سرب شدیداً تمرکز یافته‌اند و غلظت عناصر استرانسیم،

<sup>1</sup> Loss Of Ignition

<sup>2</sup> Light Rare Earth Element

<sup>3</sup> Heavy Rare Earth Element

کلسیم، فسفر، وانادیم، پتاسیم، جیوه، نقره، مس، اورانیوم و توریم نیز قابل توجه بوده است (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵). از آنجا که این عناصر در لایه های بالایی خاک تجمع می یابند (Colin, 1995) می توانند از طریق گیاهان و یا آب وارد چرخه غذایی دام و انسان شوند (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵). این موضوع از آنجا تقویت می شود که در بررسی آلودگی خاک، آب و رسوبات به عناصر کادمیم و سرب و روی در مناطق کانه زایی شده بولیوی آشکار شد که علاوه بر آب، آلودگی خاکها نیز سبب انتقال عناصر فلزی سمی به چرخه غذایی دام و انسان شده و در ایجاد بیماری ها نیز دخالت می کند (Miller et al., 2004). دگرسانی کلریتی، آرژیلیک حدواسط و سرسیتی باعث آزادسازی عناصر زیان آور همچون فلزات سنگین (به جز مولیبدن) از سنگهای مادر به سنگهای دگرسان شده می گردد. هوازدگی، این عناصر را (به جز کادمیم) وارد رسوبات آبراههای می کند، به طوری که میزان این عناصر در محصولات هوازدگی، بسیار نزدیک به این مقادیر در سنگهای دگرسان شده است. بدین ترتیب چنانچه غلظت عناصر زیان آور در سنگهای دگرسان شده بیش از حد مجاز زیست محیطی باشد، این آلودگی به رسوبات حاصل از هوازدگی این سنگها نیز منتقل خواهد شد (امامی، ۱۳۸۷).

### ۳-۴- تاثیر دگرسانی بر کیفیت منابع آب

دگرسانی پدیده‌ای است طبیعی که با ورود و خروج عناصر از سنگ همراه بوده که خود منجر به تغییرات شیمیایی، کانی شناختی و بافتی سنگ می شود. بسته به نوع دگرسانی، کانه زایی های مختلفی ممکن است آن را همراهی کنند. مجموع این عوامل می توانند ترکیب املاح آبهای سطحی و زیرزمینی را دستخوش تغییر کنند.

#### ۳-۴-۱- تاثیر دگرسانی بر برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب

ویژگی غالب آبهای عبوری از مناطق با دگرسانی آرژیلیک (عمدتاً) و سرسیتیک و فیلیک (به مقدار کمتر) را می توان به صورت زیر معرفی کرد:

۱- این آبها نسبتاً گرم هستند (Karakaya et al. 2007). گرمای تولید شده از واکنشهای اکسیداسیون

سولفیدها ممکن است به قدری برسد که آنومالیهای گرمایی قابل اندازه گیری را تولید کند. گرمای اضافی

تولید شده (نسبت به محیط) می تواند توان بالقوه تولید اسید را مشخص کند (Eward, 1995).

۲- عموماً اسیدی تر هستند. اکسایش سولفیدها (که ممکن است در واحدهای دگرسان شده آرژیلیکی فراوان

باشد) مهمترین منبع افزایش اسیدیته در این آبها هستند. کانیهای سولفیدی نظیر پیریت با بافت افشان در



میان برشها و در رگچه های سنگهای دیواره دگرسان شده در زونهای دگرسان آرژیلیک حضور دارند. اکسایش این کانپها می تواند پس از مصرف کردن تمام ظرفیت بافر سازی سنگ، pH آب را پایین آورده و کانپهای سولفاته با قابلیت تولید مجدد اسیدیته را بسازد (Eward, 1995). با افزایش زمان ماندگاری آب در واحدهای دگرسان شده و افزایش سطح تماس آب با توده دگرسان شده، pH کاهش شدیدی نشان می دهد. آبهای با pH پایین غلظت بیشتری از فلزاتی را دارا هستند که برای سلامت محیط زیست و انسان مضر هستند. در سطح زمین این گونه آبها اغلب دارای رنگ هستند (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵). گرچه بین ترکیب کانی شناسی سنگها و خاکها و اسیدیته آب های سطحی رابطه ای کاملاً خطی و مستقیم وجود ندارد ولی به طور کلی می توان بر اساس ترکیب سنگ و خاک منطقه، اسیدیته آنها و یونهای محلول را پیش بینی کرد (Probst et al. 2000). همچنین اوانز و همکارانش تاکید کرده اند که ترکیب خاکها و سنگهای مسیر جریان آب یکی از عوامل خارجی مؤثر در تعیین pH و ترکیب شیمیایی آبهای سطحی می باشند (Evans et al. 2000).

۳- هدایت الکتریکی (EC) و مجموع املاح جامد حل شده (TDS) در آنها بالاست و در مواردی مقدار TDS نه تنها از حد مجاز که از حد مسمومیت را نیز فراتر می رود (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵). آبها بر حسب TDS خود از بی رنگ تا قهوه ای طبقه بندی می شوند (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵، Karakaya et al., 2007). در شرایط برابر مقدار هدایت الکتریکی می تواند معرفی برای مقایسه میزان تماس آب و واحدهای دگرسان شده باشد (Baba and Gunduz, 2009).

۴- این آبها عموماً حالت اکسیدان (Eh مثبت) دارند (Karakaya et al., 2007).

۵- ویژگی دیگر آبهای عبوری از مناطق دگرسان شده نامناسب بودن آنها برای شرب و حتی کشاورزی است. در مطالعه طلایی و پیروان (۱۳۸۵) اغلب چشمه ها و چاههای مناطق دگرسان شده آرژیلیکی در کلاس  $C_4S_2$  و  $C_4S_1$  (آبهای خیلی شور و مضر برای کشاورزی) قرار داشته اند.

۶- به تبع افزایش TDS در آبهای عبوری از مناطق دگرسان شده آرژیلیکی، سختی کل نیز افزایش چشم گیری می یابد (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵، ساریخانی و همکاران، ۱۳۸۴).

## ۳-۴-۲- تاثیر دگرسانی بر کاتیونها و آنیونهای اصلی

دگرسانی‌های آرژلیک، آرژلیک پیشرفته و آلونیتی در محیط‌های غنی از  $\text{SO}_4^{2-}$  و  $\text{H}^+$  (اسیدی) رخ می‌دهند (کریم پور وسعدت، ۱۳۸۵). نتیجه این دگرسانی‌ها افزایش مقدار گوگرد در سنگ به همراه هیدرولیز شدید سنگهاست (Pirajno, 2009). گوگرد وارد شده به سنگ می‌تواند کانیهای سولفات (آلونیت، ژاروسیت و انهدیریت) و یا کانیهای سولفیدی (پیریت، پیروتیت، کالکوپروتیت، انارژیت) را در سنگ نهشته کند. کانیهای سولفات پس از انحلال (ساریخانی و همکاران، ۱۳۸۴) و کانیهای سولفیدی پس از اکسایش و انحلال محصولات، یون سولفات را به آبهای عبوری از مناطق دگرسان وارد می‌کنند (Eward, 1995). به این دلیل یون سولفات یکی از آنیونهای اصلی و فراوان در آبهای زیرزمینی و سطحی در مناطق دگرسان شده است (طلایی و پیروان، ۱۳۸۵، ساریخانی و همکاران، ۱۳۸۴) و همواره تیپ آب سولفات است (Karakaya et al., 2007).

واکنشهای تعادلی بین آب و کانی‌های سازنده سنگ و محصولات دگرسانی، غلظت کاتیونهای اصلی را کنترل می‌کند (Grasby et al., 2000). به طور کلی در آبهای عبوری از مناطق دگرسان شده  $\text{Na}+\text{K}<\text{Ca}+\text{Mg}$  است (Karakaya et al., 2007). در این میان کلسیم کاتیون غالب در آبهای عبوری از مناطق دگرسان شده است. کلسیم از منابع متعددی می‌تواند تامین شود. پلاژیوکلازها (محلول جامد  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) که به طور معمول در سنگهای آذرین اسیدی، حدواسط و بازیک یافت می‌شود) و دیگر سیلیکاتهای کلسیم دار (Hounslow, 1995) در تماس با محلولهای هیدروترمالی اسیدی پس از تخریب ساختار کانی، کلسیم خود را آزاد می‌کنند. کلسیم آزاد شده در ساختار کانیهای ثانویه (کلسیت، ژنپس، دولومیت) یا به صورت قابل تبادل در کانیهای رسی، باقی می‌ماند. هر کدام از کانیهای ثانویه کلسیم دار تحت شرایط مختلفی کلسیم خود را آزاد کرده و در نهایت وارد آبهای زیرزمینی می‌کنند (Grasby et al., 2000).

## ۳-۴-۳- تاثیر دگرسانی بر غلظت فلزات سنگین در آب

همانطور که اشاره شد دگرسانی با تهی شدگی و غنی شدگی عناصر در سنگ همراه است. بر همکنشهای بین آب و سنگ باعث می‌شود تا این تهی شدگی و غنی شدگی عناصر در تغییرات غلظت فلزات در آبهای عبوری از سنگهای دگرسان شده نیز منعکس شود. موارد متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد دگرسانی و کانه زایی همراه آن باعث

افزایش غلظت عناصر در آب شده‌اند. بررسی آب دو چشمه در منطقه Biga Peninsula که از حد فاصل زونهای سیلیسی (با درز و شکستگی فراوان) و آرژیلیک (با نفوذپذیری کم) به سطح زمین می‌رسید نشان داد که غلظت Al در آب دو برابر مقدار میانگین غلظت تمام عناصر مطالعه شده و بیشترین غلظت را دارا بوده است. علاوه بر آن غلظت عناصر Zn, As, Ba, Cr, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb در آب نیز از استانداردهای ملی و بین‌المللی فراتر بوده است (Baba and Gunduz, 2009). همچنین نتایج یک تحقیق نشان داد در آب تحت تأثیر مناطق دگرسان شده غلظت U و B, Zn, Mn بیشترین مقادیر را داشته‌اند، در حالی که Ce و Mo, V, Cd, Be کمترین غلظت را دارا بوده‌اند (Karakaya et al., 2007). در این میان برخی عناصر از قبیل Al, Be, Cd, Pb, Fe و Mn که قادرند مشکلات جدی برای سلامت محیط زیست ایجاد کنند در آبهای اسیدی عبور کرده از مناطق دگرسان غلظت بیشتری می‌یابند (Smedley, 1996). عموماً در زونهای آرژیلیکی و کائولینیتی غلظت Sr و Ba در آب اندک است. زیرا وفور سولفات در این آبها باعث تشکیل سولفات باریوم و استرانسیم شده و همواره غلظت آن را پایین نگه می‌دارد. این امر با نزدیک شدن به زون آلونیتی تشدید می‌شود، در حالی که غلظت پتاسیم با نزدیک شدن به زون آلونیتی افزایش می‌یابد (Karakaya et al., 2007). افزایش غلظت عناصر در نهایت باعث تشکیل کانیهای حاوی عناصر و رسوب آنها می‌شود. افزایش غلظت Fe, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> و Ca می‌تواند منجر به تشکیل رسوب ژیس، آلونیت و گوتیت در مظهر چشمه‌ها شود (Celik et al., 1997). این رسوبات به همراه دیگر رسوبات سولفات، اکسید و اکسی هیدروکسید عناصر قادرند با جذب عناصر سنگین آنها را از آب حذف کنند.

نسبت فراوانی عناصر در آنها به عوامل متعددی بستگی دارد. چنانچه در رودخانه های عبوری از مناطق بازالتی، فراوانی عناصر به صورت رابطه (۲-۳) است (Gislason et al., 1996)

$$\text{Na} > \text{Ca} \approx \text{Mn} > \text{Sr} \approx \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Al} \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

در حالی که این توالی در آب چشمه های خارج شده از بازالت های جوان (با ۰,۲ میلیون سال سن) به صورت رابطه (۳-۳) بوده است:

$$\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} \approx \text{Mg} > \text{Sr} > \text{Al} > \text{Mn} > \text{Fe} \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

و این توالی در آب چشمه های خارج شده از بازالت های قدیمی تر (با ۷,۷ میلیون سال سن) به صورت رابطه (۴-۳) تغییر کرده است (Bau et al., 1998):

$$\text{Na} > \text{Ca} \approx \text{Mg} \approx \text{K} > \text{Sr} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Al}$$

رابطه ۳-۴

علاوه بر سن و جنس سنگها، وجود فعالیتهای معدنکاری، وجود درز و شکستگی در سنگ، نرخ رواناب و پوشش گیاهی نیز بر شیمی آب چشمه‌ها مؤثر هستند (Karakaya et al., 2007). تشکیل زهابهای اسیدی طبیعی<sup>۴</sup> همراه با مناطق کانه زایی و دگرسان شده است. در عمده نواحی با دگرسانی و کانه زایی، کیفیت آب پایین می‌باشد و این نقصان در اطراف مناطق کانه زایی افشان، مس-مولیبدن یا مولیبدن پرفیری تشدید می‌شود. در واقع در نواحی دگرسان، شیمی آب مستقیماً با نوع دگرسانی هیدروترمالی و شدت آن (درجه جایگزین شدن سنگ میزبان) ارتباط دارد. نواحی دگرسان نشده یا دارای دگرسانی پروپلیتیکی، کمترین درجه تأثیر بر آب را داشته‌اند و به تدریج زونهای دگرسانی اسید-سولفات، کوارتز-سرسیت-پیریت و آرژلیکی اثرات چشمگیرتری بر کیفیت آب می‌گذارند. چنین تغییراتی را می‌توان به دلیل تفاوت در قابلیت تولید اسید و قابلیت خنثی سازی اسید در مجموعه های دگرسانی دانست. به طور کلی در نمونه های آب در نواحی دگرسان شده، همبستگی مثبت قوی بین Al, Fe, Mn, Cu, Cd, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> و Zn, Ni, Si با کاهش pH نشان داده می‌شود (Sares et al., 2006). البته مقدار فلزات محلول و pH آب علاوه بر نوع دگرسانی و مجموعه کانیهای وابسته، توسط قابلیت خنثی سازی اسید توسط سنگها و میزان اختلاط با دیگر آنها نیز تعیین می‌شود (Wright and Simon, 2003).

### ۳-۵- برهمکنشهای بین آب و سنگ

به طور کلی برهمکنشهای آب و سنگ (و یا سیال و سنگ) به تمام واکنشهایی که بین یک سیال و یک سنگ رخ می‌دهد، اطلاق می‌شود. سنگ در این تعریف ممکن است جامد یا مذاب بوده و یا منظور خاک حاصل شده از سنگ باشد. سیال نیز عمدتاً محلولی است که بخش اصلی آن آب بوده و حاوی دیگر اجزا فرعی حل شده در آن می‌باشد. در برهمکنشهای بین آب و سنگ، آب ممکن است از منشأ گرمایی، دگرگونی، جوی، دریایی، آبفشانی یا ترکیب آنها باشد.

<sup>4</sup> ARD: Acid Rock Drainage

مهم ترین تأثیر برهمکنشهای آب و سنگ، تغییرات شیمیایی و ایزوتوپی در آب و سنگ است. تغییرات شیمیایی و ایزوتوپی ابزار مناسبی هستند که در شناخت پارامترهای مؤثر نظیر دما، pH، فشار و تبدیلات کانپها کمک شایانی می کنند.

با توجه به تنوع سنگها، سیالات و واکنشها، برهمکنشهای آب و سنگ در بسیاری از زمینه های علوم زمین به طور وسیعی مطالعه شده اند. از جمله این مطالعات می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. فرآیندهای وابسته به برهمکنشهای آب و سنگ در خاکها (Quinn, 1991; Benedetti et al., 2003)
۲. دگرسانی سنگها در کف دریاها (Robert et al., 2003; Lecuyer et al., 1995)
۳. تفسیر برهمکنشهای سیال-سنگ در درک وقایع برخورد پوسته ها نظیر فرورانش پوسته اقیانوسی و یا تصادم قاره-قاره (von Huene and Scholl, 1991)
۴. برهمکنشهای آب و سنگ در طول عوارض ساختاری زمین (Goddard and Evans, 1995 ; Rolland et al., 2003)
۵. تأثیر برهمکنشهای آب و سنگ بر پارامترهای فیزیکی سنگ (Newman and Mitra, 1993 ; Zulanf et al., 1999)
۶. تشکیل و تبدیلات رسها (Buatier and Karpoff, 1995 ; Christidis, 1998)
۷. نهشته شدن کانسارها (Boiron et al., 2001; Faure et al., 2002)
۸. دفن زیاله های هسته ای (Lekhov et al., 2002)
۹. آلودگیهای زیست محیطی (Savage et al., 2002 ; Elhatip et al., 2003)

در مطالعه سیستمهای آب و سنگ بخشهای درگیر در برهمکنشها به دو دسته تقسیم می شوند: ترکیب ایزوتوپی و عنصری اولیه سیال و ترکیب ایزوتوپی و عنصری سنگ. صرفنظر از نوع واکنش تبادلی رخ داده بین سیال و سنگ، درجه تحرک اجزا سنگ، تغییرات ایزوتوپی و عنصری محصولات واکنش را تحت تأثیر قرار می دهد. از این رو رفتار متفاوت ایزوتوپها و عناصر در واحدهای زمین شناختی مختلف یک مزیت محسوب می شود.

حالت شیمیایی (صورت‌های انتقال و تبدیل) عناصر در آب زیرزمینی و مسیرهایی که آنها در فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی شرکت می‌کنند، مبنای شبیه سازی برهمکنش‌های فیزیکوشیمیایی در سیستم آب-سنگ هستند. حضور سیستم‌های چند جزئی پیچیده در حالی که عناصر نه به صورت کاتیون یا آنیون ساده بلکه به صورت ترکیباتی با پیچیدگی و پایداری متفاوت حضور دارند، پیچیدگی بررسی واکنش‌های آب-سنگ را نشان می‌دهند. (Vartanyan et al., 1984). به طور مثال چرخش آب در شیلها در حین نفوذ دایک بازالتی با شکستگی مدادی فراوان در شیل همراه است. با توجه به منشأ جوی آب و به دلیل عبور از واحدهای آهکی که منبعی برای یون استرانسیم است، نسبت ایزوتوپی استرانسیم در واحدهای شیلی تغییر می‌یابد. در دمای بیش از  $150^{\circ}\text{C}$  تغییرات کانی شناختی می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شیلها به ویژه بخش رسی آن را تغییر دهد (Techer et al., 2006). برهمکنش‌های بین آب و سنگ در واحدهای کارستی عامل افزایش  $\text{Mg}$  و  $\text{Ca}$  در آب عبوری از واحد کربناته آهکی و افزایش  $\text{Mg}$  در واحد دولومیتی می‌باشد.

### ۳-۵-۱- انحلال و رسوب

یکی از انواع برهمکنش‌های رخ داده بین آب و سنگ انحلال اجزا در سیال و تبدیلات کانیهاست. طی انحلال، بخش زیادی از عناصر از کانیهای اولیه خارج شده و پس از طی واکنش‌های متوالی وابسته به یکدیگر و تبلور کانیهای ثانویه را در پی دارند که عمدتاً در نواحی دگرسان به ویژه رگه و رگچه‌ها ممکن است مشاهده شوند (Turpault et al., 1992).

انحلال اجزا سنگ بستر و کانیهای اصلی، نقش اصلی را در تعیین ماهیت ژئوشیمیایی آبهای طبیعی بازی می‌کنند. منشأ اصلی گونه‌های حل شده در آبهای طبیعی، سنگها و کانیهایی هستند که با آب تماس پیدا می‌کنند. به محض اینکه سنگ و آب با هم تماس پیدا می‌کنند برهمکنش‌های آب و سنگ آغاز شده و به سمتی پیش می‌روند که سنگ با آب دارای املاح حل شده به تعادل برسند. در آنها عموماً  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$  از انحلال اسفالریت،  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$  از انحلال پیریت و  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  از انحلال کانی ژیپس و یا اکسایش و واکنش کلسیت و پیریت منشأ می‌گیرد (Nordstrom and McClesky, 2006). غلظت اجزا در محلول متناسب با واکنش پذیری سنگ بستر حوضه آبریز است. بنابراین ترکیب شیمیایی آب معرف مناسبی برای زمین شناسی حوضه آبریز است. چنانچه از نسبت غلظتهای سولفات به فلز در شرایط اسیدی می‌توان به عنوان معرف نرخ هوازدگی استفاده کرد (Nordstrom and McClesky,

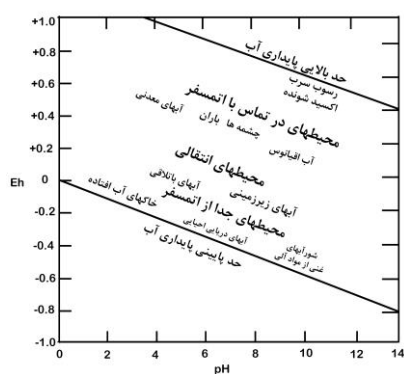
2006). اندیس اشباع شدگی، شاخص مناسبی جهت بررسی قابلیت آب در انحلال و رسوب کانیها می‌باشد. این پارامتر برای کانیها با استفاده از رابطه (۳-۵) محاسبه می‌شود:

$$SI = \text{Log} \frac{IAP}{K_{\text{Sat}}} \quad \text{رابطه ۳-۵}$$

در این رابطه SI اندیس اشباع کانی مورد نظر، IAP حاصلضرب فعالیت یونی محصولات با توجه به یک کانی خاص و  $K_{\text{Sat}}$  حاصلضرب انحلالی همان کانی است. پایین بودن حاصلضرب فعالیت یونها نسبت به آنچه برای تشکیل کانی لازم است (یعنی  $IAP > K_{\text{Sat}}$ ) باعث منفی شدن SI و در نتیجه ادامه روند انحلال کانی می‌شود. بالا بودن حاصلضرب فعالیت یونها نسبت به آنچه برای تشکیل کانی لازم است (یعنی  $IAP < K_{\text{Sat}}$ )، باعث مثبت شدن SI و در نتیجه باعث تشکیل رسوب آن کانی از آب می‌شود. در شرایط تعادل، که یونهای موجود در محلول برابر آنچه از تشکیل کانی انتظار می‌رود، می‌باشد (یعنی  $IAP = K_{\text{Sat}}$ )، مقدار  $SI = 0$  و انحلال و رسوب کانی در آب به حالت تعادل می‌رسند.

### ۳-۵-۲- اکسیداسیون و احیا

واکنشهای اکسیداسیون و احیا و تبادل الکترونها بین گونه‌های شیمیایی، نقش مهمی در تغییر ماهیت گونه‌ها و تبادل آنها بین آب و سنگ دارد. منحنی‌های Eh-pH در سیستمهای مختلف حاوی عناصر نشان می‌دهد که تغییرات شرایط اکسیداسیون و احیا و pH می‌تواند باعث تثبیت و یا تحرک گونه‌ها شود. شکل (۳-۱) مرزهای پایداری آب و شرایط Eh-pH را برای برخی از محیطهای طبیعی نشان می‌دهد. آبهای زیرزمینی در محدوده بین شرایط احیایی و اکسیدان و شرایط اسیدی و بازی قرار دارند و این محدوده برای توصیف گونه‌های شیمیایی مختلف موجود در آب استفاده می‌شود.



شکل ۳-۱- شرایط Eh-pH برخی از محیطهای طبیعی (مر و شرفی، ۱۳۷۳)

اندازه‌گیری غلظت فلزاتی نظیر آرسنیک در رسوبات نشان داد که فازهای جامد و آمورف نظیر اکسیدهای آهن و آلومینیوم مهمترین حاملان این فلزات هستند (Gault et al., 2005). احیا این ترکیبات می‌تواند با آزاد سازی فلزات از قبل جذب شده بر روی آن و افزایش غلظت آنها در آب همراه باشد. عمق آب زیرزمینی می‌تواند در تعیین شرایط اکسیدان آب مؤثر باشد، چنانچه امکان دارد در آبهای زیرزمینی در اعماق کم ( $m > 15$ ) به دلیل وجود شرایط اکسیدان، ترکیبات اکسی هیدروکسیدهای آهن غنی از آرسنیک وجود داشته باشد (Myoung et al., 2002).

آهن آزاد شده از واکنشهای احیای اکسی هیدروکسیدهای آهن، از رسوبات جدا و متحرک شده و از سفره آب زیرزمینی به سمت بیرون حرکت می‌کند. در نزدیکی سطح زمین به دلیل اکسایش دوباره رسوب کرده و پوشش آهنی را بر روی سطح ذرات می‌سازد که نه تنها واکنش پذیری و قابلیت جذب فاز جامد را تغییر می‌دهد بلکه نفوذپذیری دانه‌ها را با سیمانی شدن و پر شدن فضای خالی توسط رسوبات اکسید آهن تغییر می‌دهد. حضور اکسی هیدروکسیدهای آهن با تغییر ماهیت شدت واکنش‌های بین گونه‌های جذبی و سطوح کانی‌ها، واکنش پذیری رسوبات آبخوان را پیچیده می‌کند (Herman et al., 2000).

### ۳-۵-۳ جذب سطحی و آزاد سازی

جذب سطحی، حذف گونه‌های شیمیایی حل شده از طریق اتصال به سطح ذرات جامد است. قابلیت انحلال و دستیابی زیستی فلزات سنگین در خاک توسط خصوصیات جذب سطحی خاکها نظیر pH، پتانسیل احیا، میزان و نوع کانیها رسی، میزان مواد آلی خاک، میزان اکسیدهای آهن و منگنز و کربنات کلسیم کنترل می‌شود (Mclean and Bledsoe, 1992; Rieuwerts et al., 2006). فرآیندهای جذب سطحی بین سطوح هیدروکسیل (متصل به اتم Al) در کانی‌های رسی رخ می‌دهد. به طور مثال در آزمونهای انجام شده با محلول حاوی 5mg/L بور در pH ۷-۹ روی کائولینیت، حداکثر جذب سطحی ۰.۵-۱.۵ mmol/Kg اندازه‌گیری شده است (Gonfiantini and Pennisi, 2006). البته معمولاً جذب سطحی فلزات با افزایش pH افزایش و با افزایش قدرت یونی کاهش می‌یابد. از این روست که قدرت یونی محلول نقش اساسی در تعیین رفتار جذب سطحی فلزات توسط مواد مختلف ایفا می‌کند. چنانچه در محلول NaCl با افزایش قدرت یونی محلول جذب سطحی فلزات توسط گوتیت و گیبسیت کاهش می‌یابد. در جذب سطحی فلزات رقابت وجود دارد. در شرایط اسیدی توالی انتخابی زیر (رابطه ۳-۶) در



جذب سطحی فلزات بر روی سیلیس وجود دارد:



و در همین شرایط توالی انتخابی زیر (رابطه ۳-۷) در جذب سطحی فلزات بر روی اسیدهای هومیک وجود دارد:



از عوامل مؤثر در غلبه نسبی یونها در جذب سطحی، بار و شعاع یونهای آبیوشیده آنها است (Rieuwerts et al., 2006). به طور کلی پارامترهای pH (James and Healy, 1972) نوع و غلظت جاذب و یون جذب شونده (Spark and Swift, 2002)، قدرت یونی و حضور یونهای دیگر (Ikhsan et al., 1999) در میزان جذب سطحی فلزات مؤثر هستند.

### ۳-۵-۴- تبادل یونی

کاتیونهای رسی، رایج ترین تبادلگرهای یونی موجود در خاک و سفره آبدار هستند. بخش عمده‌ای از ظرفیت تبادل کاتیونی رسها حاصل بارهای دائمی روی سطح رس بوده و تابع pH هستند. با پایین آمدن pH، یونهای  $\text{H}^+$  که در محیط فراوان می شوند با سرهای آزاد باردار (منفی) پیوند خورده و فضای لازم برای جذب سطحی دیگر کاتیونها را اشغال می کنند و مانع جذب سطحی آنها می شود. با بالا رفتن pH و کم شدن فعالیت یونهای  $\text{H}^+$  در محیط، فضای لازم برای تبادل یونی در اختیار دیگر کاتیونها قرار می گیرد. مواد آلی از دیگر مواد با ظرفیت تبادل یونی بالا در محیط هستند. منشأ اصلی بار منفی آنها وجود سرهای آزاد کربوکسیلیک ( $-\text{COOH}$ ) و فنلی ( $\text{R-OH}$ ) است. مواد آلی نیز نظیر رسها بخشی از ظرفیت تبادل یونی شان وابسته به pH است. در مجموع ظرفیت تبدالی یونی خاک تابعی از مقدار رس و مواد آلی است.

در کنار تبادل کاتیونی، آنیونها نیز توسط رسها می توانند تبادل شده و تعویض شوند. از آنجا که تبادل یونی پدیده‌ای وابسته به بار ذرات است، بنابراین گونه‌های با بار بیشتر به صورت ترجیحی بیشتر جذب می شوند. در صورت وجود کاتیونهای زیر با غلظت برابر، رابطه (۳-۸) برای رقابت در تبادل یونی بین آنها برقرار است:

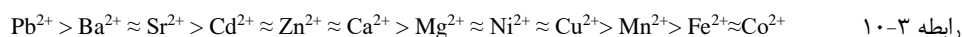


یونهای با شعاع کوچکتر می توانند به سطح بیشتر نزدیک شوند و با کاهش شعاع یونها مولکولهای آب بیشتری آنها را احاطه می کنند و این باعث کاهش شعاع مؤثر یونها می شود. بنابراین آنچه در قابلیت تبادل یونی یونهای با بار

یکسان مهم است، شعاع مؤثر یونهای آبپوشیده است نه شعاع یونهای آزاد. رقابت در تبادل کاتیونی یونهای یک ظرفیتی به صورت رابطه (۳-۹) است:



توالی انتخابی زیر (رابطه ۳-۱۰) بین کاتیونهای فلزات سنگین در تبادل یونی آنها برقرار است



تبادل یونی بر خلاف انحلال و رسوب گذاری نقش مهمتری در کنترل شیمی آب منفذی بین ذرات رسی دارد (Sanjuan et al., 1994 ; Appelo and Postma, 1994).

### ۳-۵-۵- تشکیل کانیهای ثانویه

تشکیل کانیهای ثانویه حاوی فلز باعث کاهش غلظت عناصر در آب می‌شود. تشکیل کانی به طور مستقیم و گاه از طریق هم رسوبی و جایگزینی در ساختار کانی به طور غیر مستقیم باعث کاهش غلظت فلز می‌شود. زمانی که کانیهای خنثی کننده اسید به اندازه کافی وجود داشته باشند، اسید تولید شده از اکسایش سولفیدها خنثی شده و غلظت فلزات بالقوه سمی در آبهای منفذی نسبتاً کاهش می‌یابد (McGregor et al., 1998). تشکیل کانیهای ثانویه یا رسوب گذاری در طول واکنشهای خنثی سازی-اکسایش موقتاً یا برای همیشه غلظت فلزات سنگین را کاهش می‌دهد (Holmstrom and Ohlander, 2001). در شرایط اکسیدان و غلظت کافی از عناصر، تشکیل کانی اسکورودیت می‌تواند باعث کاهش غلظت As در آب شود (Roussel et al., 2000). غلظت و تحرک فلزات بالقوه سمی توسط یک سری از واکنشهای جذبی و رسوبی کنترل می‌شود. غلظت خیلی کم Pb در pH پایین ممکن است به دلیل رسوب پلمبوژاروسیت و آنگلزیت (که در شرایط اسیدی حل نمی‌شوند) باشند که با افزایش pH و انحلال سولفاتهای سرب غلظت سرب در آب افزایش می‌یابد. تشکیل کانی بئودانتیت در شرایط تقریباً اسیدی تأثیر قابل توجهی بر کاهش غلظت Pb و As دارد. از طرفی حضور Cu و Zn در ساختار این کانی مقاومت آن را در برابر انحلال افزایش می‌دهد. بنابراین انتظار می‌رود کانی بئودانتیت برای مدت زمان طولانی غلظت Pb و As را کاهش دهد (Romero et al., 2007) به طور مثال جذب سطحی و هم رسوبی با رسوبات آهن دار نقش مهمی در کاهش غلظت و تحرک فلزات Cu, Cd و Zn بازی می‌کند و نیز آرسنیک در ژاروسیت می‌تواند به صورت تتراندراهای

AsO<sub>4</sub> جایگزین سولفات شود (Gault et al., 2005). ژاروسیت کانی ثانویه‌ای است که می‌تواند از اکسایش پیریت

به وجود آید و حاوی مقادیر قابل توجهی از Zn, Pb و As باشد (Jamieson et al., 2005).

فصل چهارم

# روش انجام تست

این فصل شامل بخشهای زیر می باشد:

مقدمه

نمونه براری

روشهای آنالیز نمونه ها

#### ۴-۱- مقدمه

انتخاب روش مناسب جهت انجام تحقیق و آنالیزهای مختلف از جمله موارد ضروری جهت انجام تحقیق می باشد. در این فصل به توضیح مراحل انتخاب محل نمونه برداری و تعداد نمونه ها، نحوه نمونه برداری ها، آماده سازی نمونه های آب و سنگ در صحرا و آزمایشگاه و در نهایت آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه ها به طور جداگانه برای نمونه های آب و سنگ پرداخته شده است.

#### ۴-۲- نمونه برداری

نمونه برداری مرحله ای حساس و بسیار با اهمیت در هر تحقیقی می باشد. اشتباه و عدم شناخت کافی از منطقه می تواند خطاهای فاحشی را در نمونه برداری و تعبیر و تفسیر و نتیجه گیری ایجاد کند. در این تحقیق نمونه برداری به دو صورت دوره ای و غیر دوره ای انجام پذیرفت. نمونه برداری های دوره ای مختص آبهای زیرزمینی بوده و از این منابع آبی در بازه های زمانی مشخص و در پایان فصل خشک و پایان فصل تر (آبان و خرداد) نمونه برداری گردید. نمونه برداری های غیر دوره ای در مورد سنگها و خاکهای منطقه انجام شده است.

#### ۴-۲-۱- تعیین محل نمونه برداری

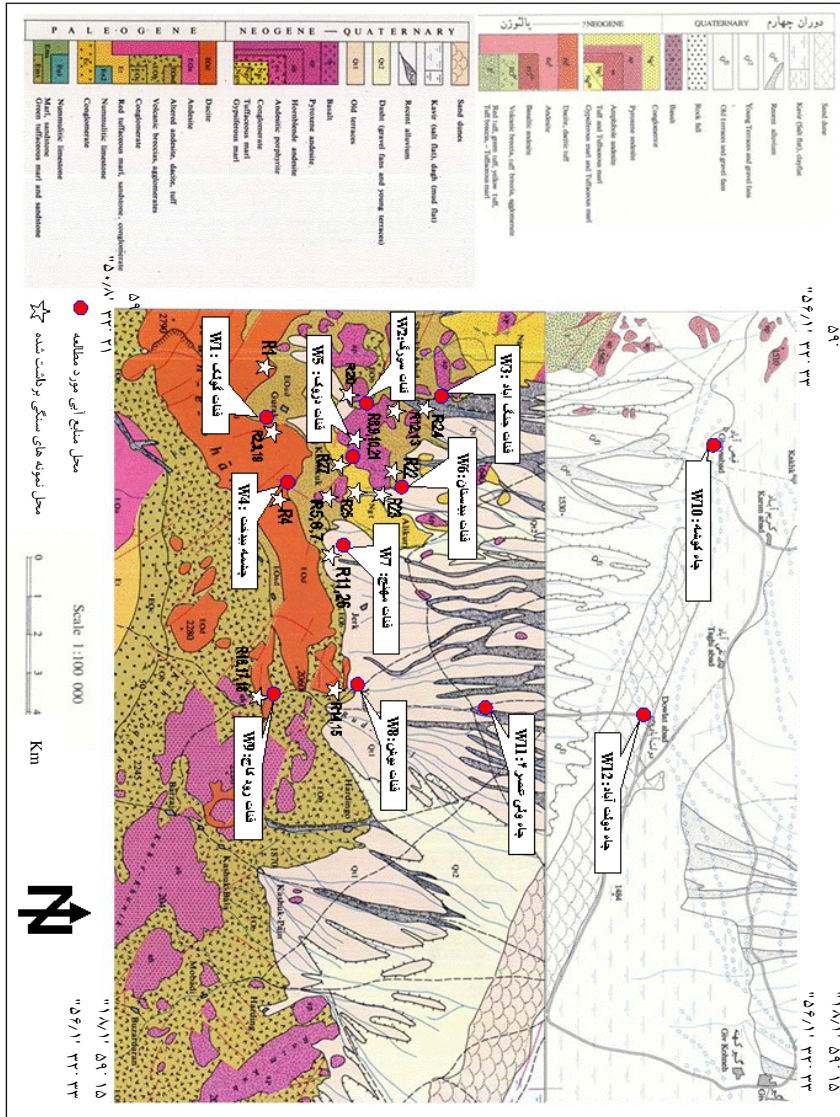
#### - نمونه برداری آب

در منطقه مورد مطالعه بیش از ۲۰ قنات و چشمه وجود دارد. چندین چاه نیز در میانه دشت عموماً در فصول کشت و کار فعال هستند. دبی این منابع آب متغیراند و برخی از قنات طی چند سال اخیر خشک شده اند. آب استحصال از این منابع به منظور کشاورزی، شستشو، شرب دام و انسان استفاده می شود. هر ساله میزان سطح زیر کشت را دبی این منابع تعیین می کنند. در انتخاب منابع آبی جهت نمونه برداری دو عامل در نظر گرفته شد: ۱- جمعیت روستائیان استفاده کننده از منابع آب، ۲- دوری و نزدیکی به واحدهای دگرسان شده. با توجه به این عوامل ۸ قنات و ۱ چشمه و ۳ چاه انتخاب شدند. ابتدا از آب ۵ قنات (محل مظهر) و ۱ چشمه در انتهای فصل خشک (آبان ۸۷) نمونه برداری شد. پس از آشنایی با شرایط کیفی آنها نمونه برداری دوره ای دوم در انتهای فصل تر

(خرداد ۸۸) به طور کامل بر روی تمامی ۱۲ منبع آبی صورت پذیرفت. در شکل ۴-۱ محل‌های نمونه برداری و در جدول (۴-۱) منابع آب نمونه برداری شده در این تحقیق به همراه مختصات و زمان نمونه برداری مشخص شده است.

- نمونه برداری سنگ

برای نمونه برداری از سنگها نیز چند عامل در نظر گرفته شد: ۱- موقعیت نسبت به منبع آبی ۲- وسعت رخنمون یافته در سطح ۳- احتمال تأثیرگذاری، به لحاظ دارا بودن کانی های مؤثر بر کیفیت آب (نظیر کانی های رسی، سولفیدها و کانیهای محلول). با توجه به تمامی جوانب، از نمونه های سنگی جمع آوری شده، ۱۹ مقطع نازک تهیه گردید و ۱۳ نمونه جهت آنالیز ICP-MS ارسال شد (جدول ۴-۲). در شکل ۴-۱ و جدول ۴-۲ محل و مشخصات نمونه‌های سنگی مشخص گردیده است.



شکل ۴-۱- نمایش محل‌های نمونه برداری آب و سنگ بر روی نقشه زمین‌شناسی (برگرفته از نقشه‌های ۱۱۰۰۰۰۰۰ بیرجند و مجتازان)

جدول ۴-۱- مشخصات منابع آبی مطالعه شده در این تحقیق

مختصات مظهر	نمونه برداری		نوع منبع	نام منبع آبی	شماره نمونه
	خرداد ۸۸	آبان ۸۷			
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۵'-۳۶,۴۸" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۱'-۵۶,۷۶"	*	*	قنات	گولک	W۱
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۷'-۵,۳۴" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۱'-۴۶,۳"	*	-	قنات	سورگ	W۲
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۸'-۱۶,۴" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۱'-۵۱,۰"	*	*	قنات	جنگ آباد	W۳
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۵'-۱۶,۸۴" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۳'-۵,۹۴"	*	*	چشمه	بیدخت	W۴
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۶'-۳۶,۰" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۳'-۳۵,۱۶"	*	*	قنات	دزوک	W۵
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۷'-۴۰,۸" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۳'-۰۳,۵"	*	*	قنات	بیدستان	W۶
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۶'-۳۸,۷" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۴'-۲۵,۵"	*	*	قنات	مهنج	W۷
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۶'-۵۴,۹" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۷'-۰۶,۰"	*	-	قنات	یوش	W۸
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۵'-۱۱,۷" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۷'-۲۷,۸"	*	-	قنات	رود کاج	W۹
۳۲ <sup>۰</sup> -۲۳'-۲۰,۸" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۳'-۱۸,۳"	*	-	چاه	کوشه	W۱۰
۳۲ <sup>۰</sup> -۳۰'-۲۹,۹" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۷'-۴۹,۹"	*	-	چاه	چاه ولی عصر ۴	W۱۱
۳۲ <sup>۰</sup> -۳۱'-۵۶,۹" ۵۹ <sup>۰</sup> -۰۸'-۳۵,۳"	*	-	چاه	دولت آباد	W۱۲



جدول ۴-۲- مشخصات نمونه های سنگی و خاک برداشت شده

مقطع تازک	آتالیز	منبع آبی مرتبط (موقعیت)	مختصات	نوع نمونه	شماره نمونه سنگی
	ICP-MS				
*	-	قنات گولک و سورگ	۵۹° ۱' ۳۹.۴۷" ۳۲° ۲۵' ۳۶.۶۸"	سنگ	R1
*	-	قنات گولک	۵۹° ۱' ۵۶.۷۶" ۳۲° ۲۵' ۳۶.۶۸"	سنگ	R2
*	-	قنات گولک	۵۹° ۱' ۵۸.۸" ۳۲° ۲۵' ۳۱.۴۴"	سنگ	R3
*	*	چشمه بیدخت	۵۹° ۳' ۸.۵۳" ۳۲° ۲۵' ۴۴.۳۸"	سنگ	R4
*	-	قنات بیدستان	۵۹° ۳' ۱۹.۴۱" ۳۲° ۲۶' ۲۶.۵۲"	سنگ	R5
*	-	قنات بیدستان	۵۹° ۳' ۱۵.۱۴" ۳۲° ۲۶' ۳۶.۵۳"	سنگ	R6
*	-	قنات بیدستان	۵۹° ۳' ۸.۴۳" ۳۲° ۲۶' ۳۷.۲۶"	سنگ	R7
*	-	قنات دروک	۵۹° ۳' ۳۳.۴۷" ۳۲° ۲۶' ۳۲.۰"	سنگ	R8
*	-	قنات دروک	۵۹° ۳' ۳۳.۰۶" ۳۲° ۲۶' ۳۲.۰"	سنگ	R9

جدول ۴-۲- اندازه

شماره نمونه سنگی	نوع نمونه	مختصات	منبع آبی مرتبط (موقعیت)	آنالیز	
				ICP-MS	مقطع تازگی
R10	سنگ	۵۹° ۳۱' ۳۱.۵۷" ۳۳° ۲۶' ۳۳.۶۳"	قنات دزوک	-	*
R11	سنگ	۵۹° ۵۱' ۳۳.۰۳" ۳۳° ۲۶' ۵۹.۰۰"	قنات مینج	-	*
R12	سنگ	۵۹° ۱' ۵۶.۷۳" ۳۳° ۲۷' ۲۸.۹۹"	قنات جنگ آباد	*	*
R13	سنگ	۵۹° ۳' ۹.۱۵" ۳۳° ۲۷' ۲۸.۹۱"	قنات جنگ آباد	-	*
R14	سنگ	۵۹° ۷' ۸.۸۳" ۳۳° ۲۶' ۵۳.۵۶"	قنات پوش	-	*
R15	سنگ	۵۹° ۷' ۱۵.۷۴" ۳۳° ۲۶' ۴۰.۸۰"	قنات پوش	*	*
R16	سنگ	۵۹° ۷' ۲۶.۱۵" ۳۳° ۲۵' ۱۱.۱۷"	قنات رود کاج	-	*
R17	سنگ	۵۹° ۷' ۲۷.۶۶" ۳۳° ۲۶' ۳۳.۰۰"	قنات رود کاج	*	*
R18	سنگ	۵۹° ۷' ۲۷.۶۶" ۳۳° ۲۶' ۳۳.۰۰"	قنات رود کاج	-	*

جدول ۴-۲- ادامه

منبع آبی مرتبط (موقعیت)	آنالیز		مختصات	نوع نمونه	شماره نمونه سنگی
	مقطع تاری	ICP-MS			
قنات گولک	*		R3 مخلوط نمونه های R2 و R3	مخلوط سنگی	R19
قنات سوری	*		۵۹° ۱' ۴۰" ۳۲° ۲۷' ۲۰٫۷"	خاک	R20
قنات دروک	*		۵۹° ۳' ۲۹٫۸۸" ۳۲° ۲۶' ۳۲٫۷۵"	آبرفت	R21
قنات پیدستان	*		۵۹° ۳' ۵۹٫۷" ۳۲° ۲۷' ۳۷٫۵۸"	سنگ	R22
قنات پیدستان	*		۵۹° ۳' ۲۵" ۳۲° ۲۷' ۳۴٫۷"	آبرفت	R23
قنات جنگ آباد	*		۵۹° ۱' ۵۲٫۴" ۳۲° ۲۷' ۵۹٫۴۷"	آبرفت	R24
قناتهای پیدستان و دروک	*		۵۹° ۳' ۲۲٫۳" ۳۲° ۲۶' ۲۸٫۱"	خاک	R25
قنات مهیج	*		۵۹° ۳' ۳۲٫۸۹" ۳۲° ۲۶' ۳۵٫۱۳"	آبرفت	R26
قناتهای پیدستان و دروک	*		۵۹° ۳' ۵۳٫۴" ۳۲° ۲۶' ۴۶٫۰"	سنگ	R27

## ۴-۲-۲- نحوه نمونه برداری

آب

برای نمونه برداری آب از ظروف پلاستیکی تمیز استفاده شد. قبل از نمونه برداری ابتدا ظروف ۳ بار از آب مورد نظر پر و خالی شده و در نهایت در زیر سطح آب پر شدند. ظروف شماره گذاری شده و مشخصات آنها ثبت گردید. همچنین مقادیر هدایت الکتریکی و pH این آبها در محل اندازه گیری و ثبت شد.

سنگ، خاک و آبرفت

پس از انتخاب محل نمونه برداری سنگها، از آنجا که تمام بخشهای سنگ به ویژه سطوح درزه و شکاف آن در تماس با آب هستند، نمونه برداری به گونه‌ای انجام شد که معرف تمام بخشهای سنگی از سطوح تازه تا بخشهای هوازده سست نشده باشد. نمونه های سنگی پس از برداشت شماره گذاری شده و مشخصات آن شامل مختصات، موقعیت نسبت به منابع آبی، مورفولوژی، ویژگی ظاهری، ارتباط با واحدهای سنگی مجاور، میزان درزه داری سنگ و وجود یا عدم وجود رگه‌ها و رگچه‌های پر شده یادداشت شد. سطح توده‌های خاک و آبرفت به دلیل فراوانی اندامهای گیاهی و قطعات کانیهای ژیبس برای تعیین ویژگی کلی توده خاک مناسب نبوده، بنابراین برای برداشت نمونه های خاک عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی متری توده خاک انتخاب شد.

## ۴-۲-۳- آماده سازی نمونه ها

آب

به دلیل احتمال تغییر نسبت بین آنیونها و کاتیونها در آب طی زمان، نمونه ها سریعاً به آزمایشگاه ارسال شد. برای جلوگیری از رسوبگذاری عناصر و فلزات سنگین، pH نمونه ها با افزودن اسید نیتریک به زیر ۳ رسانده و جهت آنالیز عنصری به آزمایشگاه ارسال گردید. جهت انجام آنالیز ICP-MS هر کدام از نمونه های سنگ و خاک پودر شدند.

## ۳-۴- روشهای آنالیز نمونه‌ها

## ۳-۴-۱- تعیین pH

این پارامتر در صحرا، توسط pH متر مدل Suntex SP-701 با دقت ۰,۰۱ اندازه گیری شد. مقادیر pH اندازه گیری شده در نمونه‌ها در جدول ۳-۴ و ۴-۴ ارائه شده است.

## ۳-۴-۲- تعیین EC

این پارامتر نیز در صحرا توسط هدایت سنج الکتریکی مدل WP-84 (TPS) ساخت شرکت HACH با دقت  $1\ \mu\text{moh/cm}$  برای مقادیر زیر  $2200\ \mu\text{moh/cm}$  و  $10\ \mu\text{moh/cm}$  برای مقادیر بیش از  $2200\ \mu\text{moh/cm}$  استفاده شد. مقادیر EC اندازه گیری شده در جدول ۳-۴ و ۴-۴ ارائه شده است.

## ۳-۴-۳- تعیین غلظت آنیونها و کاتیونها اصلی

برای اندازه گیری آنیونها ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) و کاتیونها ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ )، نمونه های آبی بدون تغییر به آزمایشگاه پارک علم و فناوری سمنان واقع در شاهرود ارسال شدند. نتایج اندازه گیری آنیونها و کاتیونها به تفکیک در دو مرحله برداشت، انتهای فصل خشک (آبان ۱۳۸۷) و انتهای فصل تر (خرداد ۱۳۸۸) به ترتیب در جدول ۳-۴ و ۴-۴ ارائه شده‌اند.

## ۳-۴-۴- تعیین غلظت عناصر با روش (ICP-MS)

نمونه های آبی برداشت شده که pH آنها به زیر ۳ رسانده شده بودند، به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شدند و مورد آنالیز ICP-MS قرار گرفتند. نتایج آنالیز ICP-MS آنها به تفکیک دو مرحله برداشت، انتهای فصل خشک (آبان ۱۳۸۷) و انتهای فصل تر (خرداد ۱۳۸۸) به ترتیب در جداول ۴-۵ و ۴-۶ ارائه شده‌اند.

حدود ۵۰ گرم از نمونه‌های سنگ و خاک (۱۲ نمونه) بعد از پودر شدن برای آنالیز ICP-MS از طریق شرکت کنساران بینالود به آزمایشگاه ACME ارسال شدند. نتایج آنالیز ICP-MS سنگها در جدول ۴-۷ ارائه شده است.

## ۴-۳-۵- تهیه مقطع نازک

پس از برداشت از نمونه‌های سنگی، مقطع نازک تهیه شده و مورد مطالعه پتروگرافی قرار گرفتند. همچنین مطالعات پتروگرافی مقدمه‌ای برای انتخاب سنگ جهت آنالیز عنصری بود. پس از مطالعه، نمونه‌های سنگی با نوع و شدت دگرسانی‌های مختلف و به ویژه دارای کانیهای با پتانسیل تغییر در کیفیت آب برای آنالیزهای تکمیلی (ICP-MS) انتخاب شدند.

جدول ۳-۴- نتایج برخی از پارامترهای فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های آب در انتهای فصل خشک (آبان ۱۳۸۷)

پارامتر	محل و شماره نمونه							استاندارد ارائه شده (WHO 2008)
	قنات جولاک (w1)	قنات جنگ آباد (w3)	چشمه بیخنت (w4)	قنات دروک (w5)	قنات بیدستان (w6)	قنات مهبج (w7)		
pH	7.6	7.3	7.8	7.4	7.2	7.7	۶.۵-۸.۵	
EC (µS/cm)	470	2260	460	2600	3520	610	-	
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	42	37.5	45	52.5	69	42	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	158.6	73.2	97.6	64.66	18.3	-	
Cl <sup>-</sup>	53.2	152.6	35.5	149.1	166.85	56.8	۲۵۰	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	393.6	835.2	96	1257.6	1507.2	249.6	۲۵۰	
غلظت (mg/L)	Ca <sup>2+</sup>	16	80	18	120	170	20	۲۰۰ (ایران) ۱۰۵۳
	Mg <sup>2+</sup>	8.4	30	44.4	32.4	34.8	15.6	۱۵۰ (ایران) ۱۰۵۳
	Na <sup>+</sup>	230	448.5	32.2	598	662.4	154.1	۲۰۰
TSS (mg/L)	148	213	57	520	780	52	-	
	TDS (mg/L)	540	1600	330	2110	2500	420	۵۰۰ (EPA)
SAR	11.5	10.8	0.9	12.5	12.1	6.2	-	
TH (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	37	162	38	250	285	56	۵۰۰ (ایران) ۱۰۵۳	

جدول ۴-۴- نتایج برخی از پارامترهای فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های آب در انتهای فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)

پارامتر		محل و شماره نمونه										
پارامتر	قنات گورک (W1)	قنات سورگ (W2)	قنات جنگ آباد (W3)	چشمه پینخت (W4)	قنات دروک (W5)	قنات بیدستان (W6)	قنات مینج (W7)	قنات یوش (W8)	قنات رود کج (W9)	چاه کومه (W10)	چاه ولعصر (W11)	چاه دولت آباد (W12)
pH	۷٫۷	۷٫۶۷	۷٫۵۷	۷٫۸۵	۷٫۹۵	۷٫۵۶	۷٫۹۶	۷٫۷۷	۷٫۵۴	۷٫۳۸	۷٫۴	۷٫۴۳
EC (µS/cm)	۵۶۳	۲۱۹۰	۲۰۷۰	۵۱۹	۲۳۳۰	۳۷۰۰	۷۲۸	۱۰۶۹	۱۲۳۱	۵۵۱۰	۳۷۳۰	۱۱۸۱۰
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	۶	۰	۰	۶	۶۱	۰	۶	۱۳۵	۱۲	۰	۰	۰
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۹۱٫۵	۲۳۷٫۹	۲۱۰٫۵	۱۱۵٫۹	۲۳۱٫۸	۱۹۲٫۱	۱۲۲	۲۱۹٫۶	۱۸۳	۱۹۵٫۲	۱۶۴٫۷	۳۳۷٫۹
Cl <sup>-</sup>	۴۳٫۶	۱۲۷٫۸	۱۴۲	۳۹٫۰	۲۱۳	۱۶۴٫۳	۱۷۷٫۵	۷۴٫۵	۷۸٫۱	۸۳۴٫۳	۹۵۸٫۵	۲۶۴۴٫۱
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۳۴۱	۶۵۰٫۴	۶۷۸٫۷	۲۴۴٫۳	۱۰۵۹٫۴	۱۳۷۴٫۳	۲۷۳٫۶	۳۳۶٫۹	۴۰۹٫۴	۱۲۳۸٫۹	۷۷۳٫۸	۱۲۵۵٫۴
Ca <sup>2+</sup>	۳۰	۱۲۴	۱۳۰	۲۰	۲۲۶	۴۱۶	۷۸	۵۰	۸۴	۱۸۳	۱۷۸	۱۱۸
Mg <sup>2+</sup>	۱۲	۲۱٫۶	۴۴٫۴	۱۳٫۸	۴۹٫۳	۶۲٫۴	۷۵٫۲	۲۱٫۶	۲۷٫۶	۱۰۶٫۸	۸۶٫۴	۱۹٫۳
Na <sup>+</sup>	۷۵٫۹	۳۲۶٫۶	۲۵۳	۷۱٫۳	۴۳۷	۲۶۴٫۵	۹۲	۱۴۹٫۵	۱۳۸	۸۶۲٫۵	۴۹۴٫۵	۲۵۵٫۳
TSS (mg/L)	۳۸۵	۱۶۸	۲۵۱	۴۰٫۷	۵۳۰	۸۴۰	۱۰	۲۳	۲۸۴	۴۳۰	۲۲۰	۵۱۰
TDS (mg/L)	۳۳۵	۱۳۱۲	۱۷۸۹	۴۱۳	۲۰۳۰	۲۲۴۰	۴۳۰	۶۴۳	۷۳۶	۳۳۷۰	۲۲۶۰	۷۰۳۰
SAR	۲٫۰	۷٫۱	۴٫۹	۳	۶٫۸	۳٫۲	۳	۴٫۴	۴٫۵	۱۲٫۵	۷٫۶	۵٫۷۳
TH (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	۱۰۵	۴۳۳	۴۸۲	۶۶	۷۳۳	۱۰۹۵	۱۰۳	۱۲۶	۱۹۴	۷۳۹	۵۳۳	۱۷۳۱



جدول ۴-۵- نتایج آنالیز ICP-MS نمونه‌های آب در انتهای فصل خشک (آبان ۱۳۸۷)

نمونه	فئات گروک (w1)	فئات جنگ آب (w3)	چشمه بیدخت (w4)	فئات دروک (w5)	فئات بیدستان (w6)	فئات مهبج (w7)
Al	33	1	16	7.5	294	4
As	5.4	2.6	4	3.75	3.75	2.2
B	139	402	135	580	708	213
Ba	80.55	20.57	80.16	15.4	10.85	58.89
Cr	1.5	8.2	1.2	5.4	3.75	2.7
Cu	1.3	4	0.85	6.4	12.9	0.8
Fe	39	7.5	7.5	347	187	7.5
K	1300	4274	1093	4374	9776	2161
Pb	0.7	0.3	0.5	0.75	6.5	0.1
Sb	1.67	1.17	1.35	1.56	0.7	1.54
Si	8439	12723	7152	12832	11480	7532
Zn	2.8	10.5	2.1	7.6	200.3	6.1

غلظت (ppb)

جدول ۴-۴- نتایج آنالیز ICP-MS نمونه‌های آب در انتهای فصل تر (آبان ۱۳۸۷)

نمونه	محل و شماره نمونه											
	فیات فولک (w1)	فیات سوری (w2)	فیات جک آلد (w3)	چشمه پندخت (w4)	فیات دروک (w5)	فیات پندستان (w6)	فیات مهبج (w7)	فیات یوش (w8)	فیات رودکاج (w9)	چاه گوشه (w10)	چاه ولصغر (w11)	چاه دولت آلد (w12)
Al	19	31	26	25	6	163	59	78	123	44	21	61
As	4.2	2.6	2.1	3.6	1.2	0.9	2	5.5	3.9	3.4	6.4	13.7
B	149	468	423	145	526	606	248	393	468	1551	657	2910
Ba	70.03	27.18	20.07	79.85	25.57	10.9	48.01	42.6	30.4	12.35	50.53	21.45
Cr	1.4	1.4	1.7	1.2	1.8	0.375	1.1	1.2	3.4	21.1	12.9	108.1
Cu	2.9	7.3	8.6	9.1	4.9	13.6	7	6	20.6	13	7.9	8.4
Fe	7.5	70	68	36	7.5	1635	34	71	214	7.5	7.5	25
K	1021	3808	3431	1073	3294	7974	1780	1140	493	3348	2450	10012
Pb	1.7	1.3	2.3	3.9	0.075	2.2	1.3	1.6	13.4	10	0.8	2.5
Sb	1.89	1.91	2.34	1.96	2.05	2.39	2.38	2.06	2.46	2.36	2.07	2.28
Si	8035	13381	11628	8152	14049	12376	7645	10989	11648	14406	15199	19240
Zn	224.1	273.4	207	132.6	190.1	160.8	300.4	457.2	181.3	283.8	152.2	189.6

غلظت (ppb)

جدول ۷-۴- نتایج آنالیز ICP-MS نمونه های سنگ، خاک و آبوفت

	محل و شمار نمونه																										
	R4	R12	R15	R17	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27														
Al (%)	0.49	0.23	0.26	1.95	1.2	0.76	0.81	0.39	0.59	0.78	0.41	1.18	0.65														
As	6.9	38.4	10.9	0.9	1.9	2.2	25.7	2.3	7.2	41.9	27.6	12	3.6														
Ba	274.8	18.9	82.7	29.6	114.2	91.2	75.6	50.2	34	203.4	39.9	205.7	16.9														
Ca	1.94	0.14	1.31	2.76	1.09	0.22	1.1	0.65	15.28	1.8	2.65	6.58	2.21														
Cr	8.1	6.8	20.3	9	18.1	1.5	7.2	13.7	12.6	22.8	1	24.1	8.3														
Cu	26.88	11.17	16.18	17.52	58.59	46.3	48.86	6.52	17.78	33.8	7.41	29.5	19.33														
Fe (%)	1.41	11.16	2.01	1.23	3.09	5.98	3.85	0.67	1.31	3.45	3.91	2.46	1.94														
K (%)	0.09	1.05	0.15	0.16	0.17	0.5	0.32	0.07	0.13	0.15	0.73	0.24	0.07														
Mg (%)	0.43	0.04	0.12	0.89	0.79	0.15	0.07	0.02	0.34	0.41	0.03	1.02	0.01														
Na (%)	0.006	0.687	0.011	0.158	0.162	0.926	0.114	0.037	0.021	0.06	0.14	0.038	0.154														
Pb	14.97	15.3	11.08	35.41	20.93	12.55	4.85	17.74	7.44	12.11	54.43	9.74	13.54														
S (%)	0.015	3.71	0.02	0.015	0.015	1.85	1.89	0.14	8.79	0.14	3.45	0.42	3.89														
Sb	1.03	0.31	27.37	0.07	0.09	0.04	0.09	0.1	0.36	2.26	0.22	0.15	0.2														
Zn	33.9	1.3	41.6	40.6	49.9	10.5	31.2	1.4	20.2	53	2.9	37.3	2.6														

# فصل پنجم ژئوشیمی سنگها

این فصل شامل بخشهای زیر می باشد:  
مقدمه  
گروههای سنگی بر اساس شدت دگرسانی  
همبستگی عناصر  
بررسی غلظت عناصر در نمونه های سنگی

## ۵-۱- مقدمه

سنگها منشأ بسیاری از عناصر در خاک و آب می‌باشند. در این فصل به بررسی برخی از اختصاصات ژئوشیمیایی سنگها پرداخته شده است. جهت بررسی نحوه تأثیر گذاری فرآیند دگرسانی، سنگها بر اساس شدت دگرسانی گروه بندی شده و غلظت عناصر و نحوه پراکنش آنها در سه گروه سنگی مشخص گردیده است. همچنین از همبستگی غلظت عناصر در سنگ جهت تعیین تشابهات رفتارهای ژئوشیمیایی استفاده شده است.

## ۵-۲- گروه بندی سنگها بر اساس شدت دگرسانی

فرآیندهای دگرسانی و هوازدگی، نسبتهای اولیه عناصر تشکیل دهنده سنگ را همزمان با تغییر کانیهای آن تغییر می دهند. این تغییر در نسبتها، مبنای مهمی در تعیین شیمی آبهای در تماس با سنگها است. با توجه به ویژگیهای صحرایی و مطالعه مقاطع نازک تهیه شده نمونه های آنالیز شده را براساس شدت دگرسانی رخ داده در آنها می توان در ۳ گروه قرار داد:

**Group I** - سنگهای با دگرسانی ضعیف: این سنگها در صحرا مرفولوژی خشن داشته و اغلب در بخشهای بالادستی حوضه آبریز حضور دارند. اعضا این گروه شامل نمونه های R17, R2, R4 و R15 می باشد.

**Group II** - نمونه های با دگرسانی شدید: این نمونه ها در صحرا رنگ روشن زرد و مرفولوژی نرم دارند. اعضا این گروه شامل نمونه های R12, R20, R22, R25 و R27 هستند.

**Group III** - خاکها و رسوبات: این گروه شامل رسوب پشت بند خاکی نزدیک قنات بیدستان (R23) و یا آبرفت های تشکیل دهنده بستر قنات ها هستند (نمونه های R24, R21 و R26).

## ۵-۳- همبستگی عناصر

همبستگی، پارامتر مناسبی برای مقایسه رفتار افزایشی یا کاهش‌ی عناصر در مقابل یکدیگر است. برای دو دسته داده های X و Y همبستگی به صورت زیر محاسبه می شود:

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

همبستگی بین عناصر با استفاده از رابطه ۵-۱ برای نتایج آنالیز ICP-MS (جدول ۴-۷) محاسبه شده و در جدول (۵-۱) نشان داده شده است.

Ca با S همبستگی خوبی نشان می دهد (+۰,۶۹۷) که این موضوع با وفور رگچه های ژئوسی در اغلب واحدهای سنگی همخوانی دارد. از آنجا که Sr می تواند در ترکیبات سولفات Ca وارد شود بنابراین Sr با Ca (+۰,۸۸۴) و با S (+۰,۶۸۶) نیز همبستگی مثبت نشان می دهد.

Fe با S, Na, و K نیز همبستگی مثبت نشان می دهد (به ترتیب +۰,۶۸۰, +۰,۷۸۱, و +۰,۹۰۱) نشان می دهد. همبستگی خوب آهن با این عناصر که سازه های اصلی کانی ژاروسیت هستند با حضور ژاروسیت در مقاطع R8 (شکل ۲-۷) و R12 (شکل ۲-۱۳) منطبق است.

جدول ۵-۱ - همبستگی عناصر در سنگها در منطقه

	Al	As	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Na	Pb	S	Sb	Sr	Zn
Al	1														
As	-0.343	1													
Ba	0.066	0.08	1												
Ca	0.081	-0.161	-0.055	1											
Cr	0.170	0.038	0.442	0.196	1										
Cu	0.376	-0.098	0.378	-0.176	0.14	1									
Fe	-0.294	0.594	-0.209	-0.343	-0.34	0.065	1								
K	-0.315	0.576	-0.325	0.245	-0.506	0.175	0.901	1							
Mg	0.803	-0.279	0.452	0.266	0.516	0.335	-0.302	-0.335	1						
Na	-0.086	0.091	-0.273	-0.35	-0.533	0.192	0.781	0.669	-0.257	1					
Pb	0.172	0.04	-0.273	-0.166	-0.412	-0.372	0.021	0.324	0.03	-0.022	1				
S	-0.309	0.088	-0.509	0.697	-0.354	-0.273	0.680	0.254	-0.351	0.123	-0.064	1			
Sb	-0.32	-0.019	0.003	-0.12	0.367	-0.177	-0.139	-0.162	-0.175	-0.214	-0.162	-0.23	1		
Sr	0.034	-0.091	-0.067	0.884	0.094	-0.076	0.008	0.063	0.24	0.056	-0.252	0.686	-0.208	1	
Zn	0.518	0.013	0.586	0.042	0.671	0.529	-0.332	-0.483	0.686	-0.424	-0.209	-0.506	0.29	-0.105	1

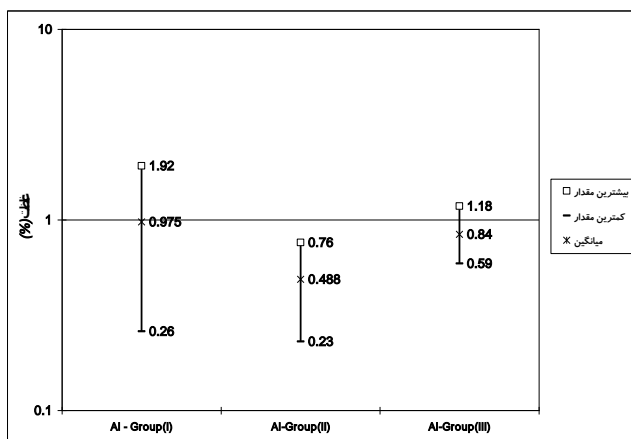
همبستگی مثبت Na و K با یکدیگر (+۰,۶۶۹) و Ca, Sr (+۰,۸۸۴) با وجود شباهتهای موجود بین آنها می تواند به دلیل جانشینی آنها به جای یکدیگر باشد. همبستگی های مثبت حاصل تشابه رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر می باشد.

علاوه بر موارد ذکر شده Al با Mg (+۰,۸۰۳) همبستگی بالایی نشان می دهد. Ba با Zn (به ترتیب +۰,۵۸۶) همبستگی مثبت و با S (-۰,۵۰۹) همبستگی منفی نشان می دهد. Cr با Na (-۰,۵۳۳) و K (-۰,۵۰۶) همبستگی منفی و با Zn (+۰,۶۷۱) همبستگی مثبت نشان می دهد. همچنین عنصر Mg با Zn (+۰,۶۸۶) نیز همبستگی مثبت نشان می دهند.

#### ۴-۵- بررسی غلظت عناصر در نمونه های سنگی

##### ۴-۵-۱- آلومینیوم

این عنصر سازه اصلی کانیهای رسی و آلومینوسیلیکاتها است. علاوه بر آن ممکن است به صورت های دیگر کانیهای آلومینیوم دار و یا جذب سطحی شده در کانیها حضور داشته باشد. شکل ۱-۵ فراوانی Al را در اعضا گروه های معرفی شده نشان می دهد.

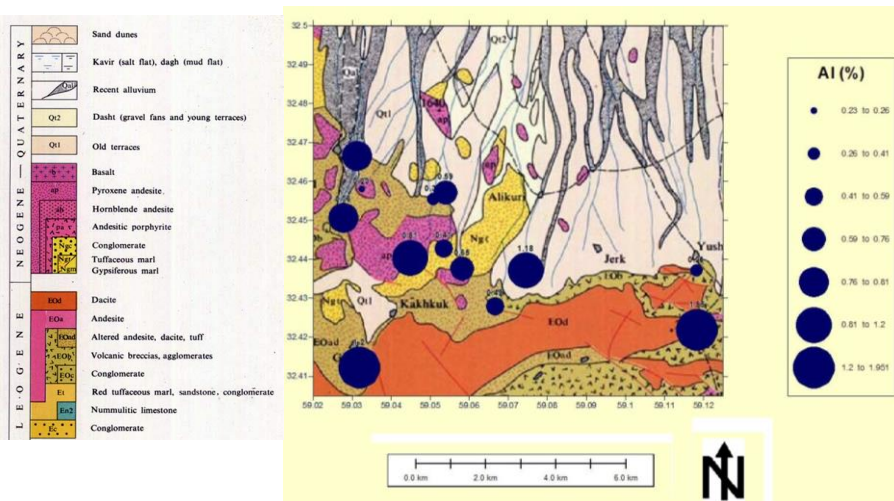


شکل ۱-۵ محدوده تغییرات غلظت عنصر Al در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %).

Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب



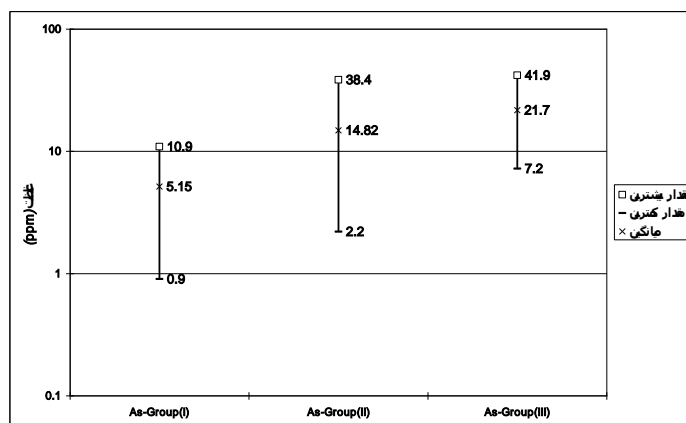
غلظت Al در میان سنگهای شدیداً دگرسان شده (گروه ۲) کاهش می‌یابد. شکل ۲-۵ پراکنش Al را بر روی نقشه زمین شناسی منطقه نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر Al در نمونه های R17 (آندزیت پرفیری) در جنوب شرق و R26 در جنوب منطقه مورد مطالعه یافت می‌شود.



شکل ۲-۵- پراکنش غلظت عنصر Al بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب %). مناطق با دگرسانی شدید با رنگ زرد و حروف N<sub>gr</sub> مشخص شده اند

۵-۴-۲- آرسنیک

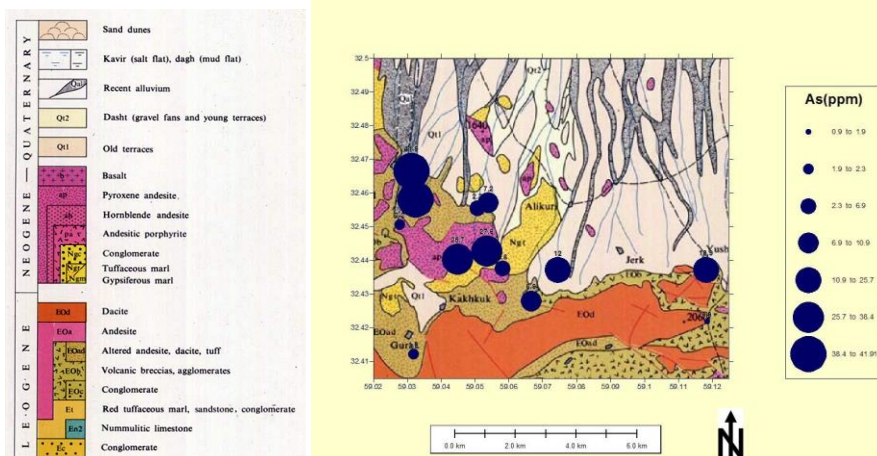
شکل ۵-۳ فراوانی As را در اعضا گروه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳- محدوده تغییرات غلظت عنصر As در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)

(Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب)

As در سنگهای شدیداً دگرسان شده و خاکهای منشأ گرفته از آنها به مقادیر بالایی می‌رسد. از طرفی همبستگی آرسنیک با آهن و پتاسیم این موضوع را روشن می‌سازد که آرسنیک می‌تواند بیشتر به صورت جذب سطحی با اکسیدهای آهن حضور داشته باشد و نه به صورت تشکیل کانیهای مستقل یا جایگزینی در ساختار دیگر کانیها. با توجه به افزایش آرسنیک در نمونه های R12, R21, R24 که آبرفتها و خاکهای سطحی برجا با رنگ زرد روشن تا قهوه‌ای و دارای Fe بالاتر نسبت به دیگر نمونه ها هستند (شکل ۵-۴) این مطلب بیشتر مورد تایید قرار می‌گیرد.



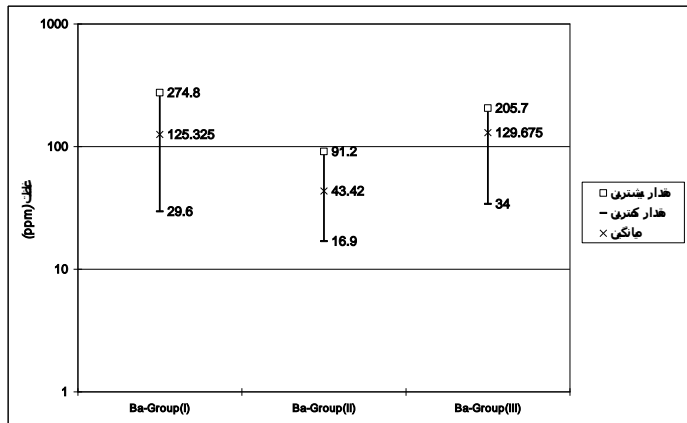
شکل ۵-۴- پراکنش غلظت عنصر As بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm - مناطق با دگرسانی شدید

با رنگ زرد و حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند)

۵-۴-۳- باریم

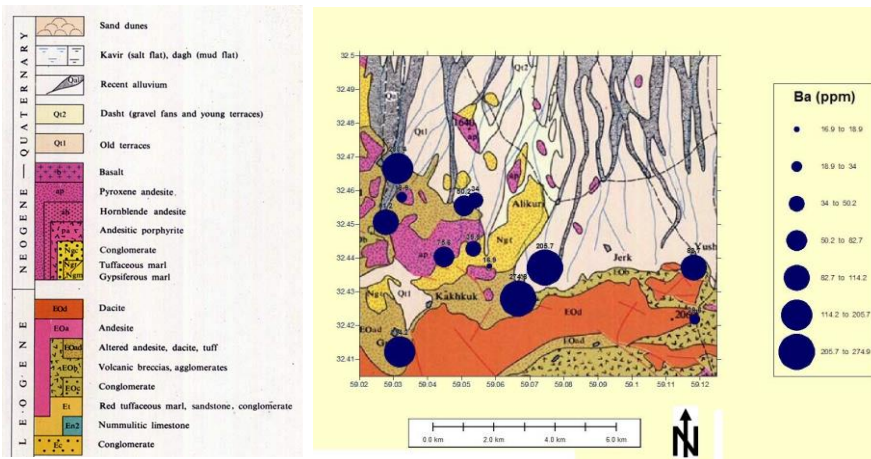
میانگین غلظت Ba در خاک و رسوب بیشترین مقادیر و در سنگهای شدیداً دگرسان کمترین مقادیر را دارا هستند (شکل ۵-۵). در واقع دگرسانی شدید باعث کاهش غلظت عنصر Ba در سنگ می‌شود. پراکنش Ba در منطقه (شکل ۵-۶) نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر Ba در جنوب و غرب منطقه

قرار دارند. شباهت رفتار باریم با دیگر کاتیونها و جایگزینی باریم با دیگر کاتیونها در ساختار کانیها ممکن است عامل افزایش آن در مناطق دور از دگرسانی باشد.



شکل ۵-۵- محدوده تغییرات غلظت عنصر Ba در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)

Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب)

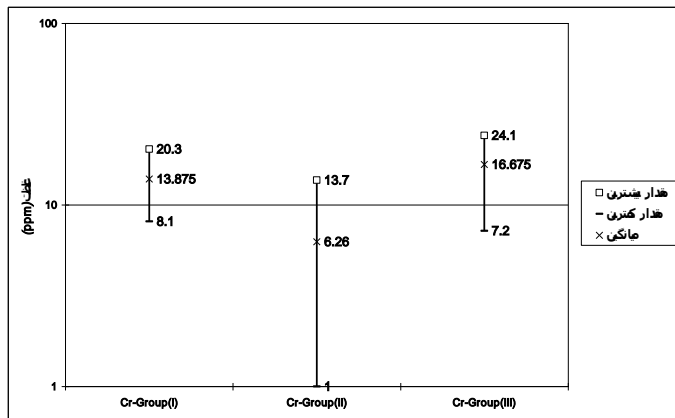


شکل ۵-۶- پراکنش غلظت عنصر Ba بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm) - مناطق با دگرسانی شدید

با رنگ زرد و حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند)

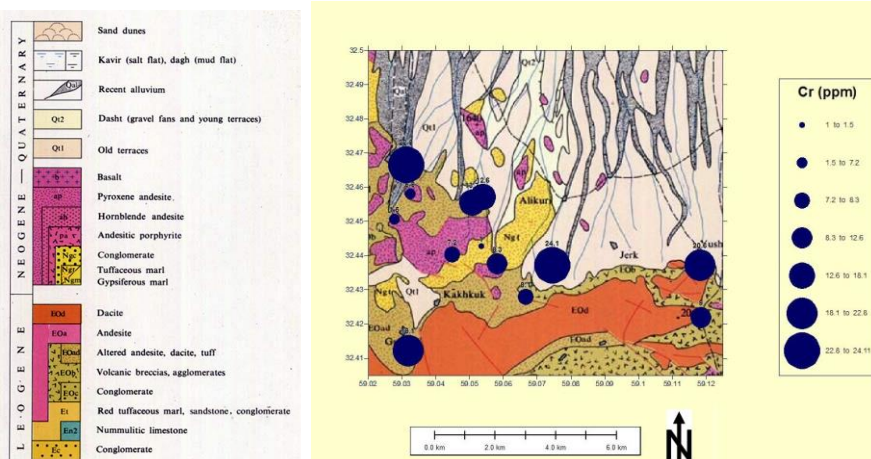
۵-۴-۴- کروم

خاکها و رسوبات اعضا گروه ۳ بیشترین مقادیر Cr و سنگهای شدیداً دگرسان شده کمترین مقادیر Cr را نشان می دهند (شکل ۵-۷). بنابراین دگرسانی باعث کاهش غلظت عنصر در نمونه ها می شود. غلظت Cr در شرق و غرب به حداکثر خود می رسد. مقادیر این عنصر در نمونه های سنگ و خاک و آبرفت از ۱ ppm تا ۲۴٫۱ ppm تغییر می کند (شکل ۵-۸). کروم طی دگرسانی های رخ داده در منطقه کاملاً متحرک بوده است.



شکل ۵-۷- محدوده تغییرات غلظت عنصر Cr در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)

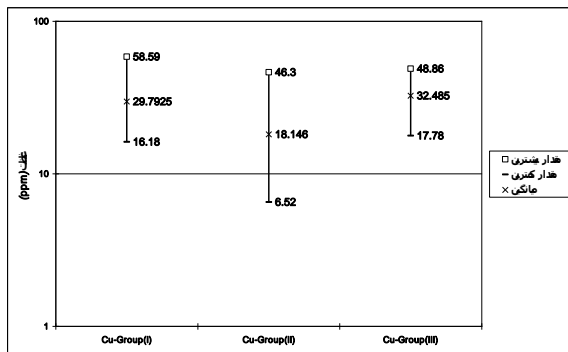
Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب)



شکل ۵-۸- پراکنش غلظت عنصر Cr بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm - مناطق با دگرسانی شدید با رنگ زرد و حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند)

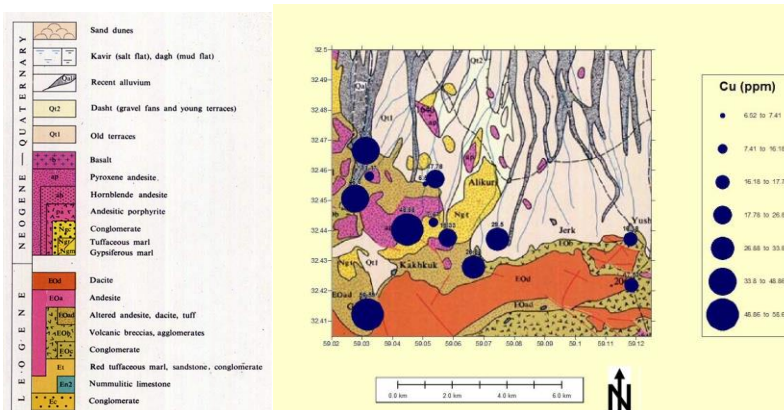
۵-۴-۵- مس

غلظت مس در سنگهای دگرسان شده به کمترین مقدار خود نسبت به دیگر نمونه ها (۶,۵۲ ppm) می رسد (شکل ۵-۹). در واقع مقادیر میانگین در نمونه های شدیداً دگرسان شده کمترین مقدار Cu در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهند. نمونه های واقع در جنوب و غرب منطقه بیشترین مس را دارا هستند، در حالی که نمونه های واقع در شرق کمترین مقادیر مس را دارا می باشند (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۹- محدوده تغییرات غلظت عنصر Cu در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)

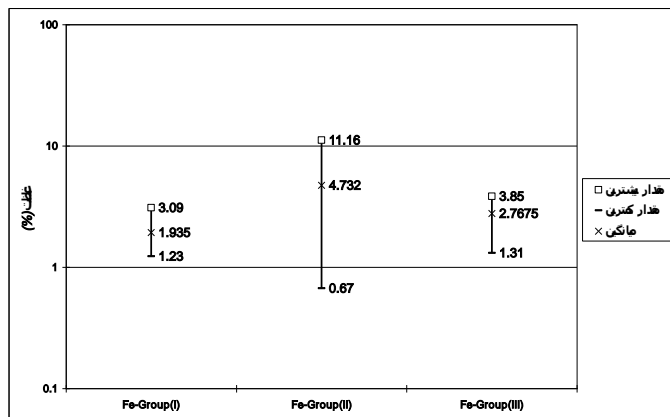
Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب



شکل ۵-۱۰- پراکنش غلظت عنصر Cu بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm - مناطق با دگرسانی شدید با رنگ زرد و حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند)

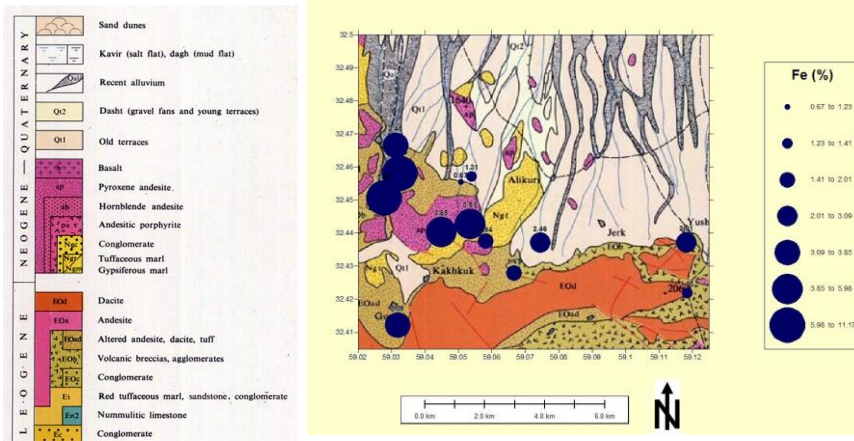
## ۵-۴-۶ آهن

گرچه آهن می تواند در ساختار کانیهای نظیر سیلیکاتها حضور داشته باشد ولی اغلب به صورت اکسیدهای ثانویه جایگزین دیگر کانیها شده و یا در درزه های توده های سنگ نفوذ می کند. عواملی نظیر دگرسانی (به طور مثال شکل های ۲-۷ و ۲-۱۷) و یا هوازدگی می تواند با خارج ساختن دیگر یونها و برجای گذاشتن آهن، باعث افزایش غلظت آن در سنگ شوند. غلظت آهن در منطقه نیز این مطلب را تایید می کند. به طوریکه غلظت آهن در میان سنگهای شدیداً دگرسان شده گروه ۲ تا ۱۱,۱۶٪ افزایش می یابد (شکل ۵-۱۱). همچنین پراکنش آن در منطقه نشان می دهد که بیشترین غلظتهای آهن در سنگها در غرب منطقه و حوالی توده های دگرسان شده است (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۱۱- محدوده تغییرات غلظت عنصر Fe در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %)

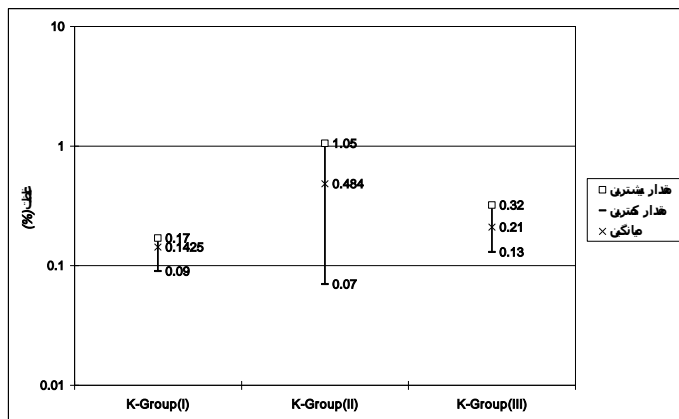
Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب)



شکل ۵-۱۲- پراکنش غلظت عنصر Fe بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب % - مناطق با دگرسانی شدید با رنگ زرد و حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند)

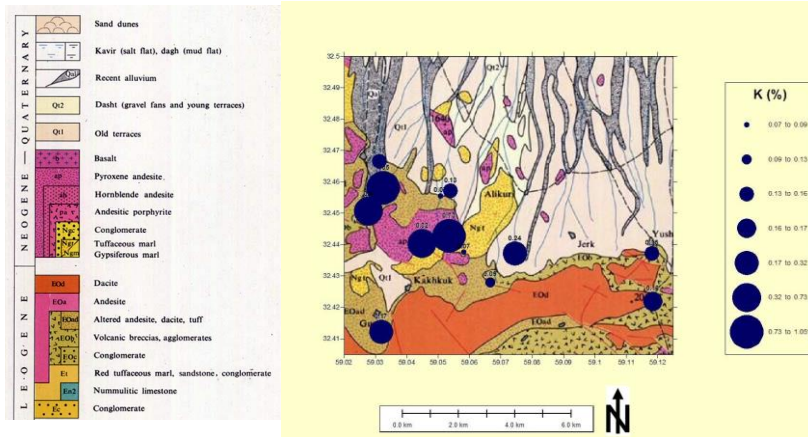
۵-۴-۷- پتاسیم

غلظت پتاسیم در نمونه های سنگی بین ۰,۰۷ تا ۱,۰۵٪ متغیر است و میانگین غلظت آن در سنگهای گروه ۲ بیشترین مقادیر را نشان می دهد (شکل ۵-۱۳). همچنین غلظت آن در غرب و در مناطق دگرسان شده به بیشترین مقادیر خود می رسد (شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۳- محدوده تغییرات غلظت عنصر K در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %) (Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب)

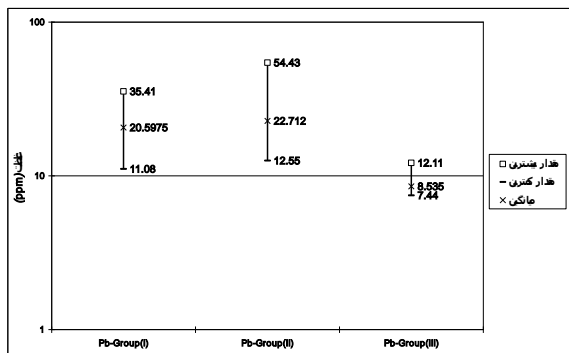




شکل ۵-۱۴- غلظت عنصر K بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب % - مناطق با دگرسانی شدید با رنگ زرد و حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند)

۵-۴-۸- سرب

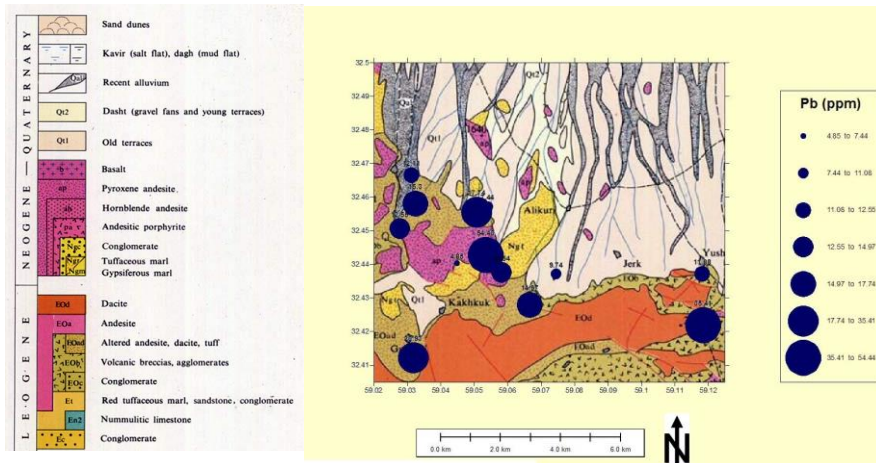
سرب در نواحی دگرسان شده بیشترین مقادیر را نشان می دهد (۵۴,۴۳ ppm) در حالی که در خاکهای گروه ۳ کمترین مقدار را داراست (شکل ۵-۱۵). پراکنش سرب در منطقه نشان می دهد که در واحدهای کمتر دگرسان شده جنوب و جنوب شرق و مناطق دگرسان شده بیشترین مقادیر سرب مشاهده می شود. در حالی که کمترین مقادیر آنها در آبرفتها و خاکها دیده می شود (شکل ۵-۱۶). تحرک پایین سرب طی دگرسانی با خروج دیگر یونها باعث افزایش غلظت سرب در سنگها می شود.



شکل ۵-۱۵- محدوده تغییرات غلظت عنصر Pb در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)

Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب

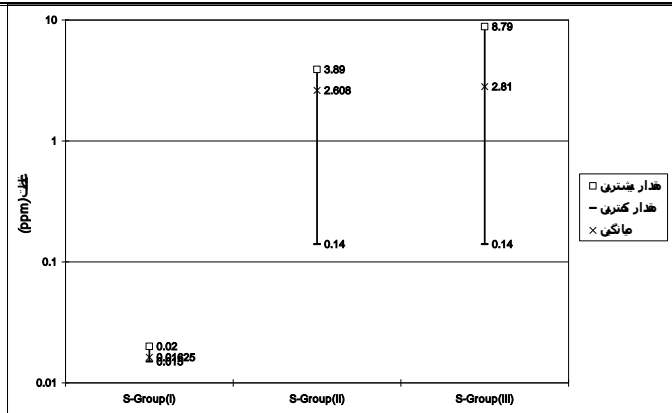




شکل ۵-۱۶- غلظت عنصر Pb بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm - مناطق با دگرسانی شدید با رنگ زرد و حروف N<sub>gr</sub> مشخص شده اند)

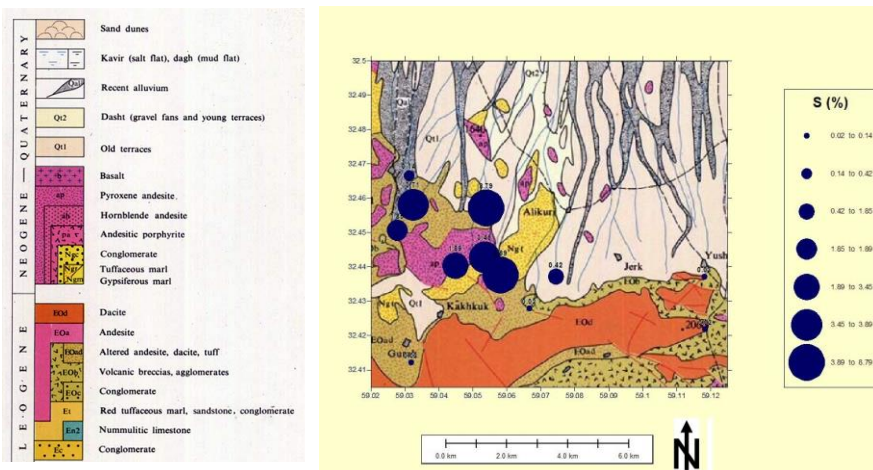
۵-۴-۹- گوگرد

نفوذ سیالات غنی از سولفات می تواند باعث افزایش گوگرد در سنگهای دگرسان شده شود. از این رو گوگرد در واحدهای دگرسان تا ۳/۸۹٪ می رسد. خاک یا محصولات حاصل از هوازدگی سنگهای شدیداً دگرسان شده نیز با تمرکز گوگرد به صورت ترکیبات سولفات نظیر ژیبس در خود به غلظتهای بالایی از گوگرد می رسند، که این مقدار می تواند تا ۸/۷۹٪ برسد، در حالی که S در سنگهای کمتر دگرسان شده حداکثر تا ۰,۰۲٪ غلظت دارد (شکل ۵-۱۷). پراکنش گوگرد در سنگهای مطالعه شده نیز این موضوع را تایید می کند (شکل ۵-۱۸).



شکل ۵-۱۷- محدوده تغییرات غلظت عنصر S در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب %)

Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب



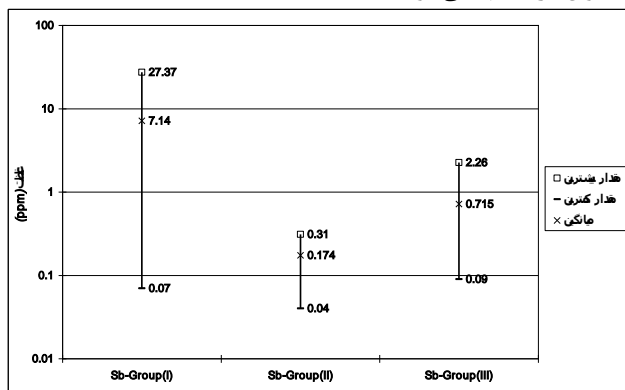
شکل ۵-۱۸- غلظت عنصر S بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب % - مناطق با دگرسانی شدید با رنگ زرد و

حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند)

در غرب و جنوب که سنگها کمتر دگرسانی را تحمل کرده اند کمترین مقادیر و در نواحی شدیداً دگرسان شده و آبرفتهای حاصل از هوازدگی آنها بیشترین مقادیر S در سنگ ملاحظه می گردد.

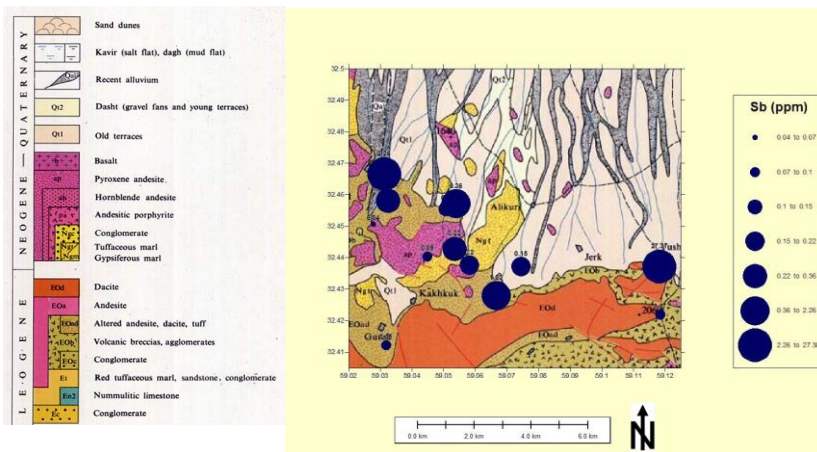
۵-۴-۱۰- آنتیموان

میانگین غلظت آنتیموان در نمونه های بیشتر دگرسان شده به حداقل مقادیر خود می رسد (شکل ۵-۱۹). پراکنش آنتیموان منطقه (شکل ۵-۲۰) نشان می دهد که بیشترین غلظتهای Sb در نمونه های R15 در جنوب شرق منطقه مشاهده می شود. بنابراین می توان گفت که دگرسانی در واقع باعث کاهش غلظت آنتیموان در سنگها می شود.



شکل ۵-۱۹- تغییرات غلظت عنصر Sb در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)

(Group I): سنگ با دگرسانی ضعیف، (Group II): سنگ کاملاً دگرسان شده، (Group III): خاک و رسوب)

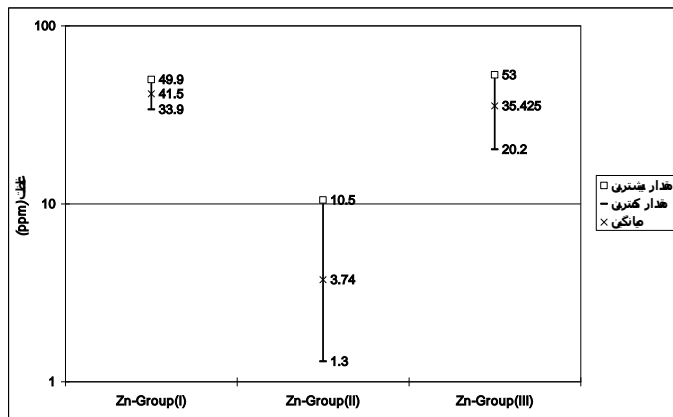


شکل ۵-۲۰- غلظت عنصر Sb بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (بر حسب ppm) - مناطق با دگرسانی شدید با رنگ

زرد و حروف N<sub>gt</sub> مشخص شده اند

۵-۴-۱۱- روی

غلظت روی در نمونه های شدیداً دگرسان شده به کمترین مقدار خود (۳،۱ ppm) در منطقه می‌رسد، در حالی که میانگین غلظت عنصر در نمونه های کمتر دگرسان شده بیشترین مقادیر (۴۱،۵ ppm) را نشان می‌دهند (شکل ۵-۲۱). در واقع در سنگهای شدیداً دگرسان شده غلظت روی کاهش می‌یابد. پراکنش روی در منطقه نیز نشان می‌دهد که نمونه های واقع در جنوب شرق، جنوب (سنگهای کمتر دگرسان شده) و غرب منطقه (خاک و رسوبات) بیشترین مقادیر روی را در سنگها دارا هستند (شکل ۵-۲۲).



شکل ۵-۲۱- تغییرات غلظت عنصر Zn در منطقه براساس شدت دگرسانی (بر حسب ppm)

Group I: سنگ با دگرسانی ضعیف، Group II: سنگ کاملاً دگرسان شده، Group III: خاک و رسوب)



# فصل ششم

## بررسی کیفیت و پایداری آبهای زیرزمینی و مدل مفهومی برهمکنش آب و سنگ

این فصل شامل بخشهای زیر می باشد:

مقدمه

بررسی همبستگی پارامترها در نمونه های آبی

بررسی تغییرات برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

بررسی تغییرات غلظت آنیونها و کاتیونها

بررسی ویژگیهای تیپ و رخساره ای

بررسی غلظت عناصر در منابع آبی منطقه

بررسی مقایسه غلظت عناصر در فصل تر و خشک

تعادل جرمی

بررسی MI (شاخص فلزی در نمونه های آبی)

ارائه مدل مفهومی توزیع عناصر بین واحدهای سنگی و آبهای زیرزمینی

### ۶-۱- مقدمه

بررسی کیفیت آبها بخش اصلی این تحقیق می‌باشد. کیفیت آبها توسط عوامل متعددی دستخوش تغییر می‌شوند. اثر دگرسانی بر آبها و برهمکنشهای بین آب و سنگ از جمله عوامل مهم تغییر کیفیت آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هستند. برای درک این ارتباط در این فصل روشهای مختلفی جهت تعبیر و تفسیر آنالیزهای انجام شده بر روی آبها و ارتباط آن با سنگها استفاده شده است. همبستگی بین غلظت عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آبها، بررسی توزیع مقادیر اندازه‌گیری شده کلیه پارامترها در منطقه با توجه به زمین شناسی منطقه، محاسبه مقادیر اندیس اشباع شدگی برخی از کانیهای مهم حاوی عناصر و تغییرات آنها در منطقه مورد مطالعه، بررسی تحرک عناصر با توجه به موقعیت آنها در نمودارهای Eh-pH، بررسی شیمی آبهای زیرزمینی با روش تعادل جرمی جهت شناسایی برخی از مهمترین واکنشهای رخ داده در آب از جمله این روشها هستند. در نهایت با استفاده از اطلاعات ارائه شده در این فصل و اطلاعات به دست آمده در فصلهای قبل مدل مفهومی توزیع عناصر بین آب و سنگ ارائه شده است که با استفاده از آن می‌توان مهمترین مسیرهای حرکت عناصر در آب و سنگ را شناسایی کرد. همچنین از غلظت عناصر و دیگر پارامترها با مقادیر استاندارد ارائه شده از سوی مراجع مختلف و محاسبه مقدار MI (شاخص فلزی) در منابع آبی جهت برآورد شرایط کیفی آب در زمان برداشت استفاده شده است. برای این منظور به طور کلی نمودارهای توزیع غلظت عناصر برای نتایج آنالیز نمونه‌های در پایان فصل تر ترسیم شده و در این نمودارها مقادیر بالاتر از استاندارد با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

### ۶-۲- بررسی همبستگی پارامترها در نمونه های آب

همبستگی پارامترها با استفاده از رابطه ۵-۱ برای مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر مربوط به جداول ۴-۴ و ۴-۶ محاسبه شده و در جدول ۶-۱ ارائه شده است.

جدول ۱- همبستگی عناصر و پارامترها در نمونه های آب (مقادیر قابل توجه ضخیم شده اند)

	Al	As	B	Ba	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Na	Pb	S	Sb	Si	Zn	pH	EC	CO3	HCO3	SAR	TH	TSS	TDS	
Al	1																									
As	-0.057	1																								
B	0.072	0.779	1																							
Ba	-0.4	0.039	-0.482	1																						
Ca	0.32	-0.16	0.313	-0.175	1																					
Cl	-0.01	0.878	0.967	-0.31	0.198	1																				
Cr	0.005	0.896	0.95	-0.261	0.123	0.994	1																			
Cu	0.688	-0.076	0.132	-0.408	0.204	0.002	0.003	1																		
Fe	0.791	-0.306	-0.067	-0.384	0.654	-0.133	-0.152	0.388	1																	
K	0.307	0.438	0.751	-0.606	0.67	0.737	0.711	0.055	0.468	1																
Mg	0.01	0.835	0.953	-0.365	0.274	0.99	0.983	-0.021	-0.054	0.806	1															
Na	0.017	0.774	0.994	-0.459	0.35	0.972	0.95	0.069	-0.07	0.769	0.964	1														
Pb	0.385	-0.006	0.145	-0.213	-0.109	0.001	0.016	0.85	-0.015	-0.22	-0.071	0.072	1													
S	0.239	0.149	0.654	-0.786	0.914	0.53	0.459	0.219	0.454	0.806	0.578	0.679	0.011	1												
Sb	0.626	-0.024	0.313	-0.609	0.292	0.197	0.191	0.707	0.366	0.294	0.194	0.268	0.531	0.367	1											
Si	0.012	0.597	0.825	-0.63	0.571	0.782	0.729	0.138	-0.002	0.703	0.8	0.841	0.023	0.773	0.173	1										
Zn	0.027	-0.017	-0.082	-0.07	-0.328	-0.151	-0.138	-0.271	-0.236	-0.258	-0.185	-0.129	-0.09	-0.27	-0.07	-0.17	1									
pH	-0.245	-0.464	-0.607	0.47	-0.343	-0.527	-0.483	-0.471	-0.155	-0.434	-0.491	-0.583	-0.43	-0.53	-0.37	-0.64	0.211	1								
EC	0.044	0.875	0.903	-0.247	0.119	0.968	0.984	0.037	-0.095	0.744	0.976	0.904	-0.07	0.423	0.165	0.684	-0.15	-0.388	1							
CO3	-0.071	-0.233	-0.347	0.181	-0.161	-0.339	-0.308	-0.118	-0.215	-0.453	-0.335	-0.343	0.015	-0.29	-0.18	-0.24	0.218	0.547	-0.257	1						
HCO3	0.124	0.196	0.479	-0.786	0.519	0.383	0.347	0.13	0.073	0.518	0.44	0.466	-0.03	0.598	0.17	0.746	0.205	-0.294	0.362	0.044	1					
SAR	-0.011	0.876	0.946	-0.299	0.144	0.988	0.995	-0.022	-0.157	0.731	0.988	0.946	-0.02	0.474	0.163	0.75	-0.12	-0.449	0.989	-0.276	0.416	1				
TH	0.217	0.527	0.857	-0.643	0.697	0.825	0.789	0.109	0.325	0.954	0.875	0.879	-0.09	0.878	0.318	0.845	-0.3	-0.531	0.79	-0.346	0.576	0.803	1			
TSS	0.529	-0.022	0.32	-0.34	0.743	0.261	0.234	0.244	0.65	0.616	0.516	0.351	0.062	0.707	0.154	0.323	-0.61	-0.273	0.254	-0.421	0.113	0.234	0.631	1		
TDS	0.057	0.73	0.973	-0.521	0.469	0.954	0.924	0.071	0.034	0.841	0.964	0.987	0.002	0.756	0.27	0.887	-0.2	-0.592	0.891	-0.355	0.524	0.927	0.939	0.43	1	



Al با Cu (+۰,۶۸۸)، Fe (+۰,۷۹۱)، Sb (+۰,۶۲۶)، همبستگی مثبت نشان می دهد. در حالی که Al همبستگی چندانی با Si (+۰,۰۱۱)، Ca (+۰,۳۲۰)، Na (+۰,۰۱۷) و S (+۰,۲۳۹) نشان نمی دهد. از این رو می توان نتیجه گرفت که هوازدگی سیلیکاتها و انحلال سولفاتهایی نظیر آلونیت نقش چندانی در ورود Al به آب ندارند یا آنکه به دلیل قابلیت بالای  $Al^{3+}$  در تبادل کاتیونی و رقابت با دیگر یونها در جذب سطحی توسط رسها (Yong and Warkentin, 1975) نسبتهای اولیه عناصر دچار تحول شده‌اند.

As همبستگی مثبت با عناصر B (+۰,۷۷۹)، Cl (+۰,۸۷۸)، Mg (+۰,۸۳۵)، Na (+۰,۷۷۴)، Si (+۰,۵۹۷) و Cr (+۰,۸۹۶) دارد. به طور کلی غلظت این عناصر در آب زیرزمینی با طی کردن مسیر افزایش می یابد (Freez and Cherry, 1979). با توجه به همبستگی مثبت As با این عناصر در کنار همبستگی ضعیف آن با S در آب (+۰,۱۴۹) می توان نتیجه گرفت که دگرسانی نقش چندانی در ورود As به آب نداشته بلکه منبع اصلی آن آبرفتهای مسیر حرکت آبهای زیرزمینی می باشند. همچنین As همبستگی مثبت با پارامترهای EC (+۰,۸۷۵)، SAR (+۰,۸۷۶)، TH (+۰,۵۲۷) و TDS (+۰,۷۳) دارد.

B با Cl (+۰,۹۶۷)، K (+۰,۷۵۱)، Mg (+۰,۹۵۳)، Na (+۰,۹۹۴)، S (+۰,۶۵۴) و Si (+۰,۸۲۵) همبستگی مثبت نشان می دهد. همبستگی بالای B با EC و TDS (به ترتیب +۰,۹۰۳ و +۰,۹۷۳) و به تبع آن عناصری که غلظت آنها در آبهای زیرزمینی با طی کردن مسیر افزایش می یابد نشان دهنده منشأ غیر متمرکز آن در مجموعه آبرفتهای بستر است. چنانچه منشأ آبرفتی بور و آزاد شده آن از رسها قبلاً نیز توسط محققین دیگر گزارش شده است (Gonfiantini and Pennisi, 2006). علاوه بر این، عنصر B با Cr (+۰,۹۵) و As (+۰,۷۷۹) همبستگی مثبت نشان می دهد. همچنین B با pH همبستگی منفی نشان می دهد با توجه به نتایج تحقیقات گذشته مبنی بر افزایش میزان جذب سطحی بور با افزایش pH می توان نتیجه گیری کرد که کاهش pH با آزاد سازی بور جذب سطحی

شده، باعث افزایش غلظت B در آبهای زیرزمینی می‌شود که این مطلب توسط (Gonfiantini and Pennisi, 2006) نیز تایید می‌شود.

همبستگی مثبت Ca با Fe (+۰,۶۵۴)، K (+۰,۶۷۰) با توجه به افزایش غلظت آنها در نمونه‌های سنگی شدیداً دگرسان شده (شکل‌های ۵-۱۲ و ۵-۱۴) و همبستگی بالا با S (+۰,۹۱۴) نشان می‌دهد که با توجه به حضور کانی ژئپس در سطح زمین می‌توان منشأ Ca ورودی به آنها را در مناطق دگرسان شده انحلال ژئپس یا ترکیبات مشابه دانست. همچنین در این مناطق Ca با  $\text{HCO}_3^-$ ، TH و TSS (به ترتیب +۰,۵۲، +۰,۶۹۸، +۰,۷۴۴) همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

Cl از منشأ سیلیکات‌های کلردار و یا هالیدها و شورابه‌ها (Hounslow 1995) آزاد شده و وارد آبهای زیرزمینی می‌شود. از این رو با K (+۰,۷۳۷)، Mg (+۰,۹۹۰)، Na (+۰,۹۷۳) همبستگی مثبت داشته که منشأ گرفتن آن از منابع معرفی شده را تقویت می‌کند. همچنین Cl با As (+۰,۸۷۸)، B (+۰,۹۶۷)، Cr (+۰,۹۹۴) همبستگی مثبت دارد. همبستگی Cl با EC (+۰,۹۶۸)، TDS (+۰,۹۵۵)، TH (+۰,۸۲۶)، SAR (+۰,۹۸۸) نشان می‌دهد که افزایش این پارامترها با افزایش Cl در ارتباط می‌باشند. در حالی که Cl با pH (-۰,۵۲۸) همبستگی منفی داشته که نشان می‌دهد افزایش Cl با کاهش pH همراه بوده است.

Cr همبستگی مثبت با K (+۰,۷۱۱)، Na (+۰,۹۵۰)، Cl (+۰,۹۴۴) نشان می‌دهد که با توجه به کاهش غلظت Cr در واحدهای شدیداً دگرسان (شکل ۵-۸) می‌توان دریافت که منشأ Cr از واحدهای شدیداً دگرسان نمی‌باشد، بلکه در اطراف آنها غلظت Cr در آب و سنگ کاهش می‌یابد. منشأ آن با توجه به همبستگی مثبت با Mg (+۰,۹۸۴) و Si (+۰,۷۲۹) از پیروکسنهای کروم دار (Angel et al. 1989) و یا انحلال رسوبات کروم دار موجود در غرب منطقه (شکل ۵-۸) می‌تواند باشد. با توجه به همبستگی غلظت Cr در آب با عناصر As (+۰,۸۹۸)، B (+۰,۹۵)، پارامترهای EC (+۰,۹۸۵)، SAR (+۰,۹۹۵)، TH (+۰,۷۸۹)، TDS (+۰,۹۲۴) افزایش غلظت کروم با افزایش آنها همراه است.

Cu با Al (+۰,۶۸۸), Pb (+۰,۸۵۰), Sb (+۰,۷۰۷) همبستگی مثبت دارد. با توجه به عدم مشاهده کانی سازی این عناصر در منطقه، منشأ مس از آنومالی‌های پراکنده‌ی مربوط به جانشینی احتمالی مس با دیگر عناصر در ساختار کانی‌ها نسبت داده می‌شود.

Fe با Al (+۰,۷۹۱), Ca (+۰,۶۵۴) همبستگی مثبت دارد که با توجه به افزایش غلظت این دو عنصر در واحدهای شدیداً دگرسان (شکل‌های ۲-۵ و ۱۲-۵) می‌توان دریافت که دگرسانی عامل اصلی افزایش آهن در مناطق شدیداً دگرسان شده است. ترکیبات Fe ممکن است به صورت ذرات معلق در آب دیده شود، این موضوع در همبستگی مثبت Fe با TSS (+۰,۶۵۰) مشخص می‌شود.

K همبستگی مثبت با Mg (+۰,۸۰۶), Na (+۰,۷۶۹), S (+۰,۸۰۶), Si (+۰,۷۰۳), EC (+۰,۷۴۴), SAR (+۰,۷۳۱), TH (+۰,۹۵۴), TSS (+۰,۶۱۶) و TDS (+۰,۸۴۱) نشان می‌دهد. با توجه به افزایش غلظت آن در سنگهای شدیداً دگرسان شده و رسوبات تشکیل شده از آنها (شکل ۵-۱۴)، می‌توان منشأ اصلی K در آبها را واحدهای شدیداً دگرسان شده دانست. همچنین K با  $\text{HCO}_3^-$  (+۰,۵۱۸), Cr (+۰,۷۱۱), Cl (+۰,۷۳۷), Ca (+۰,۶۷), B (+۰,۷۵۱) همبستگی مثبت نشان می‌دهد. همبستگی مثبت Mg با Si (+۰,۸۰۰) همراه با جایگزینی کانیهای فرومنیزین با کانیهای ثانویه در مقاطع سنگی (شکل‌های ۲-۶ و ۲-۱۰ و ۲-۱۳) نشان می‌دهد که بخشی از عناصر Mg و Si از کانیهای فرومنیزین تامین شده است. همچنین Mg با As (+۰,۸۳۵), B (+۰,۹۳۵), Cl (+۰,۹۹۰), Cr (+۰,۹۳۷), K (+۰,۸۰۶), Na (+۰,۹۶۴), S (+۰,۵۷۸), EC (+۰,۹۷۶), SAR (+۰,۹۸۷), TH (+۰,۸۷۴), TDS (+۰,۹۶۴) همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

Na همبستگی مثبت با As (+۰,۷۷۴), B (+۰,۹۹۴), Cr (+۰,۹۵۰), Mg (+۰,۹۶۴), EC (+۰,۹۰۴), SAR (+۰,۹۴۶), TH (+۰,۸۷۹) و TDS (+۰,۹۸۷) نشان می‌دهد. همچنین همبستگی مثبت سدیم با Si (+۰,۸۴۱) و K (+۰,۷۶۹) نشان می‌دهد که Na از منشأ سیلیکاتها می‌تواند تامین شده باشد. به دلیل شباهت اندازه و بار یونهای Na و K آزاد سازی این دو یون می‌تواند از یک منشأ باشد. همچنین

همبستگی مثبت آن با Cl (+۰,۹۷۳) و S (+۰,۷۸۳) نشان می‌دهد که انتقال آن در محیط آبی بیشتر به صورت ترکیبات کلرید و سولفات است.

Pb با Cu (+۰,۸۵۰) و Sb (+۰,۵۳۱) همبستگی مثبت دارد که با توجه به عدم مشاهده کانه زایی این عناصر، به نظر می‌رسد که حضور آنها در محیط از منشأ آنومالی‌های پراکنده و جانیشینی ناچیز آنها با دیگر عناصر در کانیها و حضور آنها در سنگهای منطقه بوده است.

S با B (+۰,۶۵۴)، Ca (+۰,۹۱۴)، Cl (+۰,۵۳۰)، K (+۰,۸۶۰)، Mg (+۰,۵۷۸)، Na (+۰,۶۷۹)، Si، (+۰,۷۷۳)  $\text{HCO}_3^-$  (+۰,۵۹۸)، TH (+۰,۸۷۸)، TSS (+۰,۷۰۷)، TDS (+۰,۷۵۶) همبستگی مثبت نشان می‌دهد. همبستگی منفی S با Ba (-۰,۷۸۶) نشان دهنده کاهش غلظت و تحرک باریم با افزایش S و تشکیل رسوب سولفات باریم نامحلول ( $\text{BaSO}_4$ ) است.

Si به عنوان جز اصلی سیلیکاتها که در اثر هوازدگی وارد آب و خاک می‌شود با Ca (+۰,۵۷۲)، K (+۰,۷۰۳)، Mg (+۰,۸۰۰) و Na (+۰,۸۴۱) همبستگی مثبت نشان می‌دهد که می‌تواند هم منشأ بودن آنها را از کانیهای سیلیکاته را نشان دهد. علاوه بر آنها Si با B (+۰,۸۲۵)، Cl (+۰,۷۸۳)، Cr (+۰,۷۲۹)، S (+۰,۷۷۳)، EC (+۰,۶۸۴)،  $\text{HCO}_3^-$  (+۰,۷۴۶)، SAR (+۰,۷۵۰)، TH (+۰,۸۴۵) و TDS (+۰,۸۸۷) همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

pH در منطقه مورد مطالعه عموماً با پارامترهای مورد بحث همبستگی منفی نشان می‌دهد به گونه‌ای که افزایش غلظت املاح به ویژه آنیونها و کاتیونهای اصلی با کاهش pH همراه است. از جمله آنها می‌توان به همبستگی pH با Cl (-۰,۵۲۸)، Na (-۰,۵۸۳)، S (-۰,۵۳۰)، TH (-۰,۵۳۳) و TDS (-۰,۵۹۲) اشاره کرد. علاوه بر آنیونها و کاتیونهای اصلی کاهش pH با افزایش غلظت بسیاری از عناصر دیگر نیز همراه است. pH با B (-۰,۶۰۷) همبستگی منفی دارد که این امر افزایش تحرک این عناصر را در شرایط اسیدی نشان می‌دهد.

TH (سختی کل) نیز پارامتری است که با توجه به مقدار Ca و Mg محاسبه می‌شود. عناصری که افزایش آنها همراه با افزایش Ca و Mg باشد با TH همبستگی مثبت دارند. از جمله آنها می‌توان به

همبستگی مثبت TH با B (+۰,۸۵۷) Cl (+۰,۸۲۶) Cr (+۰,۷۸۹) K (+۰,۹۵۴) Na (+۰,۸۷۹) S (+۰,۸۷۸) Si (+۰,۸۴۵) EC (+۰,۷۹۰) SAR (+۰,۸۰۳) TSS (+۰,۶۳۱) و TDS (+۰,۹۳۹) اشاره نمود.

TSS (مجموع ذرات معلق در آب) با Ca (+۰,۷۴۴) Fe (+۰,۶۵۰) K (+۰,۶۱۶) S (+۰,۷۰۷) TH (+۰,۶۳۱) همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

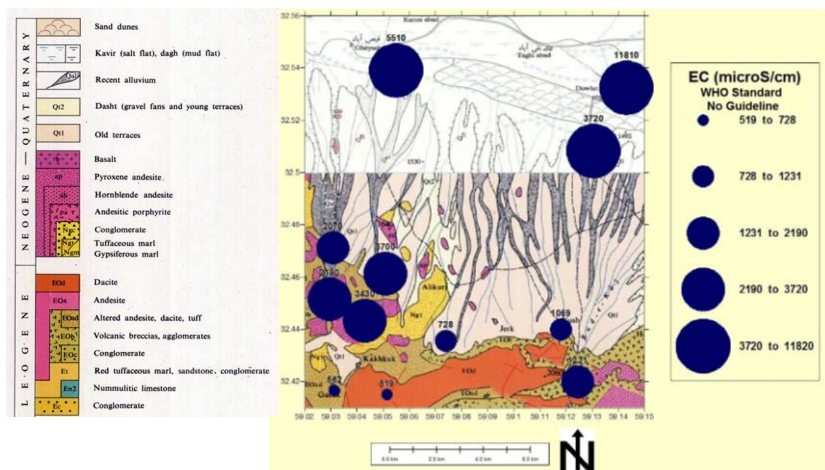
TDS (مجموع جامدات حل شده در آب) با As (+۰,۷۳) B (+۰,۹۷۳) Cl (+۰,۹۲۴) K (+۰,۸۴۱) Mg (+۰,۹۶۴) Na (+۰,۹۸۷) S (+۰,۷۵۶) Si (+۰,۸۸۷) EC (+۰,۸۹۱) SAR (+۰,۹۲۷) TH و (+۰,۹۳۹) همبستگی مثبت و با pH (-۰,۵۹۲) و Ba (-۰,۵۲۱) همبستگی منفی نشان می‌دهد.

### ۳-۶- بررسی تغییرات برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

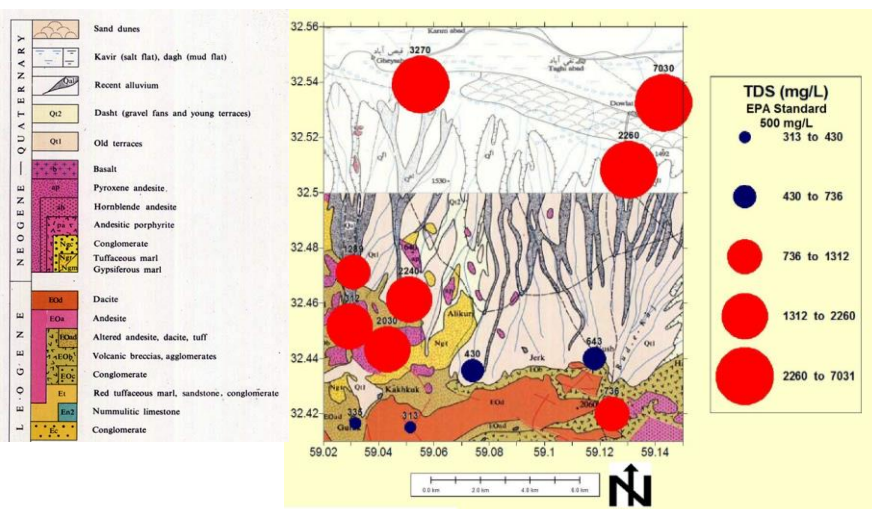
#### ۳-۶-۱- تغییرات EC (هدایت الکتریکی) و TDS (غلظت املاح حل شده)

هدایت الکتریکی معرف خوبی برای میزان انحلال املاح در آبها می‌باشد. با توجه به کاربردهای مختلف آب مقادیر مجاز متفاوتی برای EC و TDS توصیه شده‌اند. جهت آب شرب مقدار TDS برابر با mg/L ۵۰۰ از سوی آژانس حفاظت محیط زیست (EPA<sup>۵</sup>, 2010) ارائه شده است. با مقایسه مقادیر TDS (جدول ۴-۴) با مقادیر استاندارد می‌توان دریافت که TDS در چاههای دولت آباد، کوشه و ولیعصر و قناتهای دزوک و بیدستان، سورگ، جنگ آباد و رود کاج بیش از حد مجاز شرب می‌باشد. شکل‌های ۱-۶ و ۲-۶ توزیع مقادیر EC و TDS در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

<sup>5</sup> Environmental Protection Agency



شکل ۶-۱- توزیع مقادیر EC در منابع آبی منطقه مورد مطالعه



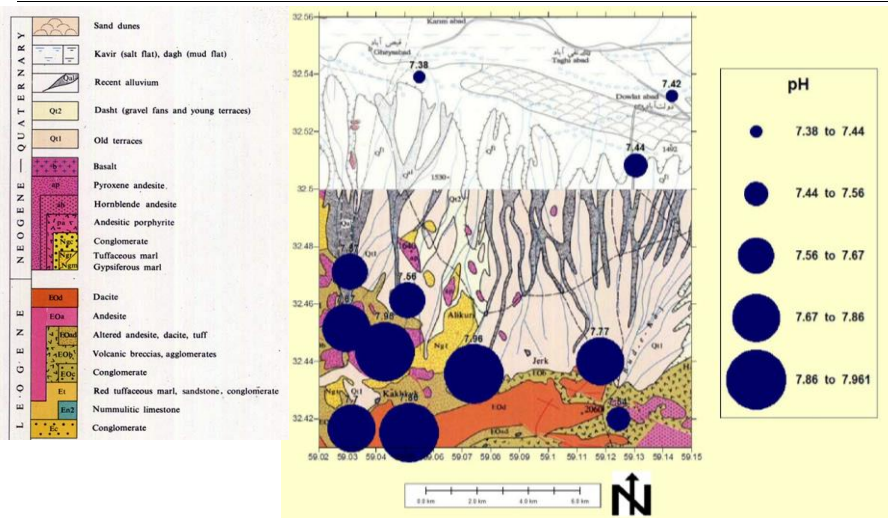
شکل ۶-۲- توزیع مقادیر TDS در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکلهای بالا می توان دریافت که آبها در مناطق بالا دستی و ارتفاعات (جنوب منطقه) مقادیر EC و TDS کمتری نسبت به دیگر نقاط دارند. در حالی که رفته رفته با کاهش ارتفاع و طی کردن مسیر و انحلال و دیگر واکنشها غلظت املاح در آب بالا می رود. در حوالی مناطق شدیداً

دگرسان شده (قناتهای بیدستان و دزوک) و قناتهای نزدیک به آنها (سورگ و جنگ آباد) (W2, W3) EC و TDS بالا می‌رود در حالی که در قناتهای دورتر از دگرسانی با ارتفاع مشابه EC و TDS پایین-تری ملاحظه می‌شود. در نواحی شمالی و پست ترین نقاط منطقه مورد مطالعه (W10, W11, W12) بیشترین مقادیر EC و TDS در آب مشاهده می‌شود. از میان سه نمونه W10, W11, W12، چاه دولت آباد (W12) با وجود ارتفاع بیشتر نسبت به W10، EC و TDS بسیار بیشتری نسبت به آن دارد. با توجه به نزدیکی این منبع آبی به نمکزار مختاران، بالا رفتن شدید EC و TDS در آن را می‌توان به ورود شورابه‌های سطحی به آبهای زیرزمینی در این نقطه نسبت داد.

#### ۶-۳-۲- تغییرات pH

pH از جمله عواملی است که تغییرات آن در تحرک فلزات سنگین بسیار اثر گذار می‌باشد. pH اغلب آبهای طبیعی در دامنه (۵،۸-۶) قرار دارد. pH آب ممکن است به دلیل اکسایش سولفیدها، هیدرولیز یونها و انحلال اسیدها پایین آمده و با خروج CO<sub>2</sub> از آب و انحلال بازها بالا رود (Hounslow, 1995). مقادیر pH اندازه گیری شده در آبهای منطقه در جدول ۴-۴ ارائه شده است. تمام منابع آبی در محدوده مجاز شرب (۵،۸-۶،۵) قرار دارد. پراکنش مقادیر pH (شکل ۶-۳) در منطقه نشان می‌دهد که به طور کلی pH از بالا دست به پایین دست کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار pH در قناتهای مهنج (W7) و دزوک (W5) و کمترین مقادیر در چاههای دولت آباد (W12) و کوشه (W10) و ولی عصر (W11) مشاهده می‌شود. قنات بیدستان (W6) در میانه دشت نسبت به نقاط هم ارتفاع خود pH کمتری نشان می‌دهد. با توجه به تغذیه این قنات از واحدهای دگرسان شده بالا دست، این کاهش را می‌توان به تأثیر این واحدها نسبت داد.

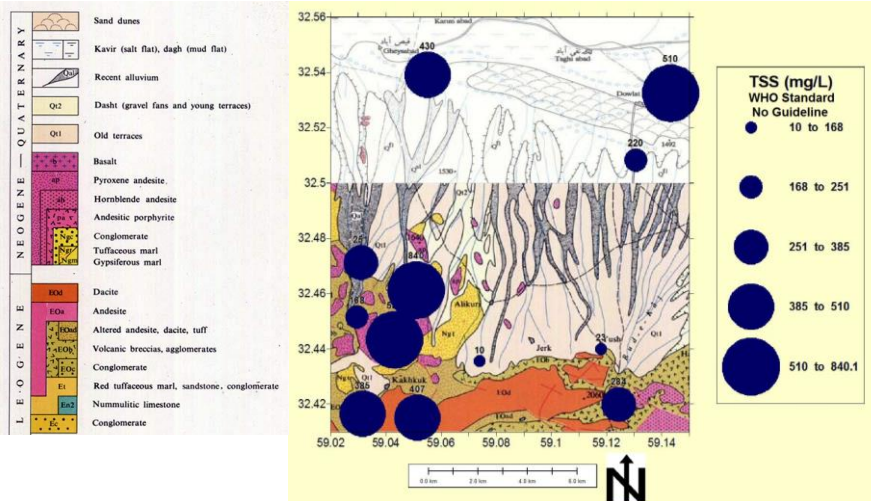


شکل ۶-۳- توزیع مقادیر pH در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

### ۶-۳-۳- تغییرات TSS (مجموع ذرات معلق در آب)

وجود ذرات معلق در آب، گذشته از تأثیر نامطلوب بر ظاهر آب، می‌تواند محلی برای اسکان میکروارگانیسمها و ورود آنها به بدن باشد. از طرفی بسته به جنس، این ذرات می‌توانند حامل فلزات سنگین جذب سطحی شده باشند (Perhac, 1972). بنابراین قبل از مصرف آب جهت شرب، حذف این ذرات ضروری است. در محدوده مورد مطالعه غلظت‌های بسیار متفاوتی از TSS مشاهده می‌شود (شکل ۶-۴). در این میان قنات‌های یوش (W8) و مهنج (W7) کمترین مقدار TSS (به ترتیب ۲۳ و ۱۰ mg/L) و قنات بیدستان (W6) بیشترین مقدار TSS (۸۴۰ mg/L) را دارا هستند. در آب قنات بیدستان بالا بودن TSS را می‌توان به صورت لخته‌های حاصل از تجمع ذرات معلق در طول کانال و مظهر قنات مشاهده نمود. بالا بودن TSS در این قنات به ماهیت آرژیلیکی و وفور کانیهای رسی و اکسیدهای آهن در واحدهای دگرسان شده بالا دست این قنات مربوط می‌شود. در واقع دگرسانی علاوه بر افزایش املاح باعث افزایش TSS در آب نیز می‌شود.

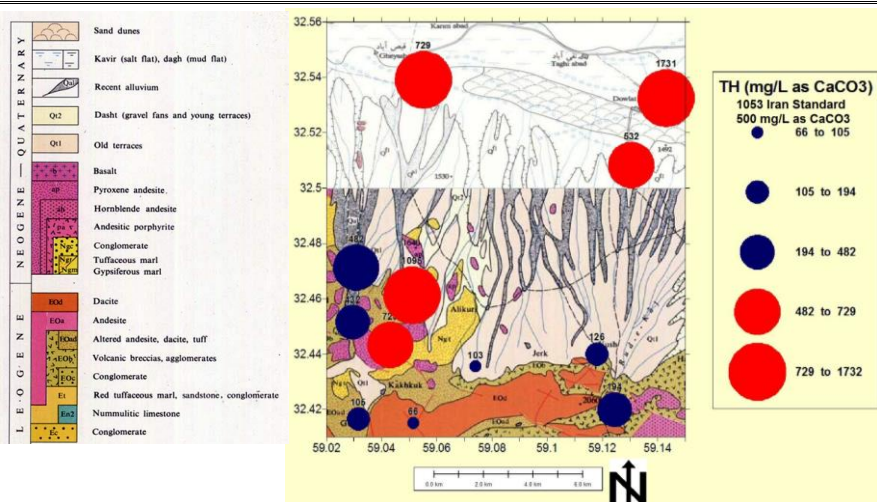




شکل ۶-۴- توزیع غلظت TSS در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

۶-۳-۴- تغییرات TH (سختی کل)

شکل ۶-۵) توزیع مقادیر سختی کل در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در حوالی مناطق شدیداً دگرسان شده قناتهای بیدستان و دزوک (نمونه های آبی شماره W5, W6) و در مناطق پایین دستی (میانه دشت) مقدار سختی کل به بیشترین مقادیر خود می‌رسند. در حالی که سازمان بهداشت جهانی حد مجازی برای سختی تعیین نکرده است، استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران (۱۳۷۱) (۱۳۷۱) مقدار ۵۰۰ mg/L بر حسب  $\text{CaCO}_3$  را جهت شرب توصیه کرده است. بر همین مبنا قناتهای دزوک (W5) و بیدستان (W6) و چاههای ولیعصر (W11)، کوشه (W10) و دولت آباد (W12) دارای سختی بیش از حد مجاز می‌باشند. مقایسه مقادیر سختی با حدود سختی آنها (جدول ۶-۲) نشان می‌دهد که آبهای منطقه در زمره آبهای نسبتاً سخت تا بسیار سخت قرار دارند (جدول ۶-۳).



شکل ۶-۵- توزیع مقدار سختی در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

جدول ۶-۲- تقسیم بندی آبها براساس سختی (پوی و همکاران ۱۳۸۶)

سختی کل بر حسب mg/L CaCO3	نوع آب
۵۰ >	نرم
۱۰۰-۵۰	نسبتاً سخت
۳۰۰-۱۵۰	سخت
>۳۰۰	بسیار سخت

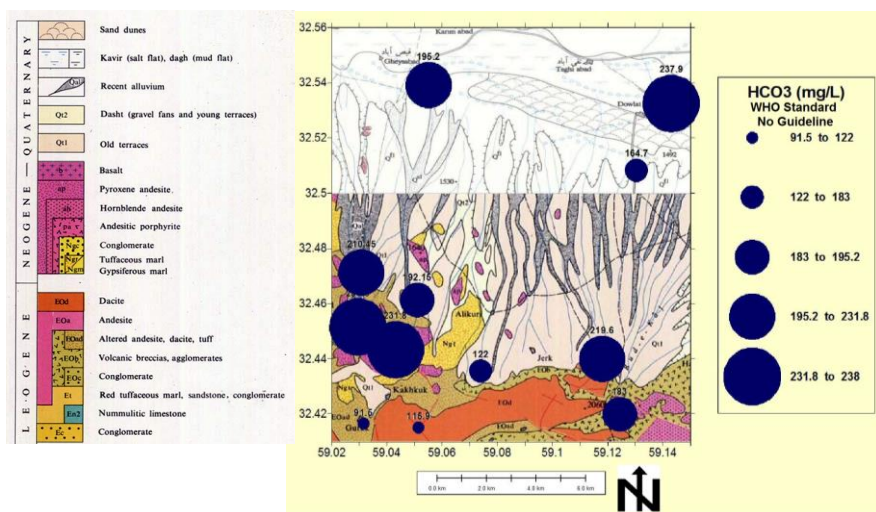
جدول ۶-۳- سختی در نمونه‌های آب مورد بررسی

شماره نمونه	نام منبع آبی	نوع آب	شماره نمونه	نام منبع آبی	نوع آب
W1	قنات گولک	نسبتاً سخت	W7	قنات مهنج	نسبتاً سخت
W2	قنات سورگ	بسیار سخت	W8	قنات یوش	نسبتاً سخت
W3	قنات جنگ آباد	بسیار سخت	W9	قنات رود کاج	سخت
W4	چشمه بیدخت	نسبتاً سخت	W10	چاه گوشه	بسیار سخت
W5	قنات دزوک	بسیار سخت	W11	چاه ولیعصر	بسیار سخت
W6	قنات بیدستان	بسیار سخت	W12	چاه دولت آباد	بسیار سخت

### ۴-۶- بررسی تغییرات غلظت آنیونها و کاتیونها

#### ۴-۶-۱- تغییرات غلظت بی کربنات

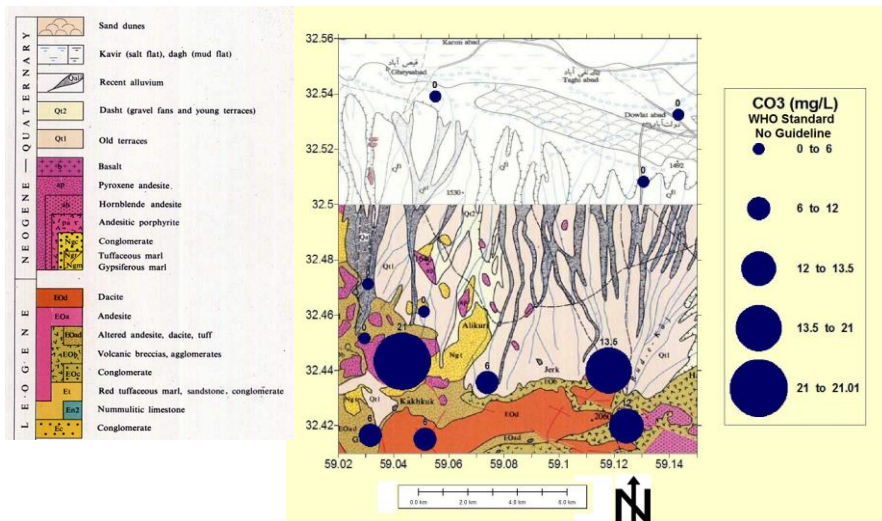
شکل ۶-۶ توزیع مقادیر غلظت  $HCO_3^-$  در نمونه های آب در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. قناتهای دزوک (W5) و سورگ (W2) و چاه دولت آباد (W12) بیشترین غلظت  $HCO_3^-$  را در میان نمونه های آبی داشته اند.



شکل ۶-۶- توزیع غلظت بی کربنات در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۶-۲- تغییرات غلظت کربنات

شکل ۶-۷ توزیع مقادیر  $CO_3^{2-}$  را در نمونه های آب در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. قناتهای دزوک (W5) و یوش (W8) بیشترین غلظت  $CO_3^{2-}$  را در میان نمونه های آبی داشته اند.

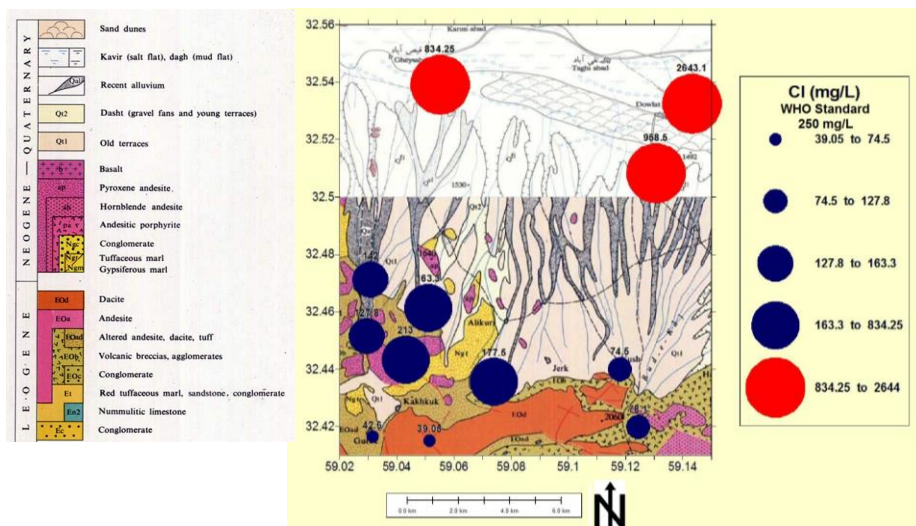


شکل ۶-۷- توزیع غلظت کربنات در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

۶-۳- تغییرات غلظت کلرید

یون کلرید از یونهای رایج در آبهای زیرزمینی می باشد که اغلب به صورت کلرید سدیم و منیزیم در طبیعت وجود دارد و از این رو همراه با سدیم و منیزیم (در آبهای سطحی و زیرزمینی) مشاهده می شود. همبستگی بالای Cl با Na (+۰,۹۷۳) و Mg (+۰,۹۹۰) این موضوع را تایید می کند. حداکثر غلظت ۲۵۰ mg/L از سوی سازمان بهداشت جهانی و مقدار ۶۰۰ mg/L از سوی استاندارد ملی ایران برای آبهای شرب تعیین شده اند. مقایسه مقادیر غلظت کلرید در آبهای زیرزمینی با استاندارد سازمان بهداشت جهانی نشان می دهد که چاههای دولت آباد (W12) ، ولیعصر (W11) و کوشه (W10) بیش از ۲ تا ۱۱ برابر استاندارد دارای یون کلرید بوده اند. البته افزایش قابل توجه یون کلرید در چاه دولت آباد (W12) را می توان به دلیل نزدیکی و قرار گرفتن در پایین دست نمکزار مختاران و ورود شورابه ها از این نمکزار دانست. شکل (۶-۸) توزیع مقادیر غلظت Cl در نمونه های آبی را نشان می دهد. به طور کلی منابع آبی واقع در ارتفاعات مقادیر کمتری را نسبت به نمونه های پایین دست نشان می دهند. از این رو به نظر می رسد که با کاهش ارتفاع و طی کردن مسیر، آبهای زیرزمینی با محیط تبادل

بیشتری داشته و به دلیل ماهیت غیر واکنشی یون کلرید، در نتیجه غلظت املاح کلرید در آنها بالا می‌رود.



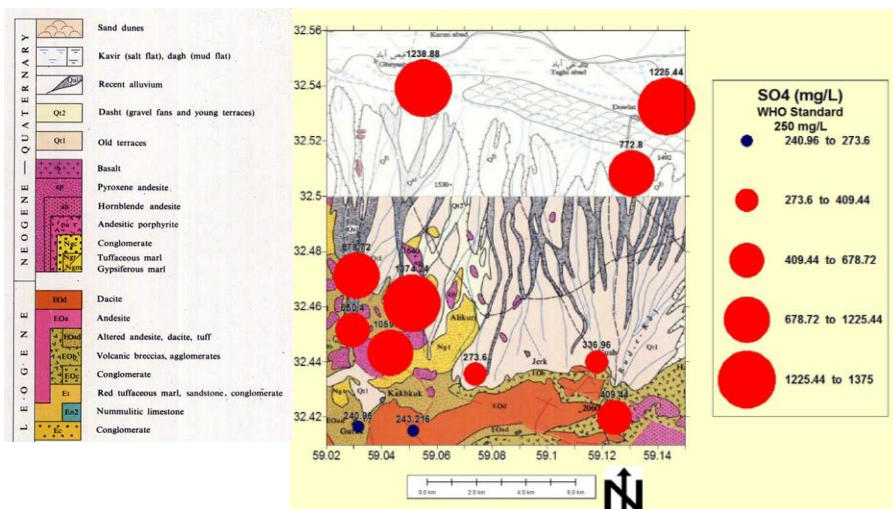
شکل ۶-۸- توزیع غلظت کلرید در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

۶-۴-۴- تغییرات غلظت سولفات

سولفات اولین آنیون مهم حاضر در آبهای زیرزمینی است. حداکثر غلظت ۲۵۰ mg/L از سوی سازمان بهداشت جهانی و ۴۰۰ mg/L از سوی استاندارد ملی ایران جهت شرب توصیه شده است. با مقایسه غلظت سولفات در نمونه‌های آبی (جدول ۴-۴) با استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌توان دریافت به جز نمونه‌های W1 و W4 دیگر نمونه‌ها از بیش از ۱ تا حدود ۵٫۵ برابر حد استاندارد حاوی سولفات بوده‌اند. شکل (۶-۹) توزیع غلظت سولفات را در منابع آبی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بالا بودن غلظت سولفات در آبهای زیرزمینی عبوری از نواحی شدیداً دگرسان شده با بالا بودن غلظت S در این سنگها (تا ۳٫۸۹٪) و رسوبات تشکیل شده از آنها (تا ۸٫۷۹٪) قابل توجیه است. از این رو تأثیر دگرسانی را بر کیفیت آنها به خوبی می‌توان دریافت. دگرسانی باعث بالا رفتن غلظت سولفات در سنگ و ظهور کانیهای نظیر آلونیت (رسا و همکاران، ۱۳۸۴)، ژاروسیت (شکل ۲-۱۴) و ژیپس (شکل ۶-۱۰) می‌شود. انحلال این کانیها و آزاد شدن سولفات از آنها باعث افزایش قابل توجه سولفات



نسبت به دیگر آنیونها در منابع آبی تغذیه شده از مناطق دگرسان می‌شود. از این رو غلظت سولفات در قناتهای بیدستان و دزوک (نمونه‌های W5, W6) تا ۴,۲ و ۵,۵ برابر حد استاندارد می‌رسد.



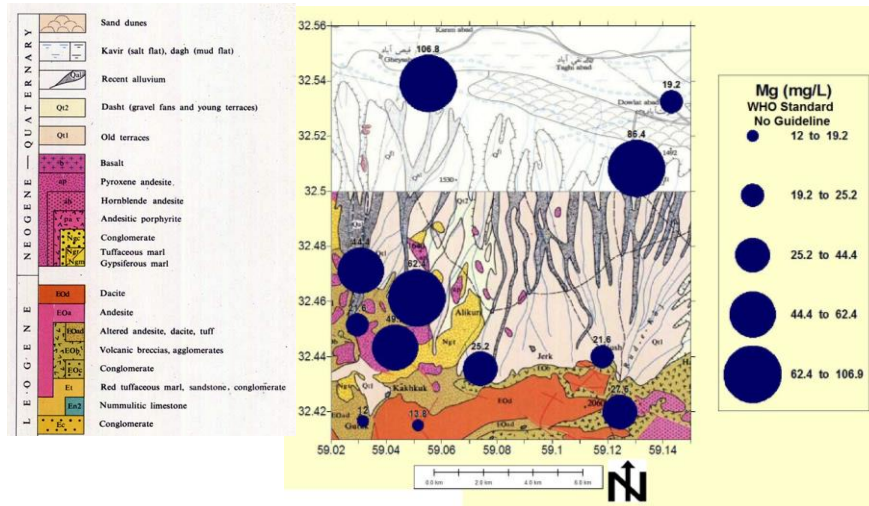
شکل ۶-۹- توزیع غلظت سولفات منابع آبی منطقه مورد مطالعه

#### ۶-۴-۵- تغییرات غلظت کلسیم

کلسیم از کاتیونهای اصلی حاضر در بسیاری از آبهای زیرزمینی است. کلسیم از هوازدگی سیلیکاتهای کلسیم دار نظیر پلاژیوکلازها و انحلال ژئیس وارد آب زیرزمینی می‌شود. تجزیه پلاژیوکلاز و جانشینی آن با کانیه‌های رسی نشان می‌دهد که تجزیه این کانیه‌ها می‌تواند منبع اولیه برای ورود Ca و ترکیبات ثانویه نظیر ژئیس می‌تواند منبع ثانویه برای ورود Ca به آبهای زیرزمینی باشد. مقایسه همبستگی Ca با S (+۰,۹۱۴) در آب و Ca با S (+۰,۶۹۷) در سنگ، نشان می‌دهد که سولفاتهایی نظیر ژئیس نقش مهمی در آزاد سازی Ca به آب دارند. از سوی سازمان بهداشت جهانی حد مجازی برای آن تعیین نشده است در حالی که استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران (۱۳۷۱) (۱۳۷۱) حداکثر غلظت ۲۰۰ mg/L را برای آب شرب انتخاب کرده است. با توجه به آن قناتهای دزوک و بیدستان (نمونه‌های W5 و W6) و چاههای دولت آباد، ولیعصر و گوشه (نمونه‌های W10, W11, W12) دارای مقادیر بیش از استاندارد بوده است. شکل (۶-۱۰) توزیع مقادیر غلظت کلسیم را در منابع آبی منطقه مورد مطالعه نشان می‌-



گولک، یوش و رود کاج) بوده است. در حالی که حوالی نواحی شدیداً دگرسان شده (قناتهای بیدستان و دزوک) نمونه های W5, W6 غلظت Mg افزایش می یابد. در نهایت در چاههای ولیعصر (W11)، کوشه (W10) و دولت آباد (W12) به حداکثر غلظت در میان منابع آبی مورد مطالعه می رسد.



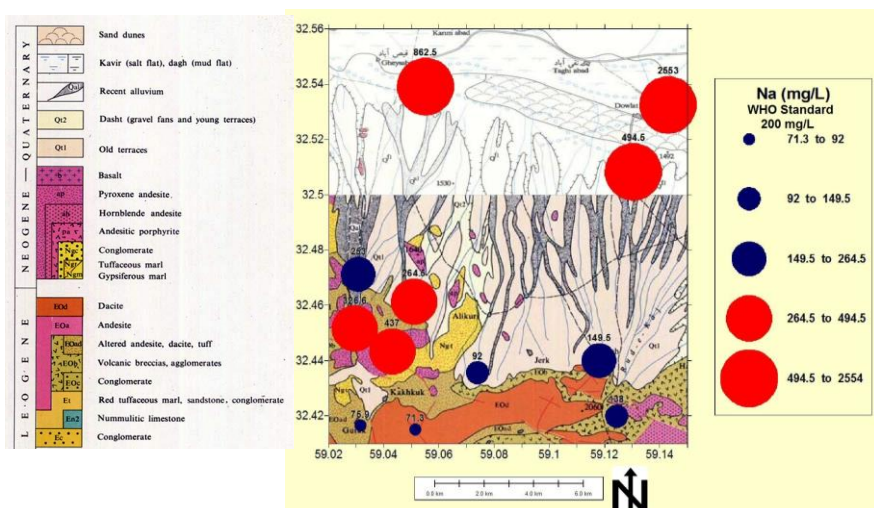
شکل ۶-۱۱- توزیع غلظت منیزیم در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

#### ۶-۴-۷- تغییرات غلظت سدیم

سدیم از کاتیونهای اصلی حاضر در اغلب آبهای زیرزمینی است. سدیم از هوازدگی و تجزیه فلدسپارها و سیلیکاتهای مافیک سدیم دار و انتقال آنها به صورت محلول به محیط وارد می شود. همبستگی بالای سدیم با Cl و Si (به ترتیب  $+0.973$  و  $+0.841$ ) این مطلب را تایید می کند. به دلیل قابلیت بالای انحلال ترکیبات سدیم دار در آنها، حرکت آنها با انحلال املاح و افزایش غلظت سدیم همراه است. مناطق بالا دستی و ارتفاعات جنوبی منطقه کمترین مقادیر و چاههای واقع در پایین دست میانه دشت بیشترین مقادیر Na را داشته اند (شکل ۶-۱۲). سازمان بهداشت جهانی حد  $200 \text{ mg/L}$  به عنوان حد مجاز سدیم پیشنهاد کرده است در حالی که استاندارد  $1053$  ملی ایران (۱۳۷۱) (۱۳۷۱) حد مجازی را برای آن تعیین نکرده است. بر همین اساس نمونه های W2, W3, W5, W6



W10, W11, W12 (قناتهای سورگ، جنگ آباد، دزوک، بیدستان و چاههای کوشه، ولیعصر و دولت آباد) دارای بیش از حد استاندارد سدیم بوده‌اند.



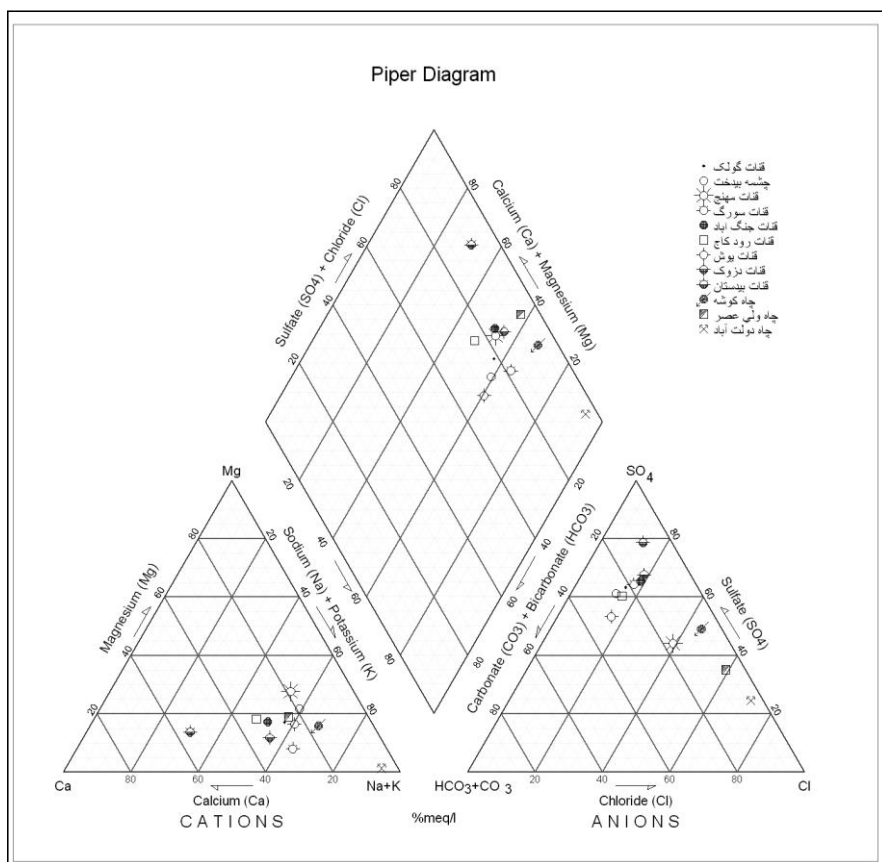
شکل ۶-۱۲- توزیع غلظت سدیم در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

### ۶-۵- بررسی ویژگیهای تیپ و رخساره‌ای

در این تحقیق منظور از آنیونهای اصلی مطالعه شده در آب،  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  و کاتیونهای اصلی نیز شامل  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  می باشد. تغییرات این آنیونها و کاتیونها معرف ویژگیهای لیتولوژیکی مسیر حرکت آب است. همچنین آبهای جوی با نفوذ به اعماق و اختلاط با آبهای زیرزمینی تغییراتی را در آنها به وجود می آورند که اثر آنها را نیز می توان در تغییرات غلظت آنیونها و کاتیونها مشاهده کرد. با استفاده از داده های ارائه شده در جدول ۴-۴، نمودارهای پایپر (شکل ۶-۱۳)، استیف (شکل ۶-۱۴)، شولر (شکل ۶-۱۵) رسم شده، تیپ و رخساره و دیگر ویژگیهای آنیونی و کاتیونی آنها در جداول ۴-۶ و ۵-۶ ارائه شده است.

نتایج به دست آمده از مجموع نمودارها را می توان نسبت به فاصله از واحدهای دگرسان توجه و تفسیر نمود. قناتهای مهنج (W7)، گولک (W1)، یوش (W8) و رود کاج (W9) در میان آبرفت‌های عهد حاضر در حاشیه آبراهه ها حفر شده‌اند. واحدهای سنگی بالا دست و دیواره های این قنات دگرسانی

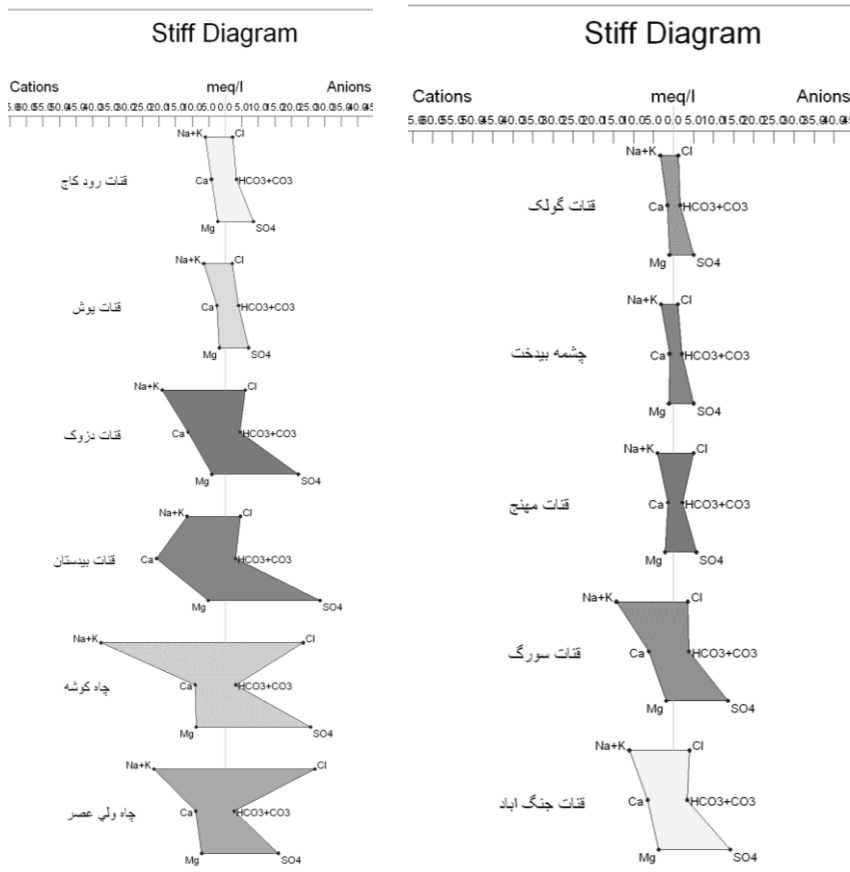
ضعیف (پروپلیتیک) نشان می‌دهند. در موارد اندکی کانه زایی پراکنده سولفیدها به چشم می‌خورد. چشمه بیدخت نیز از میان واحدهای داسیتی با دگرسانی ضعیف (پروپلیتیک) سرچشمه می‌گیرد. مجموع این عوامل باعث می‌شود که علاوه بر پایین بودن هدایت الکتریکی آب (EC) تیپ و رخساره سولفات و سدیک در این منابع آبی حاکم باشد.



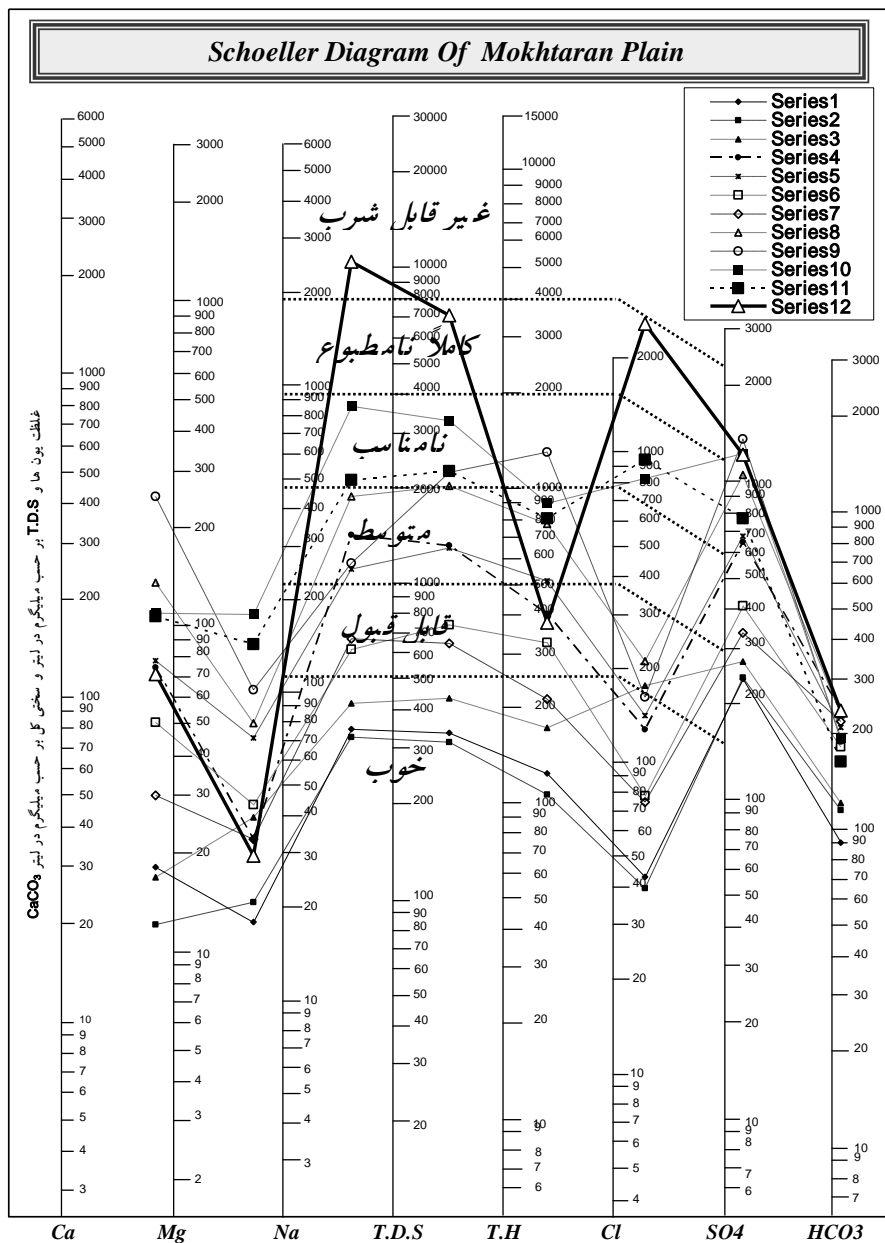
شکل ۶-۱۳- نمودار پایپر منابع آبی مورد مطالعه در پایان فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)

جدول ۶-۴- ویژگیهای تیپ و رخساره آبهای مورد مطالعه

تیپ و رخساره	نام منبع	تیپ و رخساره	نام منبع
۱۳۸۸ خرداد		۱۳۸۸ خرداد	
Na-SO4	چاه کوشه	Na-SO4	چشمه بیدخت
Na-SO4	قنات سورگ	Na-SO4	قنات دزوک
Na-SO4	قنات یوش	Ca-SO4	قنات بیدستان
Na-SO4	قنات رود کاج	Na-SO4	قنات مهنج
Na-Cl	چاه دولت آباد	Na-SO4	قنات جنگ آباد
Na-Cl	چاه ولیعصر	Na-SO4	قنات گولک



شکل ۶-۱۴- نمودار استیف منابع آبی مورد مطالعه در پایان فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)



شکل ۶-۱۵- نمودار شولر منابع آبی در پایان فصل تر (خرداد ۱۳۸۸)

در این شکل سریهای ۱ تا ۱۲ به ترتیب شامل قنات گولک، چشمه بیدخت، قناتهای مهنج، دزوک،

یوش، رود کاج، سورگ، بیدستان و جنگ آباد و چاههای کوشه، ولیعصر و دولت آباد می باشد.

جدول ۶-۵- توالی آنیونی و کاتیونی منابع آبی مورد مطالعه

نام منبع	توالی آنیونی ۱۳۸۸ خرداد	توالی کاتیونی ۱۳۸۸ خرداد
چشمه بیدخت	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-}$	$Na > Mg > Ca$
قنات دزوک	$SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > HCO_3^-$	$Na > Ca > Mg$
قنات بیدستان	$SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > HCO_3^-$	$Ca > Na > Mg$
قنات مهنج	$SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > HCO_3^-$	$Na > Mg > Ca$
قنات جنگ آباد	$SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > HCO_3^-$	$Na > Ca > Mg$
قنات گولک	$SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > HCO_3^-$	$Na > Ca > Mg$
چاه کوشه	$SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > HCO_3^-$	$Na > Ca > Mg$
قنات سورگ	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-}$	$Na > Ca > Mg$
قنات یوش	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-}$	$Na > Ca > Mg$
قنات رود کاج	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-}$	$Na > Ca > Mg$
چاه دولت آباد	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > CO_3^{2-}$	$Na >> Ca > Mg$
چاه ولیعصر	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > CO_3^{2-}$	$Na > Ca > Mg$

همچنین قناتهای مهنج (W7)، گولک (W1)، یوش (W8) و رود کاج (W9) pH بالاتری نسبت به نقاط دیگر دارند و به طور کلی این آبها عمدتاً کیفیت خوبی داشته و به مصرف کشاورزی، شرب دام و انسان می‌رسند. از طرفی گرچه در آب این قنات سولفات آنیون غالب می‌باشد. توالی آنیونهای آنها به صورت  $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-}$  است. ورود آبهای جوی غنی از  $CO_2$  محلول به آبهای زیرزمینی باعث بالاتر بودن غلظت بی‌کربنات نسبت به کلر در این آبها می‌شود. از طرفی املاح کلردار در بخشهای بالادستی کمتر یافت می‌شوند و آبهای زیرزمینی مسیر چندانی را برای انحلال املاح طی نکرده‌اند و در نتیجه غلظت یون کلرید در آنها پایین تر از بی‌کربنات است. بالا بودن غلظت سولفات نسبت به دیگر آنیونها را می‌توان به اکسایش سولفیدهای پراکنده در سنگهای منطقه نسبت داد. توالی رایج در کاتیونهای این منابع آبی نیز به صورت  $Na > Ca > Mg$  است. سدیم کاتیون غالب آبهای منطقه است. بیشتر بودن غلظت این یون نسبت به دیگر یونها را می‌توان به وفور آن در واحدهای

سنگی (پلاژیوکلازها) و کم بودن احتمال جذب سطحی این یون به خاکها نسبت به یونهای دیگر دانست. قنات بیدستان (W6) در پایین دست واحدهای دگرسان شده واقع شده است. تیپ و رخساره غالب سولفات کلسیک دارند. از دیگر ویژگیهای آن، EC نسبتاً بالا، سختی آب و وجود طعم و رنگ در آب است. pH آب در این قنات نسبت به دیگر قنات مطالعه شده پایین بوده است. از دیگر نکات جالب توجه در آب این قنات توالی آنیونی به صورت  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$  است. از طرفی وفور کانی‌های رسی در واحدهای دگرسان شده و افزایش زمان تماس آب و سنگ، انحلال املاح را افزایش می‌یابد. در حال حاضر آب این قنات تنها به مصرف کشاورزی و شستشو می‌رسد و در موارد اضطرار به منظور شرب نیز استفاده می‌شود.

قنات جنگ آباد (W3) گرچه در میان واحدهای آبرفتی حفر شده است، با این وجود در بالا دست آبرفت، واحدهای دگرسان شده قرار دارد که باعث می‌شود آب این قنات رفتار کامبیش شبیه هر دو دسته بالا را داشته باشد. توالی آنیونی شبیه آبهای عبوری از واحدهای دگرسان شده به صورت  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$  و همچنین EC بالاتر نسبت به قناتهای بالا دستی از دیگر ویژگیهای آن است. این شواهد این نتیجه را می‌رساند که آب در قنات جنگ آباد حاصل اختلاط آبهای با کیفیت بهتر (جاری شده از ارتفاعات) و آبهای با کیفیت پایین (عبور کرده از واحدهای دگرسان شده) بوده است. البته نسبت اختلاط این آبها متفاوت بوده و طی فصول تر و خشک تغییر می‌کند.

قنات سورگ (W2) در نزدیکی قنات جنگ آباد، رفتارهای مشابهی نشان می‌دهد. در فاصله اندک در بالا دست میله چاههای قنات سورگ (W2)، واحدهای دگرسان شده قرار دارند در حالی که وجود آبراهه پوشیده شده با آبرفت تقریباً موازی با محور قنات باعث می‌شود که آبها در این قنات حاصل اختلاط آبهای با کیفیت متفاوت باشد.

چاههای کوشه (W10)، ولیعصر (W11) و دولت آباد (W12) در پایین دست قناتهای جنگ آباد و سورگ قرار دارند. تیپ غالب آب در چاههای ولیعصر و دولت آباد کلروره سدیک بوده و نشان دهنده وفور املاح کلروره در این بخشها می‌باشد. این موضوع را می‌توان به نمکزار مختاران که به فاصله

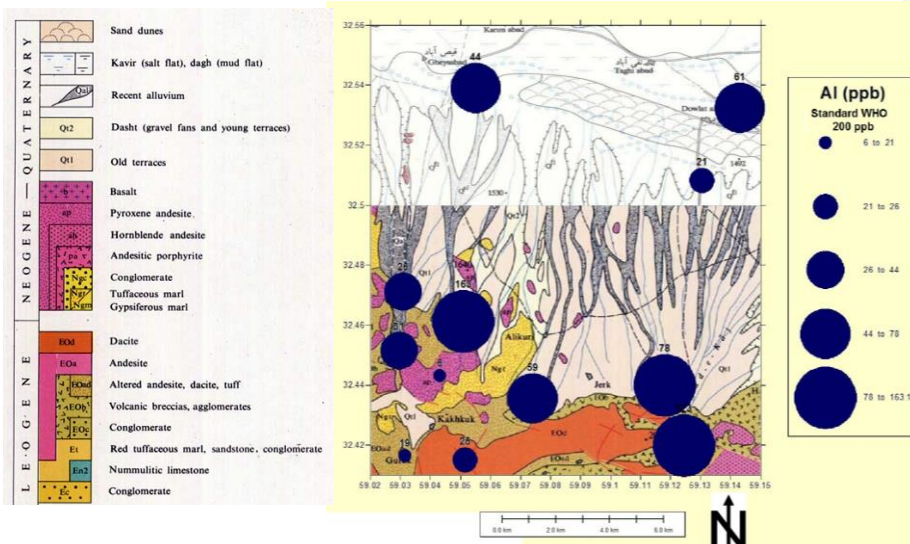
کمی در بالا دست این دو قنات قرار دارد نسبت داد. از این رو به نظر می‌رسد که آب در این بخشها که از پست ترین نقاط دشت می باشند نه تنها از محدوده مورد مطالعه بلکه از بخشهای شمالی و شرقی که با شیب ملایمی به این بخش ختم می شوند نیز تغذیه می شود. چاه کوشه با فاصله بیشتر در پایین دست واحدهای دگرسان شده قرار دارد. تیپ و رخساره غالب آن سولفات سدیک می باشد. ویژگی مشخص چاههای ذکر شده که در پایین دست منطقه مورد مطالعه و نواحی کم ارتفاع دشت قرار دارند EC بالای آنهاست. بالا بودن هدایت الکتریکی با توجه به طی کردن مسیری نسبتاً طولانی از بخشهای مرتفع (نواحی تغذیه) و انحلال بیشتر املاح، پدیده‌ای طبیعی است که قبلاً به دفعات در دشتها (Freez and Cherry 1979) مشاهده شده است. همچنین با توجه به نمودار شولر (شکل ۶-۱۵)، می‌توان دریافت که چاههای دولت آباد، کوشه و ولیعصر در محدوده نامناسب تا غیر قابل شرب و قناتهای گولک و مهنج و چشمه بیدخت در محدوده خوب و مناسب جهت شرب قرار دارند.

#### ۶-۶- بررسی غلظت عناصر در منابع آبی منطقه

##### ۶-۶-۱- آلومینیوم

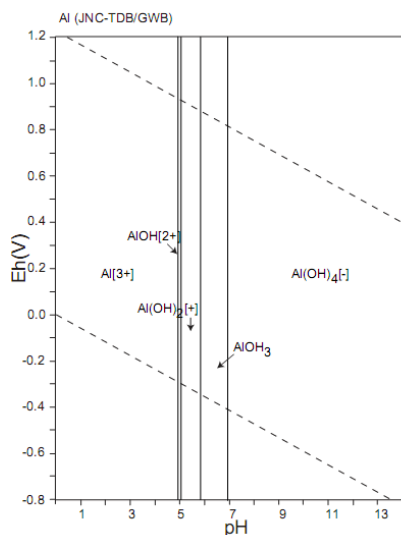
آلومینیوم در ساختار بسیاری از سنگها و مواد معدنی شرکت دارد و حدود ۰.۷٪ پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. آلومینیوم به عنوان یکی از چندین فاکتور مسبب بیماری آلزایمر معرفی شده است (Nordberg et al., 2005). مقادیر غلظت Al در منابع آبی منطقه مورد مطالعه در جدول (۴-۶) ارائه شده است. مقدار حد مجاز استاندارد ارائه شده از سوی سازمان بهداشت جهانی برابر با ۰.۲ mg/L در آب آشامیدنی توصیه شده است. مقایسه غلظت Al در منابع آبی با این مقدار نشان می‌دهد که تمام منابع آبی کمتر از حد مجاز دارای آلومینیوم بوده‌اند. پلاژیوکلازها فراوانترین کانی‌های آلومینوسیلیکات در سنگهای منطقه هستند. در اغلب مقاطع این کانی از بین رفته و قالب آنها توسط کانیهای دیگر پر شده است (شکل ۲-۵). هوازدگی و دگرسانی باعث تخریب این کانی و آزاد شدن  $Al^{3+}$  و ورود آن به آب زیرزمینی می‌شود.

شکل (۶-۱۶) توزیع مقادیر غلظت AI را در میان منابع آبی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. قناتهای بیدستان (W6) و رود کاج (W9) بیشترین غلظتهای AI و قناتهای گولک (W1) و دزوک (W2) و چاه ولیعصر (W11) کمترین غلظتهای AI را دارا بوده‌اند. گرچه در نواحی شدیداً دگرسان شده ساختار کانی‌ها به ویژه پلاژیوکلازها کاملاً از بین رفته و انتظار می‌رود که غلظت آلومینیوم در آبهای زیرزمینی افزایش یابد، با این وجود به دلیل غلبه نسبی AI در واکنشهای تبادل کاتیون (Yong and Warkentin, 1975) و حل نشدن آسان آلومینیوم در آب، غلظت آن در آبهای زیرزمینی چندان بالا نرفته است ولی نسبت به سایر نقاط بالاتر است. در واقع جهت ورود AI به آب، pH اسیدی نیاز می‌باشد که به دلیل اینکه این شرایط در آبهای منطقه حاکم نیست، در منطقه مورد مطالعه غلظت AI در آب زیرزمینی عبوری از واحدهای سنگی با غلظت بیشتر AI افزایش چندانی نمی‌یابد. ویژگی شیمیایی AI ایجاب می‌کند که این عنصر در محلولهای آبی تنها با درجه اکسایش +۳ حضور داشته باشد بنابراین تحرک و تنوع گونه‌های محلول آن در آبها تابع pH خواهد بود. تحرک پایین و تشکیل رسوب هیدروکسید آلومینیوم در نمودارهای Eh-pH این عنصر در شرایط رایج آبهای زیرزمینی دلیل دیگری بر کم بودن غلظت این عنصر در آنها است (شکل ۶-۱۷).



شکل ۶-۱۶- توزیع غلظت AI در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه



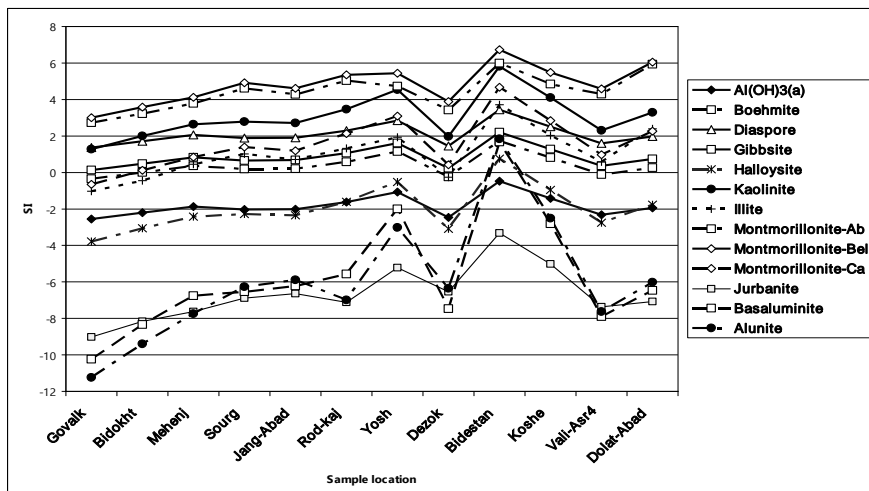


شکل ۶-۱۷- نمودار Eh-pH مربوط به Al (Takeno, 2005)

در حالی که با افزایش و یا کاهش pH و با تشکیل گونه‌های باردار تحرک آلومینیوم افزایش یافته و قادر به ورود به آبها می‌شود. غلظت گونه‌های مختلف Al و اندیس اشباع شدگی برخی از کانی‌های آلومینیوم دار در آبهای منطقه مورد مطالعه توسط نرم افزار PHREEQC محاسبه شده است (Parkhurst and Appelo, 1999). برای محاسبه این پارامترها، غلظت یونها و pH محلول به نرم افزار داده شده و با استفاده از این داده‌ها و بانک اطلاعاتی wateq4f محاسبات لازم در دمای ۲۵<sup>0</sup>C و  $pe=4$  انجام شده است. از ترکیبات آمورف این عنصر می‌توان به  $Al(OH)_3$  و از ترکیبات متبلور آن می‌توان کانیهای بوهمیت، دیاسپور و گیبسیت را نام برد. کاتیون اصلی حاضر در ساختار این کانیها Al می‌باشد، از این رو تشکیل آنها در آب می‌تواند مهمترین عامل کاهش Al از آب باشد. از طرفی تشکیل رسوب این ترکیبات پس از رسیدن به حد اشباع می‌تواند با هم رسوبی و یا جذب سطحی بسیاری از فلزات سنگین همراه باشد (Yong and Warkentin, 1975). گذشته از این ترکیبات، کانیهای رسی هالوئیت، کائولینیت و مونتوریلونیت که در اغلب زونهای دگرسانی آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته می‌باشد (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵) می‌تواند عامل دیگری برای کاهش مقدار Al از آب باشد. تشکیل رسوباتی از جنس مونتوریلونیت خود می‌تواند باعث کاهش غلظت بسیاری از

فلزات سنگین در آب در تماس با رسوب شود. همچنین این دسته از کانیها قادر به جذب سطحی و کاهش غلظت بسیاری از فلزات سنگین می‌باشند. کانیهای جوربانیت (Jurbanite) و بازآلومینیت (Basaluminite) کانیهای سولفات دار ثانویه Al می‌باشند که اغلب در ایام خشک سال و پس از تبخیر آبهای سطحی این کانیها تشکیل و پس از بارندگی دوباره در آب حل شده و غلظت Al را در آب بالا می‌برند (Eward, 1995). آلونیت کانی با ترکیب سولفات آلومینیوم است که در زونهای دگرسانی آلونیتی و آرژیلیک حضور دارد (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵). این کانی می‌تواند منبع اولیه سولفات و Al در آب زیرزمینی باشد. شکل (۶-۱۸) SI محاسبه شده کانیهای Al دار را نشان می‌دهد. در این شکل منابع آبی از قنات گولک تا چاه دولت آباد به ترتیب کاهش ارتفاع مرتب شده‌اند. قناتهای بیدستان و دزوک در نزدیکی مناطق شدیداً دگرسان شده قرار دارند. SI کانیهای مونتموریلونیت، کائولینیت، دیاسپور و گیبسیت در منابع آبی مثبت بوده و شرایط برای رسوبگذاری آنها مهیا می‌باشد. SI کانیهای آلونیت، بازآلومینیت، جوربانیت، هالوزیت و  $Al(OH)_3$  آمورف تقریباً در تمامی منابع آب منفی بوده و آب از این کانیها زیر اشباع می‌باشد. البته در قنات بیدستان کانیهای آلونیت، بازآلومینیت و هالوزیت SI مثبت نشان می‌دهند. این موضوع نشاندهنده تأثیر واضح دگرسانی بر آب این قنات می‌باشد. در آب این قنات Al تا غلظتهای بیش از نیاز برای تشکیل کانیهای آلومینیوم دار حضور دارد. از طرفی روند افزایش عمومی در مقادیر SI از مناطق بالا دستی مشاهده می‌شود. حواشی مناطق دگرسانی، SI افزایش می‌یابد و اختلاط آبهای با کیفیت بهتر با آبهای عبور کرده از مناطق دگرسان SI را کاهش می‌دهد.

از آنجا که در تمامی منابع آبی pH آب بیش از ۷ می‌باشد در حالی که غلظت کلی آلومینیوم کم است، طبیعی است که فرم  $Al(OH)_4^-$  رایجترین گونه محلول Al باشد. بعد از آن به ترتیب فراوانی فرمهای  $Al(OH)_3$ ،  $Al(OH)_2^+$ ،  $AlOH^{2+}$ ،  $Al^{3+}$  حضور دارند. (شکل ۶-۱۷).



شکل ۶-۱۸- SI برخی از کانیهای Al دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

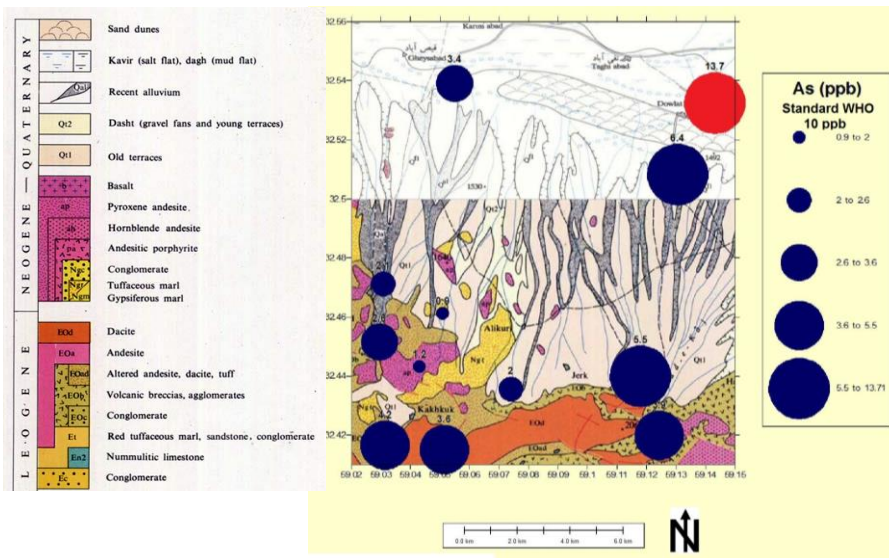
۶-۲-۶-آرسنیک

آرسنیک به طور مستقل در کانیهای رآلگار (AsS) و آرسنوپیریت (FeAsS) و همراه با سولفیدهایی نظیر پیریت یافت می‌شود. فرآیندهای اکسایش و انحلال محصولات باعث ورود آرسنیک به آبها می‌شود. مقادیر غلظت As در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در جدول (۴-۶) ارائه شده است. مقایسه این مقادیر با استاندارد ارائه شده برای آب آشامیدنی از سوی سازمان بهداشت جهانی (۱۰ ppb) نشان می‌دهد که به جز چاه دولت آباد (W12) با ۱۳٫۷ ppb دیگر منابع کمتر از حد مجاز دارای آرسنیک بوده‌اند.

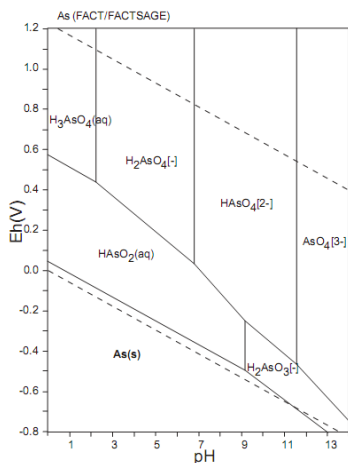
مقایسه مقادیر غلظت As در آب (شکل ۶-۱۹) با مقادیر غلظت As در سنگها (شکل ۴-۵) نشان می‌دهد نمونه‌های R24، R25 و R12 که در نزدیکی مناطق دگرسان قرار دارند بیشترین مقادیر As را در سنگها دارند در حالی که قناتهای بیدستان (W6)، دزوک (W5) و جنگ آباد (W3) که در پایین دست این نمونه‌ها قرار دارند کمترین غلظت As را دارا هستند.

به دلیل قابلیت بالای اکسیدهای آهن (Polizzotto et al., 2005) و کانیهای رسی (Onishi, 1969) در جذب سطحی آرسنیک و وفور این کانیها در مقاطع سنگی (شکلهای ۲-۵، ۲-۶، ۲-۱۵، ۲-۱۷ و

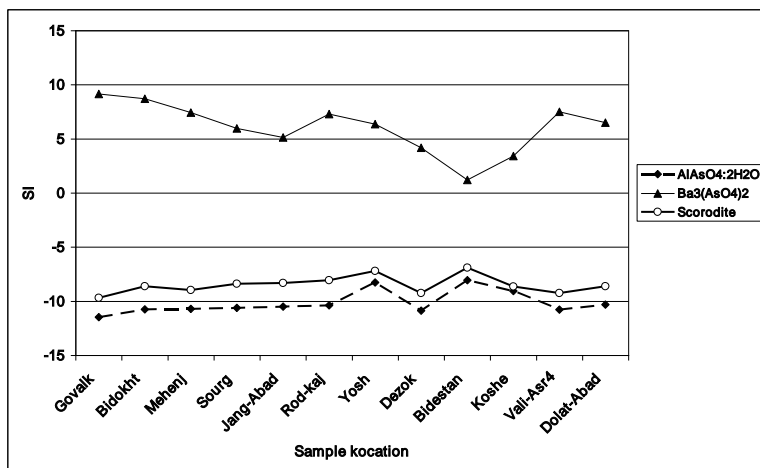
۲-۱۸) به نظر می‌رسد عمده As حاضر در سنگها به صورت جذب سطحی حضور داشته باشد. As در آبهای زیرزمینی با حالت اکسایش  $+3$  و  $+5$  حضور دارد. توزیع آرسنیک بین حالات اکسایش و ترکیبی مختلف، تابع شرایط pH و Eh محیط است (شکل ۶-۲۰). با استفاده از داده های موجود توسط نرم افزار PHREEQC اندیس اشباع شدگی برخی از کانی های آرسنیک‌دار محاسبه شده و در شکل (۶-۲۱) ارائه شده است. منفی بودن SI آرسناتهای Fe, Al نشان دهنده زیر اشباع بودن عناصر تشکیل دهنده این ترکیبات است؛ در حالی که مثبت بودن SI برای ترکیب  $Ba_3(AsO_4)_2$  آمادگی آب را برای رسوب این ترکیب می‌رساند.



شکل ۶-۱۹- توزیع غلظت As در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۶-۲۰- نمودار Eh-pH مربوط به As (Takeno, 2005)

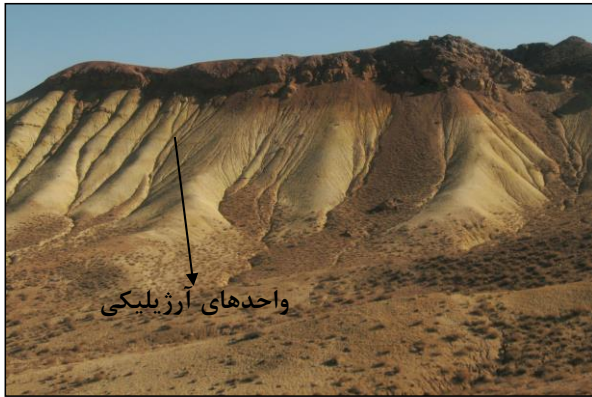


شکل ۶-۲۱- SI برخی از کانیهای As دار در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

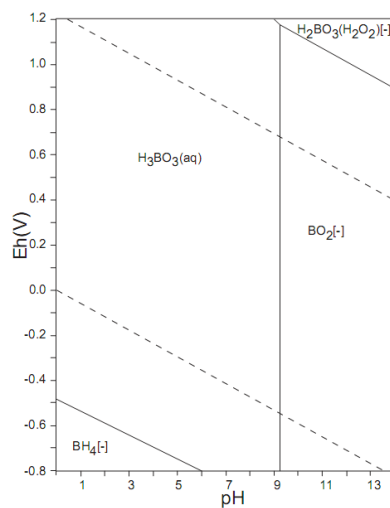
۶-۳-۶- بور

بور در ساختار کانیهای تورمالین و بوراتنها و یا به صورت جذب سطحی شده در رسها حضور دارد (Gonfiantini and Pennisi, 2006). سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت ۰,۵ mg/L در آب شرب را مجاز دانسته است. مقایسه غلظت بور در منابع آبی مورد مطالعه نشان می دهد (شکل ۶-۲۲) که قناتهای دزوک (W5) و بیدستان (W6) و چاههای دولت آباد (W12)، کوشه (W10) و ولیعصر (W11) به ترتیب به میزان ۰,۰۵، ۱,۲۱، ۵,۸۲، ۳,۱۰ و ۱,۳۱ برابر حد استاندارد دارای بور می باشند. افزایش



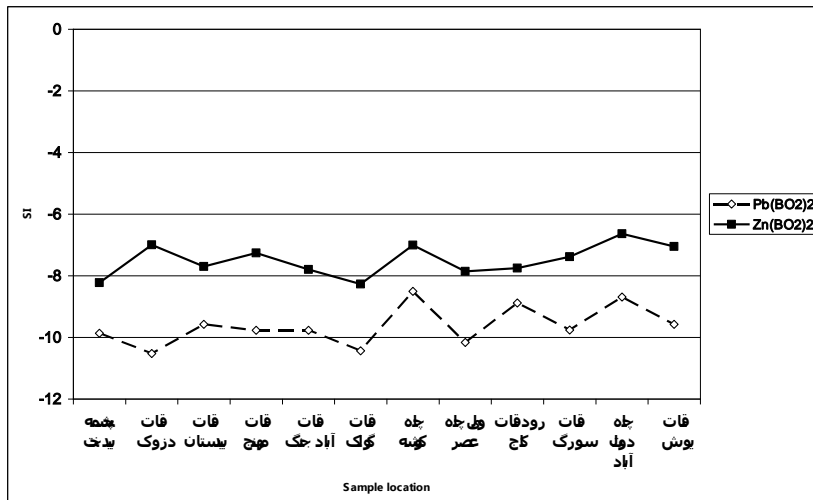


شکل ۶-۲۳- واحدهای آرژیلیکی در مناطق دگرسان شده



شکل ۶-۲۴- نمودار Eh-pH مربوط به عنصر بور (Takeno, 2005)

بورات مهمترین آنیون ساختاری کانی های بوردار است. از جمله ترکیباتی که SI آنها در این بخش مطالعه شده است  $Pb(BO_2)_2$  و  $Zn(BO_2)_2$  هستند (شکل ۶-۲۵). SI منفی این کانیها نشانه ناکافی بودن غلظت عناصر سازنده این ترکیبات است و بنابراین در شرایط آبهای مورد مطالعه بور به صورت محلول بوده و کمتر تمایل به رسوبگذاری دارد.



شکل ۶-۲۵- مقادیر SI کانیهای بوردار در منابع آبی در منطقه مورد مطالعه

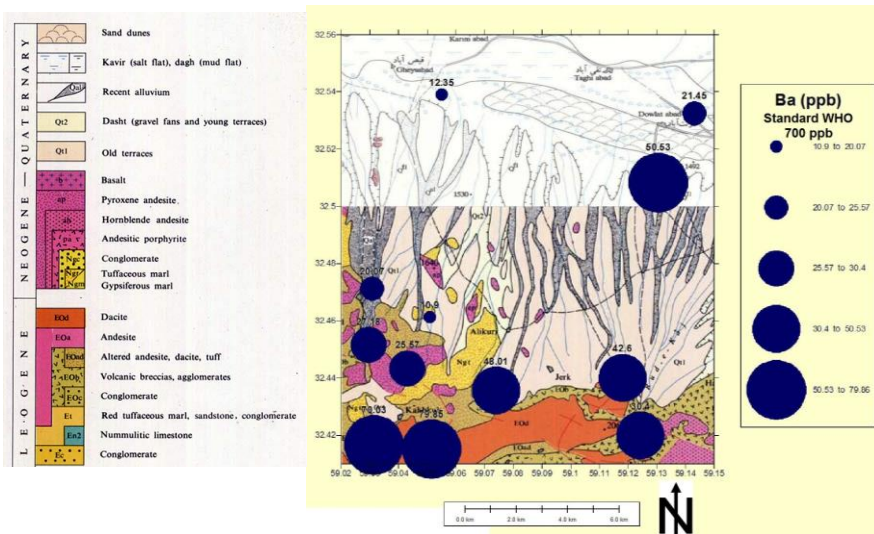
۶-۶-۴- باریم

انحلال پذیری ترکیبات باریم سمیت آنها را مشخص می‌کند. غلظت باریم در منابع آبی منطقه، در جدول ۴-۶ ارائه شده است. مقایسه آنها با مقدار استاندارد ارائه شده برای آب آشامیدنی از سوی سازمان بهداشت جهانی (۷، mg/L) نشان می‌دهد که تمام منابع دارای غلظتی در حدود چند صدم تا ۰٫۱ برابر استاندارد دارای Ba می‌باشند. باریم ممکن است به صورت کانی باریت، جایگزین شده با دیگر یونها در سیلیکاتها و یا جذب سطحی شده در رسها (Yong and Warkentin, 1975) درفاز جامد حضور داشته باشد.

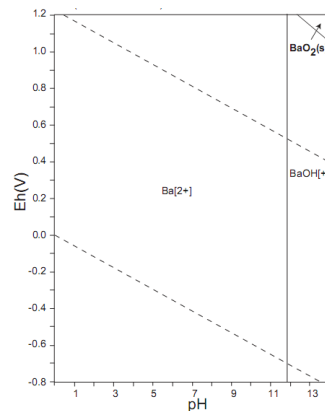
شکل ۶-۲۶ توزیع غلظت باریم را در منابع آبی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. منابع دورتر از دگرسانی مقدار Ba بیشتری دارند. علت کاهش Ba در منابع آب نزدیک به مناطق دگرسان شده را می‌توان به افزایش غلظت سولفات در آب مناطق بیشتر دگرسان شده که می‌تواند منجر به تشکیل رسوب نامحلول سولفات باریم شود نسبت داد. به همین دلیل قنات بیدستان واقع در پایین دست مناطق شدیداً دگرسان شده غلظت پایینی از باریم در آب را داراست.



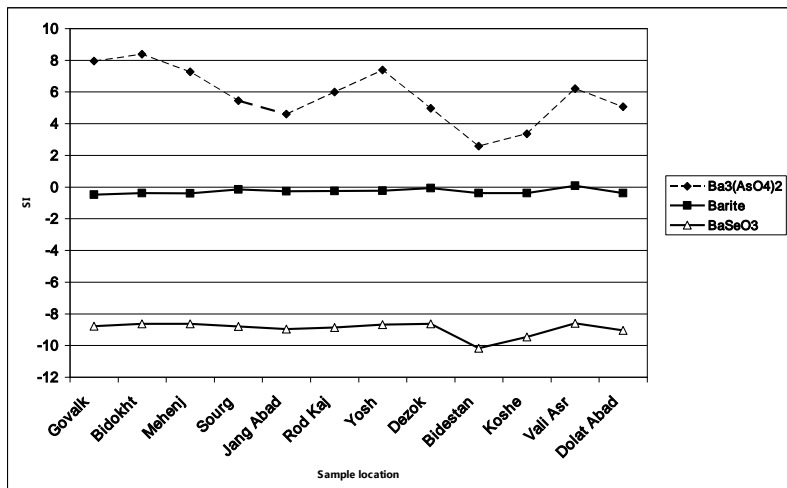
با توجه به نمودارهای Eh-pH (شکل ۶-۲۷) در شرایط رایج آبهای زیرزمینی باریم به صورت  $Ba^{2+}$  در محلول وجود دارد و ورود سولفات به آنها باعث تشکیل  $BaSO_4$  نامحلول و تشکیل رسوب می‌شود. محاسبه مقادیر SI کانیهای باریم دار نیز نشان می‌دهد با نزدیک شدن به مناطق دگرسان مقدار SI کاهش می‌یابد (شکل ۶-۲۸) و همواره SI برای آرسنات باریم  $(Ba_3(AsO_4)_2)$  مثبت می‌باشد.



شکل ۶-۲۶- توزیع غلظت باریم در منابع آبی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۶-۲۷- نمودار Eh-pH مربوط به عنصر باریم (Takeno, 2005)

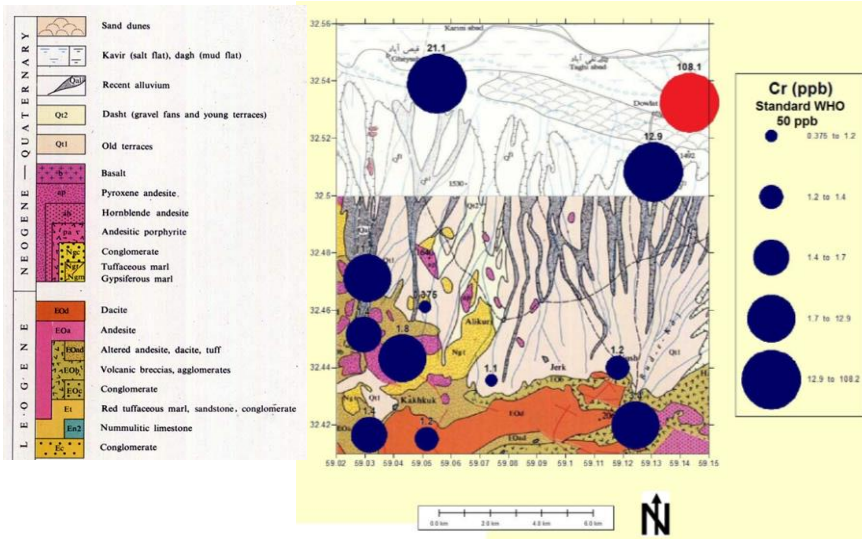


شکل ۶-۲۸- مقادیر SI کانیه‌های باریم در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

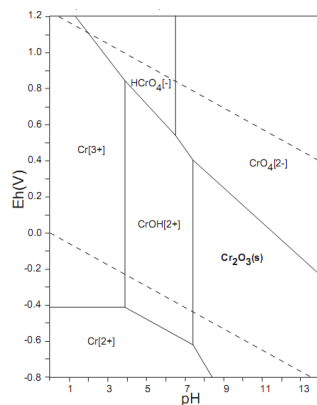
۶-۶-۵- کروم

سازمان بهداشت جهانی و استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران (۱۳۷۱) (۱۳۷۱) حداکثر غلظت  $0.05 \text{ mg/L}$  را برای کروم در آب آشامیدنی مجاز دانسته‌اند. مقایسه مقادیر غلظت کروم در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (جدول ۴-۶) با مقدار استاندارد نشان می‌دهد که به جز چاه دولت آباد (W12) که بیش از ۲ برابر حد استاندارد کروم داشته است، دیگر منابع کمتر از حد مجاز دارای کروم بوده‌اند.

شکل (۶-۲۹) توزیع غلظتهای کروم در منابع آبی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقایسه آن با توزیع غلظت کروم در سنگها نشان می‌دهد که به طور کلی غلظت کروم در آب از بالا دست به پایین دست به تدریج کاهش یافته است. همچنین الزاماً در پایین دست واحدهای سنگی با غلظت بالاتر کروم، غلظت بالاتری از کروم در آنها ملاحظه نمی‌گردد. علت این امر را در نمودارهای Eh-pH مربوط به این عنصر می‌توان دریافت. شکل (۶-۳۰) توزیع گونه‌های کروم در نمودار Eh-pH نشان می‌دهد. معمولاً کروم در شرایط رایج آبهای زیرزمینی به صورت اکسید کروم رسوب می‌کند و از این رو جز عناصر کم تحرک با حلالیت پایین در محیط آبی محسوب می‌شود.



شکل ۶-۲۹- توزیع غلظت کروم در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۶-۳۰- نمودار Eh-pH مربوط به عنصر کروم (Takeno, 2005)

قابل توجه می‌باشد که در شمال منطقه مورد مطالعه در چاههای دولت آباد (W12)، کوشه (W10) و ولیعصر (W11) بالاترین غلظت کروم و حتی بالاتر از حد استاندارد در چاه دولت آباد ملاحظه می‌گردد. با توجه به اینکه تمام منابع آبی در جنوب منطقه غلظتهای کمتری از Cr را نسبت به این چاهها دارا می‌باشند و همچنین با عنایت به عدم وجود صنایع مصرف کننده کروم در منطقه به نظر می‌رسد که علت افزایش غلظت کروم در این چاهها، تغذیه آنها از دامنه‌های شمالی و شرقی دشت مختاران باشد. همچنین در این چاهها pH آب کمتر شده (جدول ۴-۴) و با توجه به نمودار Eh-pH

مربوط به این عنصر (شکل ۶-۳۰) تحرک کروم با کاهش pH افزایش می‌یابد که می‌تواند دلیل دیگر افزایش غلظت کروم در چاهها باشد.

۶-۶-۶- مس

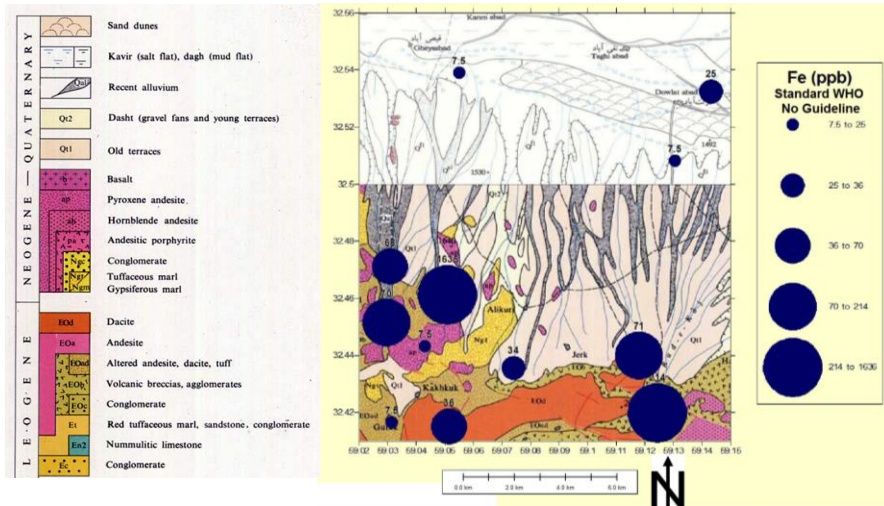
سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت ۲ mg/L مس و استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران (۱۳۷۱) حداکثر غلظت ۱,۵ mg/L برای آب شرب مجاز دانسته‌اند. مقایسه غلظت مس در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه (جدول ۴-۶) با این دو استاندارد ارائه شده نشان می‌دهد، تمام منابع آبی کمتر از حد استاندارد دارای مس بوده‌اند. توزیع غلظت مس در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه (شکل ۶-۳۱) نشان می‌دهد که غلظت مس در چاههای میانه دشت بیش از مناطق بالا دستی است، همچنین مقایسه غلظت مس در آب با غلظت مس در سنگها (شکل ۵-۱۰) نشان می‌دهد که مناطق دارای غلظت بالاتر مس در سنگ، دارای غلظت بالاتری از مس در آب نیستند. نمونه های R19 و R21 در حاشیه قناتهای دزوک و گولک بیشترین غلظت مس را دارا هستند. در حالی که آب قناتهای گولک و دزوک کمترین مقادیر مس را در آب دارا هستند. این مطلب را می‌توان به دلیل حلالیت کم مس در محدوده pH آبهای مورد مطالعه دانست. به علت پایین بودن غلظت مس در آب SI کانیهای مس دار منفی بوده (شکل ۶-۳۲) و در واقع می‌توان گفت که مس تمایل به رسوبگذاری ندارد.



صورت سولفید (پیریت و کالکوپیریت) در زمینه سنگها یا رگچهها یافت می شود. اکسیدهای آهن (هماتیت، مگنتیت و ایلمنیت) و ژاروسیت، (سولفات مضاعف آهن و پتاسیم) از جمله کانیهای موجود در مناطق دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و یا زونهای سوپرژن و گوسان ذخایر سولفیدی زیرزمینی هستند (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵). سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت مجازی را برای آهن توصیه نکرده است. در حالی که استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران (۱۳۷۱) حداکثر غلظت ۱ mg/L را برای آهن مجاز دانسته است. مقایسه مقادیر غلظت آهن در آبهای زیرزمینی (جدول ۴-۶) با این مقدار نشان می دهد که به جز قنات بیدستان با ۱,۶ برابر حد استاندارد دیگر منابع آبی کمتر از حد استاندارد دارای آهن بوده اند. این موضوع با وجود رنگ و رسوبات زرد رنگ در آب در مظهر قنات بیدستان همخوانی دارد (شکل ۶-۳۳) که تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات ظاهری آب گذاشته و مانع مصرف بلند مدت آن به منظور شرب و حتی شستشو می شود. تنوع مقادیر آهن محلول در گستره‌ی مورد مطالعه یک افزایش شدید در قنات بیدستان را نشان می دهد (شکل ۶-۳۴).



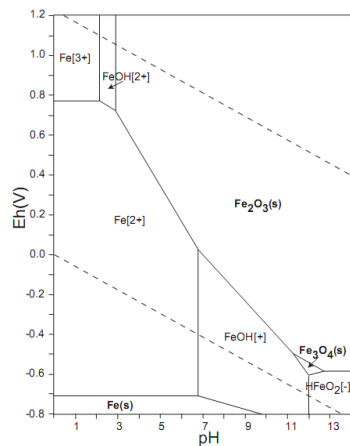
شکل ۶-۳۳- وجود رنگ زرد در آب و رسوبات قهوه‌ای رنگ در محل مظهر قنات بیدستان



شکل ۶-۳۴- توزیع غلظت آهن در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

دگرسانی رخ داده در سنگ همراه با کانه زایی احتمالی سولفیدهای آهن عامل افزایش مقدار آهن محلول در آب هستند. توزیع غلظت آهن در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین غلظت Fe در آب قناتهای بیدستان (۱۶۳۵ ppb) و رود کاج (۲۱۴ ppb) مشاهده می‌شود. همبستگی Fe با K (+۰,۹۰۱) نشان می‌دهد که احتمالاً حضور پتاسیم و آهن در سنگها به نشانه حضور ژاروسیت در سنگها باشد. کانیهای آهن دار نظیر اکسیدها، سیلیکاتها و سولفات آهن از کانیهای مشاهده شده در مقاطع سنگی مطالعه شده هستند (شکلهای ۲-۶ و ۲-۱۳). اکسیدها و اکسی هیدروکسیدهای آهن به صورت پرکننده قالب سیلیکاتها و دیگر کانیها به وفور در مقاطع سنگی (شکل ۲-۱۳) دیده می‌شود. ژاروسیت در pH=8 انحلال نامتجانس داشته و بخش سولفات پتاسیم آن زودتر حل شده و بر سطح ذرات کانی ژاروسیت پس از خروج سریعتر سولفات و پتاسیم، گویتیت تشکیل می‌شود (Smith et al., 2006). این مطلب همراهی ژاروسیت و اکسیدهای آهن و حتی پرشدن قالب ژاروسیت با اکسید آهن را تایید می‌کند.

نمودارهای Eh-pH آهن (شکل ۶-۳۵) نشان می‌دهد که در شرایط رایج آبهای زیرزمینی آهن می‌تواند به صورت کمپلکس باردار Fe(II) درآمده و در آب محلول باشد و یا به صورت Fe(III) درآمده و از آب خارج می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آهن از منشأ سیلیکاتهای آهن دار و ژاروسیت منشأ گرفته و با قرار گرفتن در شرایط اکسیدان به صورت هیدروکسید آهن رسوب می‌کند. حضور اکسید آهن باعث جذب سطحی عناصری نظیر آرسنیک می‌شود. کاهش غلظت آرسنیک در آب با افزایش غلظت آرسنیک در سنگ همراه است و این دو با افزایش غلظت آهن در سنگ همراه هستند. آهن در آب می‌تواند به صورت ذرات ریز معلق احتمالاً از جنس اکسید و هیدروکسید آهن درآمده و باعث افزایش TSS شوند. همبستگی غلظت آهن در آب با TSS (+۰,۶۵۰) و حضور لخته‌های فراوان قهوه‌ای رنگ در مظهر قنات بیدستان با بیشترین میزان TSS (۴۰ mg/L) نیز این مطلب را تایید می‌کند.

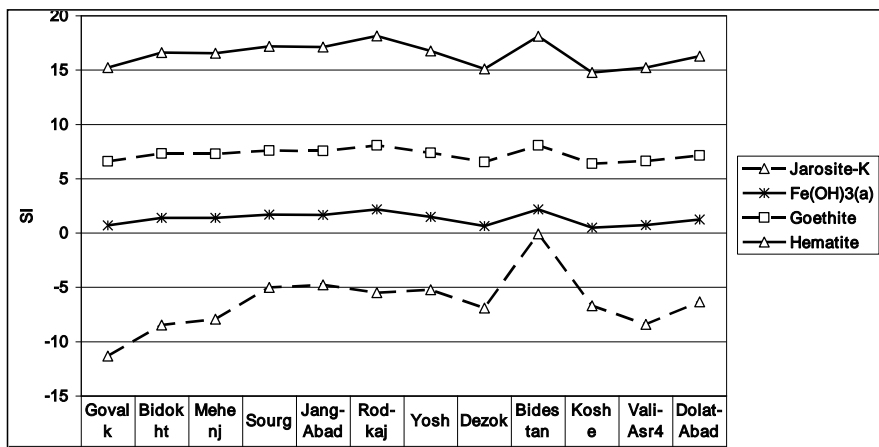


شکل ۶-۳۵- نمودار Eh-pH مربوط به Fe (Takeno, 2005)

دگرسانی با تشدید روند تخریب سیلیکاتهای آهن دار و افزایش تشکیل ژاروسیت باعث افزایش Fe در سنگ (شکل ۵-۱۲) و در آب (شکل ۶-۳۴) می‌شود. SI مهمترین کانیهای آهن دار در شکل ۶-۳۶ محاسبه شده است. کانیهای آهن دار با SI مثبت شامل هماتیت، هیدروکسیدهای آهن و گوتیت می‌توانند رسوب کرده و از آب جدا شوند. ژاروسیت می‌تواند به عنوان سولفاتهای اولیه باشند که



سولفات آب را نیز تامین می کنند. هیدروکسید و اکسی هیدروکسیدهای آهن از جمله کانیهای مهمی هستند که رسوب آنها در آب و معلق ماندن آنها در آب به صورت جامدات معلق می توانند از طریق هم رسوبی و جذب سطحی غلظت فلزات سنگین (نظیر As) را افزایش دهد.

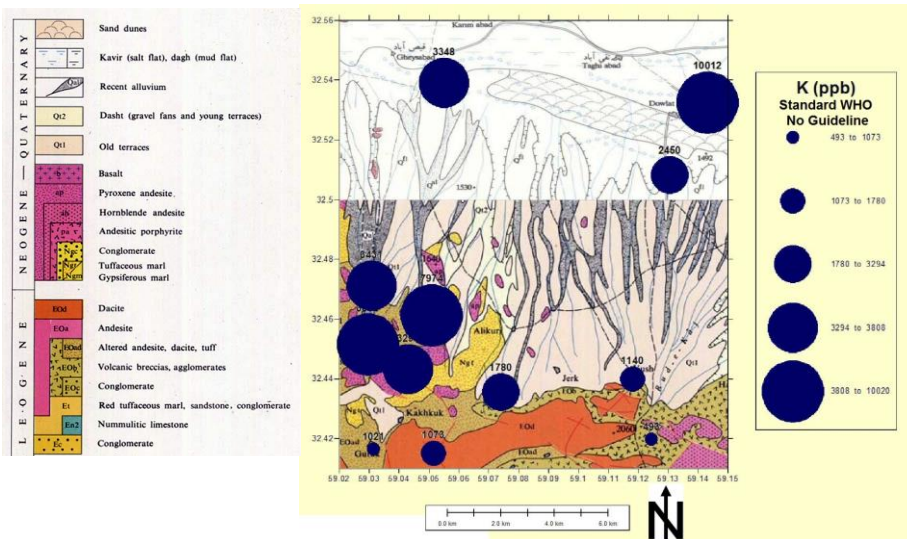


شکل ۶-۳۶- مقادیر SI مهمترین کانیهای آهن دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

#### ۶-۶-۸- پتاسیم

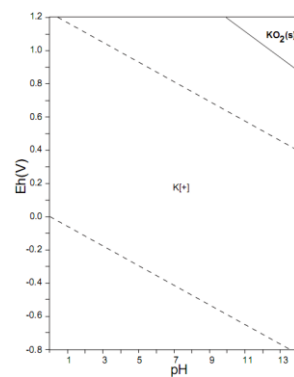
پتاسیم از عناصر فراوان موجود در پوسته زمین است که در کانیهای اولیه نظیر اورتوکلاز، بیوتیت، مسکویت و در کانیهای ثانویه (رسها) نظیر ایلیت یافت می شود. به دلیل قابلیت بالای انحلال ترکیبات سولفات، کلرید، نیترات و فسفات آن، در آبهای سطحی و زیرزمینی محلول بوده و کانیهای آن در شورابه ها و نمکزارها به صورت کلرید و سولفات یافت می شود. سازمان بهداشت جهانی و استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران (۱۳۷۱) حداکثر غلظت مجازی برای آن تعیین نکرده اند. شکل ۶-۳۷ توزیع غلظت پتاسیم را در آبهای منطقه نشان می دهد.  $K^+$  گونه غالب پتاسیم در اغلب شرایط Eh-pH به ویژه شرایط رایج آبهای زیرزمینی است (شکل ۶-۳۸). به دلیل تحرک بالای این گونه منطقی است که افزایش غلظت آن در سنگ (شکل ۵-۱۴) با افزایش غلظت آن در آب (شکل ۶-۳۷) همراه باشد. در

چاه دولت آباد (W12) به دلیل نزدیکی به نمکزار وسیع دشت مختاران و نفوذ احتمالی شورابه ها به چاه علاوه بر دیگر عناصر، غلظت پتاسیم نیز به حداکثر خود می رسد.

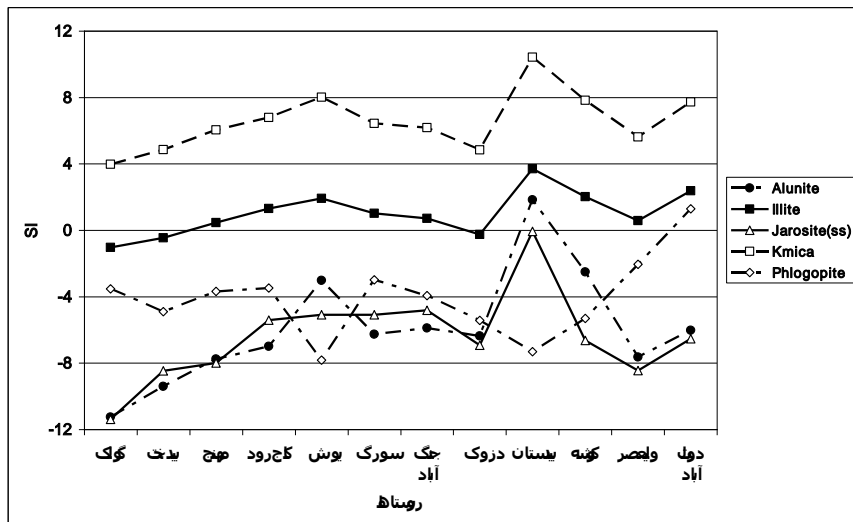


شکل ۶-۳۷- توزیع غلظت K در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

غلظت پتاسیم در قنات بیدستان (W6) نسبت به دیگر قناتهای منطقه افزایش قابل توجهی یافته است. افزایش غلظت K و افزایش SI کانیهای پتاسیم دار نظیر ژاروسیت، آلونیت، میکا پتاسیم دار و ایلیت (شکل ۶-۳۹) در این قنات با وقوع دگرسانی در بالا دست این قنات همخوانی دارد.



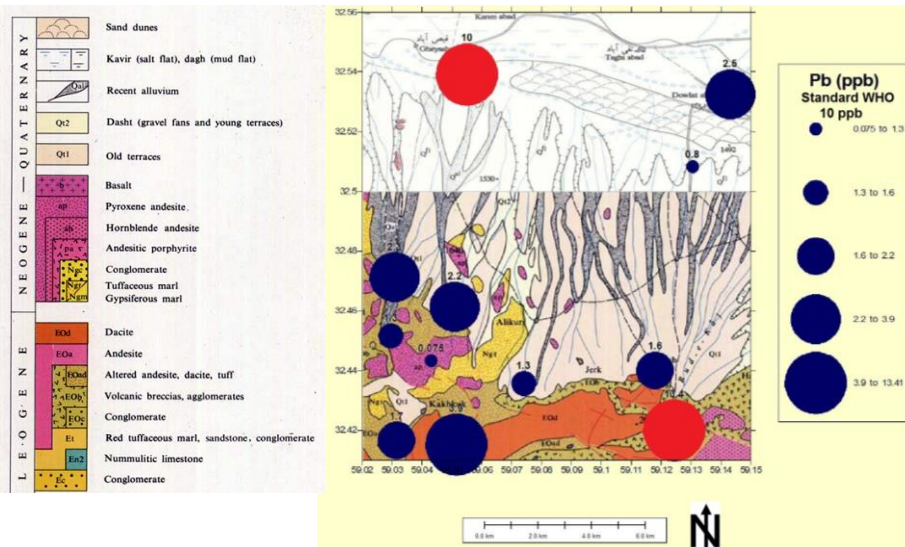
شکل ۶-۳۸- نمودار Eh-pH مربوط به K (Takeno2005)



شکل ۶-۳۹- مقادیر SI مهمترین کانیهای پتاسیم دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

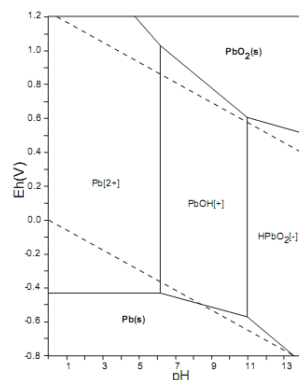
۶-۶-۹- سرب

مهمترین کانیهای سرب دار، گالن (PbS)، آنکلیزیت (PbSO<sub>4</sub>) و سروریت (PbCO<sub>3</sub>) هستند. با این وجود به مقدار اندک سرب می‌تواند جایگزین K در سیلیکاتها شود. سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت ۰,۰۱ mg/L و استاندارد ملی ایران ۰,۱ mg/L را برای سرب در آب شرب، مجاز دانسته‌اند. مقایسه استاندارد سازمان بهداشت جهانی با غلظت سرب در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به جز قنات رود کاج (W9) با ۱,۳ برابر استاندارد و چاه کوشه (W10) غلظت برابر با استاندارد، دیگر منابع کمتر از حد استاندارد دارای سرب می‌باشند. مشاهدات صحرائی و مطالعه مقاطع نازک نشان داده است که سرب به صورت کانیهای مستقل سرب دار در منطقه وجود نداشته و حضور سرب در آب و سنگها از طریق جانشینی آن با دیگر عناصر در کانیها است. توزیع غلظتهای سرب در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (شکل ۶-۴۰) و مقایسه آن با توزیع غلظتهای سرب در سنگها نشان می‌دهد که تقریباً در اطراف و پایین دست واحدهای سنگی با غلظت بالاتر سرب، آبهای زیرزمینی نیز غلظت بالاتری از سرب را نشان می‌دهند.



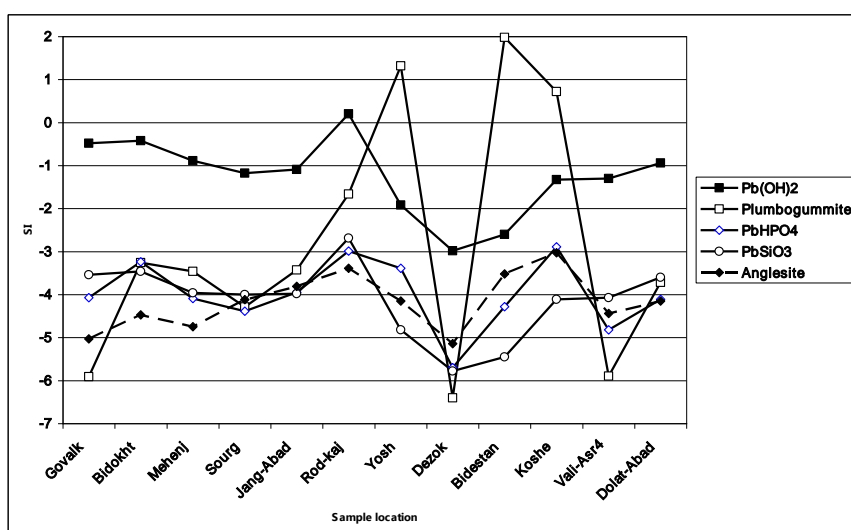
شکل ۶-۴۰- توزیع غلظت سرب در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

در شکل پراکنش غلظت سرب در منابع آبی، بیشترین غلظتها در قناتهای رود کاج (W9) و چاه کوشه (W10) و کمترین غلظتها در قناتهای دزوک (W5)، سورگ (W2)، مهنج (W7)، گولک (W1)، یوش (W8) و چاه ولیعصر (W11) دیده می شود. علت این همخوانی توزیع سرب در آب و سنگ منطقه را می توان با نمودار Eh-pH توجیه نمود (شکل ۶-۴۱). با استفاده از این نمودار می توان دریافت، در شرایط رایج آبهای زیرزمینی سرب عموماً به صورت  $PbOH^+$  حضور داشته و متحرک می باشد. بنابراین غلظت سرب در آب می تواند با غلظت سرب در سنگ همخوانی داشته باشد.



شکل ۶-۴۱- نمودار Eh-pH مربوط به Pb (Takeno2005)

بررسی مقادیر SI کانیهای سرب دار نشان دهنده وجود شرایط زیر اشباع برای این کانیها در اکثر منابع آبی مورد مطالعه است (شکل ۶-۴۲). همچنین مقدار  $SI_{Pb(OH)_2}$  در قنات رود کاج و  $SI^6_{Plumbogummitte}$  در قناتهای یوش و بیدستان و چاه کوشه مثبت می شود. از طرفی با وجود غلظتهای نسبتا بالای سولفات در منابع آبی به دلیل کمبود غلظت سرب شرایط برای ته نشست آنگازیت، مهمترین کانی سرب دار (که اغلب در شرایط اکسیدان تشکیل می شود)، مساعد نمی باشد.



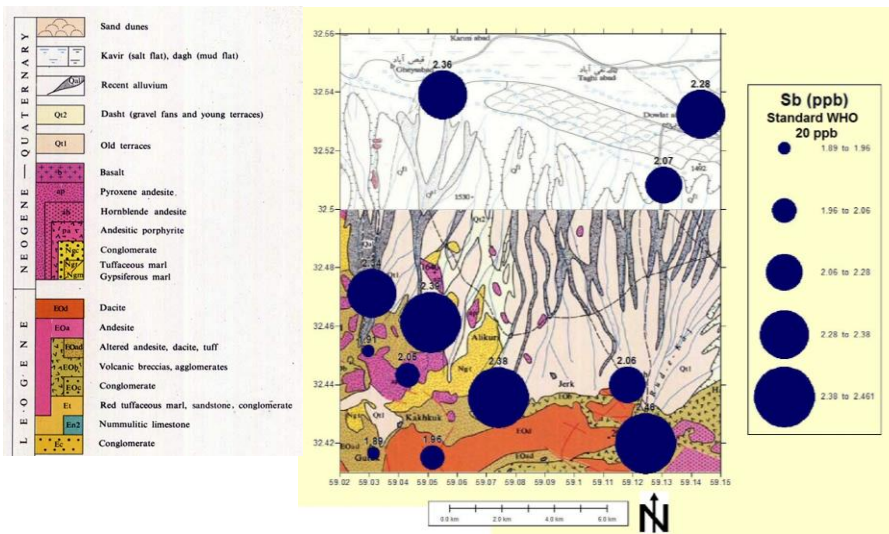
شکل ۶-۴۲- SI کانیهای سرب دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

#### ۶-۶-۱۰- آنتیموان

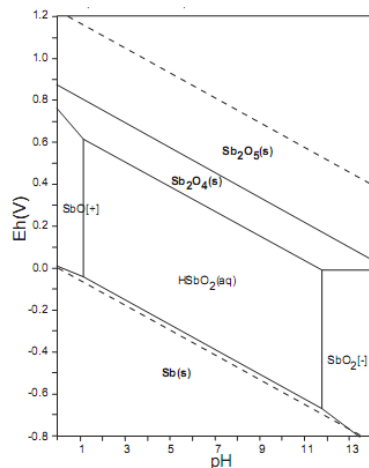
سازمان بهداشت جهانی حداکثر مجاز غلظت  $0.02 \text{ mg/L}$  از آنتیموان را برای شرب تعیین کرده است. مقایسه غلظت Sb در آبهای زیرزمینی مطالعه شده با این استاندارد نشان از عدم آلودگی منابع آبی به این عنصر بوده است. غلظت آنتیموان در قناتهای بیدستان (W6)، مهنج (W5) و رود کاج (W9) به حداکثر مقدار خود می رسد (شکل ۶-۴۳). با توجه به همبستگی مثبت Sb با  $Al (+0.626)$  و  $Cu (+0.707)$  و عدم مشاهده کانیهای مستقل هر کدام از این عناصر در صحرا و مقاطع سنگی مطالعه

<sup>6</sup> Plumbogummitte:  $PbAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$

شده، حضور این عناصر در آنها و سنگها به واسطه جانشینی آنها با دیگر یونها در دیگر کانیها نسبت داده می‌شود. نمودار Eh-pH مربوط به Sb (شکل ۴۴-۶) نشان می‌دهد که آنتیموان در شرایط رایج آبهای زیرزمینی به صورت گونه متحرک  $HSbO_2$  است و افزایش غلظت Sb در آب قنات بیدستان با توجه به افزایش غلظت Sb در سنگ بالا دست این قنات با حضور این گونه از آنتیموان توجیه می‌شود.



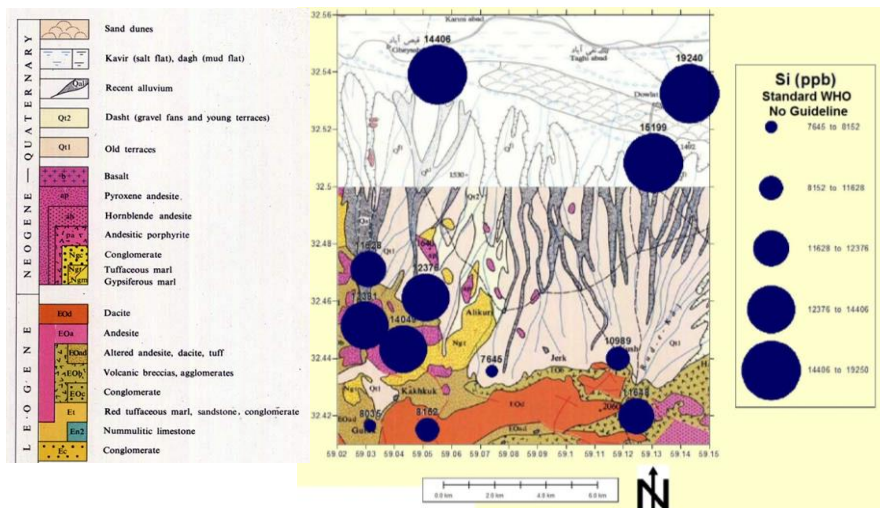
شکل ۴۳-۶- توزیع غلظت آنتیموان در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴۴-۶- نمودار Eh-pH مربوط به Sb (Takeno, 2005)

## ۶-۶-۱۱- سیلیسیم

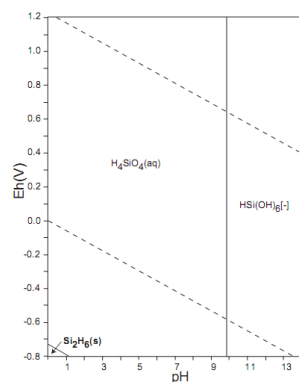
سازمان بهداشت جهانی حد مجازی برای این عنصر در آب آشامیدنی ارائه نکرده است. پراکنش غلظت سیلیسیم در منابع آبی مورد مطالعه در شکل ۶-۴۵ نشان داده شده است. غلظت سیلیسیم عموماً از بالا دست به پایین دست، افزایش می‌یابد. کمترین مقادیر سیلیسیم در آب در قناتهای مهنج (W7) و چشمه بیدخت (W4) و بیشترین مقادیر Si در آب چاههای دولت آباد (W12)، کوشه (W10) و ولیعصر (W11) مشاهده می‌شود.



شکل ۶-۴۵- توزیع غلظت سیلیسیم در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

سیلیسیم عنصر اصلی سازنده سیلیکاتها است. هوازدگی و تخریب سیلیکاتها می‌تواند منشأ سیلیسیم در آب باشد. فرآیند رایج جانشینی کانیهای رسی، سیلیس و اکسید آهن به جای پلاژیو کلاز و کانیهای مافیک در مقاطع سنگی (شکلهای ۲-۵، ۲-۶، ۲-۷، ۲-۹، ۲-۱۳، ۲-۱۵، ۲-۱۷، ۲-۱۸) و همبستگی Si با K (+۰,۷۰۳)، Na (+۰,۸۴۱) و Mg (+۰,۸۰۰) آزاد سازی آنها را از سیلیکاتها تایید می‌کند. به طوریکه در قناتهای پایین دست واحدهای شدیداً دگرسان شده که تقریباً اثری از کانیهای

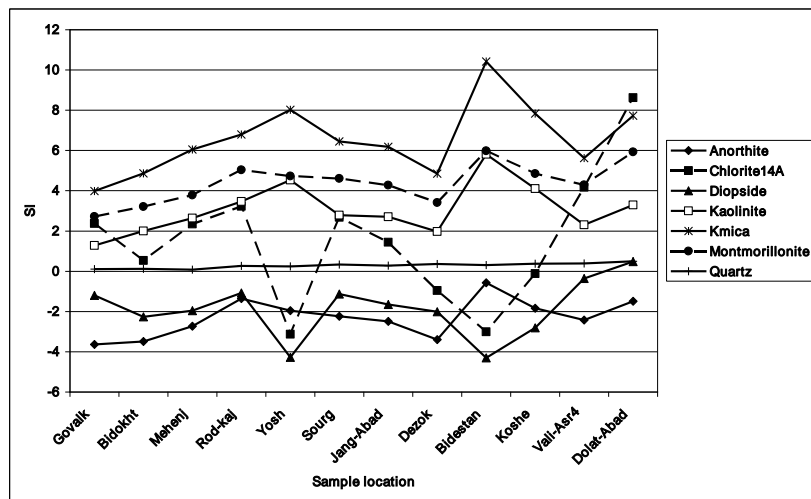
اولیه باقی نمانده و یا با رگچه‌های متعدد سیلیس قطع و پر شده‌اند (شکل‌های ۲-۵، ۲-۹، ۲-۱۴، ۲-۱۶ و ۲-۱۹) بیشترین غلظت‌های Si نسبت به قنوات همجوار خود مشاهده می‌شود. نمودار فراوانی گونه‌های سیلیسیم حاکی از آن است که فراوانترین گونه سیلیسیم در آب منطقه  $H_4SiO_4$  می‌باشد. تحرک گونه  $H_4SiO_4$  در دامنه وسیعی از Eh-pH (شکل ۶-۴۶) باعث می‌شود که تخریب سیلیکات‌های اولیه و آزاد شدن Si مستقیماً باعث افزایش غلظت Si در آب شود.



شکل ۶-۴۶- نمودار Eh-pH مربوط به Si (Takeno, 2005)

بررسی مقادیر SI کانیهای سیلیسیم دار نشان می‌دهد که سیلیکات‌هایی نظیر دیوپسید و آنورتیت SI منفی دارند. این کانیها در حال هوازدگی و انحلال هستند و از آنها دیگر سیلیکات‌های ثانویه نظیر میکا، کانیهای رسی و سیلیس بوجود می‌آید که در مورد منابع آبی مورد مطالعه SI مثبت دارند و این تبدیلات کانیها را تایید می‌کند (شکل ۶-۴۷).





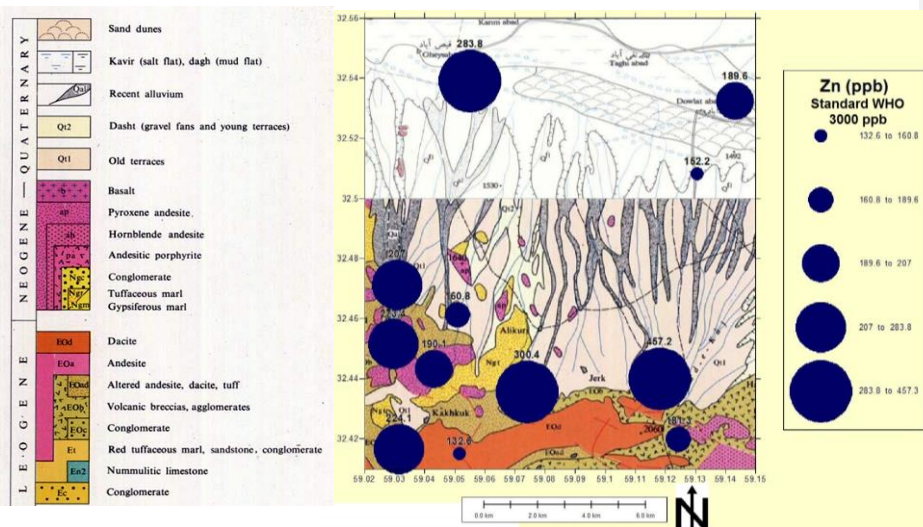
شکل ۶-۴۷- SI کانیهای سیلیسیم دار در منابع آبی در منطقه مورد مطالعه

۶-۶-۱۲- روی

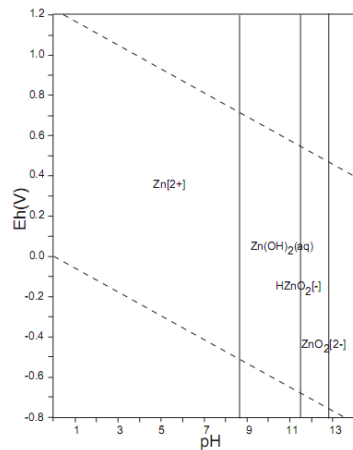
سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت  $3 \text{ mg/L}$  و استاندارد  $1053 \text{ mg/L}$  ملی ایران ( $1371$ )  $15 \text{ mg/L}$  را برای روی در آب آشامیدنی مجاز دانسته‌اند. مقایسه غلظت روی در آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه (شکل ۶-۴۸) با استاندارد سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که غلظت روی در تمام منابع کمتر از حد مجاز است و حداکثر غلظت روی در یوش (W8) و کمترین غلظت آن در چشمه بیدخت (W4)، قنات بیدستان (W6) و چاه ولیعصر (W11) مشاهده می‌شود.

فراوانی گونه‌های روی در شرایط رایج Eh-pH نشان می‌دهد که  $\text{Zn}^{2+}$  فراوانترین گونه این عنصر است (شکل ۶-۴۹). افزایش غلظت روی در سنگها (شکل ۵-۲۴) با افزایش غلظت روی در آبها (شکل ۶-۴۸) همخوانی دارد. نمونه‌های سنگی R15 و R19, R24, R26 که بیشترین روی را دارند باعث بالا رفتن غلظت روی در قناتهای پایین دست خود شامل قناتهای یوش (W8)، مهنج (W7)، جنگ آباد (W3) و گولک (W1) شده‌اند. همچنین با توجه به عدم مشاهده کانی سازی روی نظیر سولفید یا کربنات روی در سطح زمین و مقاطع سنگی تهیه شده و نیز پایین بودن غلظت روی در

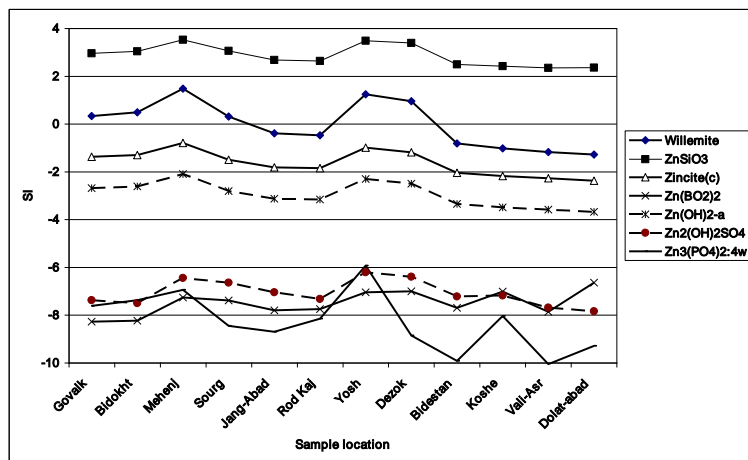
سنگ به نظر می‌رسد که حضور روی در سنگها به صورت جانشین شده با دیگر یونها در کانیهها باشد. بررسی SI کانیههای روی دار نشان می‌دهد که به جز سیلیکاتهای روی، تمامی کانیههای مطالعه شده زیر اشباع بوده و شرایط برای رسوب آنها فراهم نمی‌باشد. بنابراین بیشتر روی در محیط به صورت یونی و متحرک بوده و پدیده‌های جذب سطحی و هم‌رسوبی می‌توانند در تغییرات غلظت آن در محیط مؤثر باشند.



شکل ۶-۴۸- توزیع غلظت Zn در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۶-۴۹- نمودار Eh-pH مربوط به روی (Takeno, 2005)

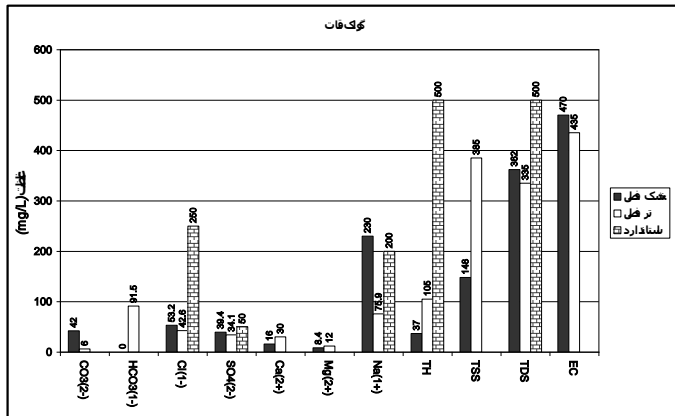


شکل ۶-۵- مقادیر SI کانیهای روی دار در منابع آبی منطقه مورد مطالعه

#### ۶-۷- مقایسه غلظت عناصر در فصل تر و خشک

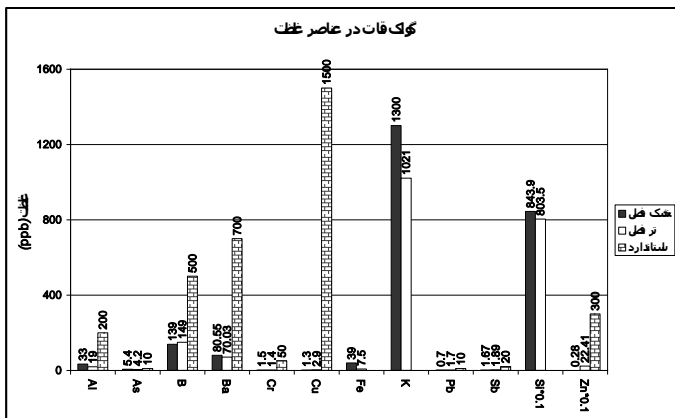
##### ۶-۷-۱- قنات گولک

قنات گولک در ارتفاعات جنوبی منطقه مورد مطالعه و در جنوب روستای گولک قرار دارد. آب این قنات به منظور کشاورزی، شستشو و شرب استفاده می‌شود. مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها طی دو فصل تر و خشک نشان می‌دهد که در پایان فصل تر غلظت کربنات، کلر، سولفات، سدیم و غلظت کلی املاح و در نتیجه EC کاهش و غلظت بی کربنات، کلسیم و منیزیم، TSS و سختی کل آب افزایش داشته است (شکل ۶-۵). به جز غلظت سدیم در پایان فصل خشک، غلظت تمامی پارامترها کمتر از حد مجاز بوده است. دیگر عناصر مورد مطالعه غلظت پتاسیم، سیلیسیم، آهن، کروم، باریم، آرسنیک و آلومینیوم در پایان فصل تر کاهش و غلظت آنتیموان، سرب، روی، مس و بور افزایش یافته است (شکل ۶-۵). غلظت تمامی عناصر کمتر از حد استاندارد WHO بوده و کیفیت آب در فصل تر جهت شرب مناسب می‌باشد و در فصل خشک از نظر سدیم کمی مشکل وجود دارد.



شکل ۶-۵۱- مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک

با استاندارد WHO در قنات گولک

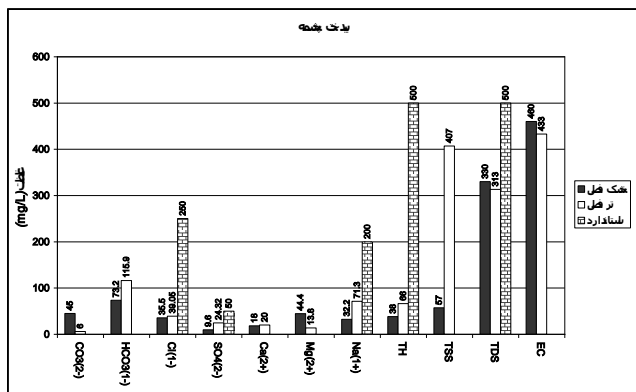


شکل ۶-۵۲- مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات گولک

۶-۷-۲- چشمه بیدخت

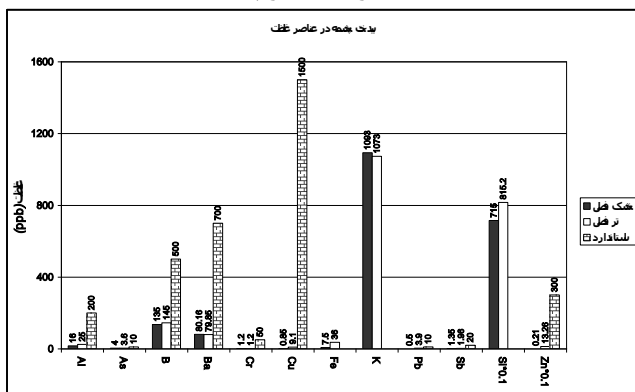
چشمه بیدخت نیز از ارتفاعات جنوبی منطقه سرچشمه گرفته و منبع اصلی آب کشاورزی و شستشو و شرب اهالی روستای بیدخت می‌باشد. کاهش غلظت کربنات و منیزیم و افزایش غلظت بی کربنات، کلر، سولفات، کلسیم، سدیم، سختی و غلظت کلی املاح و TSS در پایان فصل تر نسبت به فصل خشک مشاهده می‌شود (شکل ۶-۵۳). همچنین غلظتهای Si, Al, B, Fe, Pb, Zn در فصل تر نسبت به فصل خشک افزایش و غلظت دیگر عناصر تغییر چندانی نداشته است (شکل ۶-۵۴). غلظت

تمامی عناصر از مقادیر استاندارد WHO پایین تر بوده و کیفیت آب جهت شرب مناسب می‌باشد.



شکل ۶-۵۳- مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونها و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک

با استاندارد WHO در چشمه بیدخت

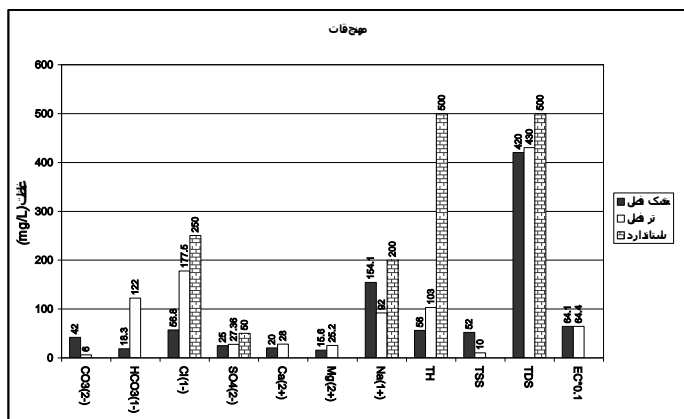


شکل ۶-۵۴- مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در چشمه بیدخت

۶-۷-۳- قنات مهنج:

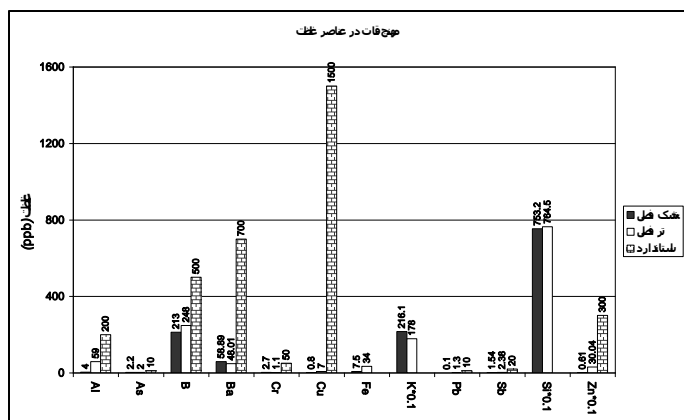
قنات مهنج در جنوب منطقه در نزدیکی حد فاصل دشت و ارتفاعات در میان آبرفتها حفر شده است. این قنات نیز منبع اصلی تامین آب کشاورزی، شستشو و شرب اهالی روستای مهنج است. در آب این قنات کاهش غلظت در کربنات، سدیم و غلظت کلی املاح و افزایش در غلظت یونهای سولفات، کلر، بی کربنات، منیزیم، کلسیم و سختی کل در فصل تر نسبت به فصل خشک مشاهده می‌شود (شکل ۶-۵۵). در بین عناصر در پایان فصل تر نسبت به پایان فصل خشک افزایش غلظت Al, B, Fe,

Si و Cu, Pb, Sb, Zn و کاهش غلظت K و Ba, Cr مشاهده می‌شود، در حالی که غلظت As تغییر چندانی نداشته است (شکل ۶-۵۶). همچنین کیفیت کلی آب جهت شرب مناسب می‌باشد.



شکل ۶-۵۵- مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی و دیگر پارامترهای دو فصل تر و خشک

با استاندارد WHO در قنات مهنج

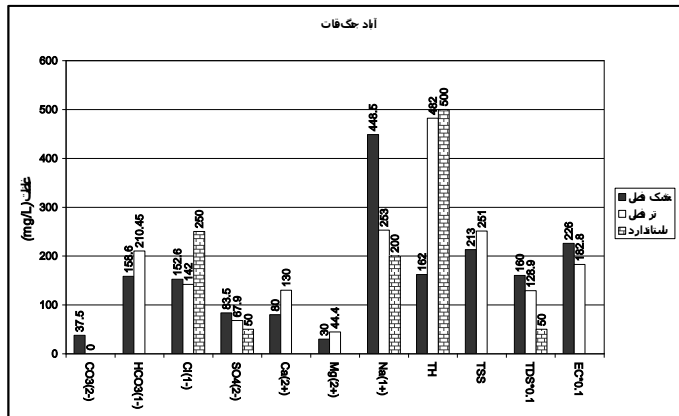


شکل ۶-۵۶- مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات مهنج

۴-۷-۶- قنات جنگ آباد

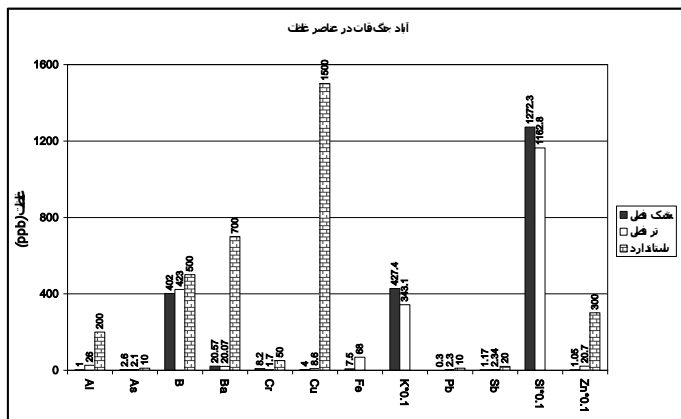
قنات جنگ آباد در جنوب روستای جنگ آباد در غرب منطقه مورد مطالعه در میان آبرفتهای منشأ گرفته از ارتفاعات کمتر دگرسان شده و واحدهای سنگی شدیداً دگرسان شده حفر شده است. آب این قنات عمدتاً جهت کشاورزی و شستشو و در مواردی نیز جهت شرب استفاده می‌شود. مقایسه غلظت

عناصر و دیگر پارامترها طی فصل خشک و تر نشان می‌دهد که در فصل تر غلظت کربنات، کلر، سولفات، سدیم و غلظت کلی املاح کاهش و غلظت کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و TSS و سختی کل افزایش یافته است (شکل ۶-۵۷). همچنین در فصل تر غلظت‌های Al, B, Cu, Fe, Pb, Sb و Zn افزایش، در حالی که غلظت Si, Cr, K کاهش داشته است، غلظت Ba و As تغییر چندانی نداشته است (شکل ۶-۵۸). از میان پارامترهای ذکر شده، غلظت سولفات و سدیم در هر دو فصل تر و خشک از حد استاندارد WHO فراتر است. در حالی که غلظت دیگر پارامترها به ویژه فلزات سنگین از حد مجاز کمتر می‌باشد. آب این قنات جهت شرب مناسب نمی‌باشد.



شکل ۶-۵۷- مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در

قنات جنگ آباد

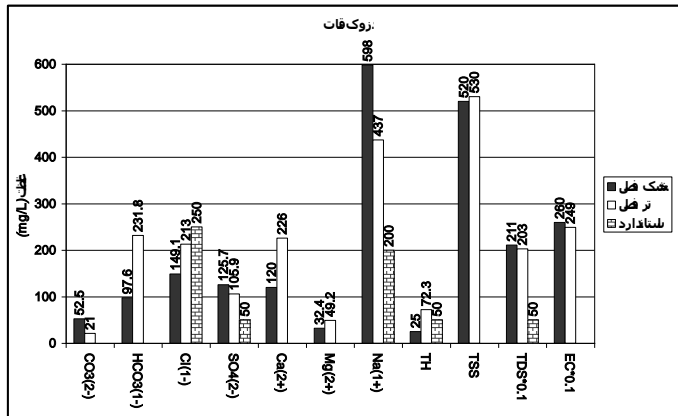


شکل ۶-۵۸- مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات جنگ آباد

۶-۷-۵- قنات دزوک

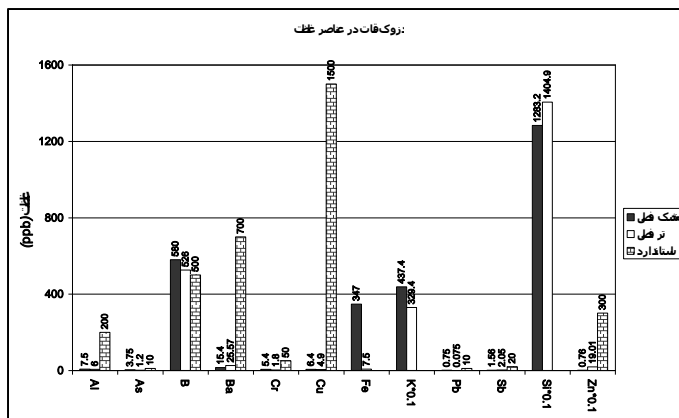
قنات دزوک در جنوب منطقه مورد مطالعه در محل تماس واحدهای آرژیلیکی شدیداً دگرسان و واحدهای سنگی با دگرسانی خفیف تر حفر شده است و آب آن جهت کشاورزی و شرب دام استفاده می شود. آنالیزهای انجام شده آشکار ساخت که غلظت کربنات، سولفات، سدیم و غلظت کلی املاح کاهش و غلظت کلسیم، منیزیم، کلرید و بی کربنات و TSS و سختی کل در فصل تر نسبت به فصل خشک افزایش داشته است (شکل ۶-۵۹). همچنین غلظت عناصر Pb و Al, As, B, Cr, Cu, Fe, K کاهش و غلظت Si, Ba, Sb, Zn نیز در فصل تر افزایش داشته است (شکل ۶-۶۰). در این قنات غلظت سولفات، سدیم، بور و غلظت کل املاح جامد در دو فصل تر و خشک از حدود مجاز ارائه شده از سوی استاندارد WHO فراتر بوده است. از این رو آب این قنات کیفیت مناسبی جهت شرب ندارد.





شکل ۶-۵۹- مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک

با استاندارد WHO در قنات دزوک

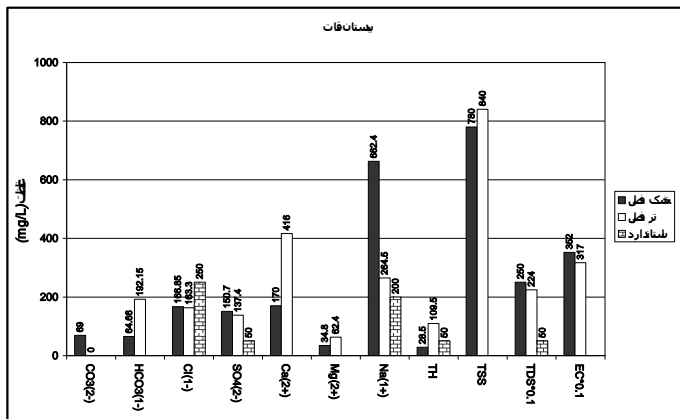


شکل ۶-۶۰- مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات دزوک

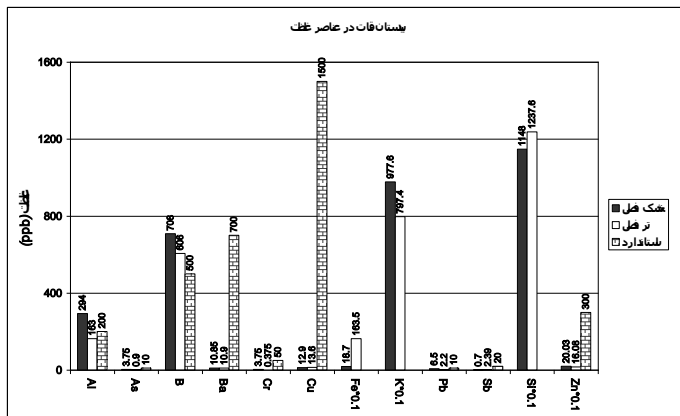
۶-۷-۶- قنات بیدستان

قنات بیدستان در جنوب منطقه مورد مطالعه در حاشیه روستای بیدستان و در پایین دست آبراهه زهکش کننده واحدهای شدیداً دگرسان و آرژیلیکی شده قرار دارد. همچنین کمی بالاتر از این قنات بر روی آبراهه بند خاکی جهت کنترل سیلاب احداث شده است که همانطور که توصیف آن گذشت تبلور ژپس در رسوبات پشت بند طی تغییرات فصل مشاهده می شود. آب این قنات طی دو مرحله برداشت دارای رنگ و رسوب بوده است. نتایج آنالیز آب این قنات نشان می دهد که غلظت یونهای

کلرید، کربنات، سولفات و سدیم و غلظت کلی املاح در فصل تر نسبت به فصل خشک کاهش و غلظت کلسیم، منیزیم، بی کربنات، TSS و سختی کل در فصل تر نسبت به فصل خشک افزایش یافته است (شکل ۶-۶۱). همچنین در پایان فصل تر غلظت Zn و Al، As، B، Cr، K، Pb کاهش و غلظت Sb، Si، Cu، Fe و افزایش داشته است. در حالی که غلظت باریم بدون تغییر مانده است. با توجه به بالا بودن غلظتهای Al (در فصل خشک)، بور، سولفات، سدیم و غلظت کل املاح (TDS) در هر دو فصل و سختی کل در فصل تر، آب این قنات کیفیت مناسبی جهت شرب ندارد (شکل ۶-۶۲).



شکل ۶-۶۱- مقایسه غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی و دیگر پارامترها طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات بیدستان



شکل ۶-۶۲- مقایسه غلظت عناصر طی دو فصل تر و خشک با استاندارد WHO در قنات بیدستان

### ۶-۸- تعادل جرمی:

آنیونها و کاتیونهای اصلی در آب توسط واکنشهای مختلفی نظیر انحلال گازها و کانیها، هوازدگی سیلیکاتها، اکسایش سولفیدها، تبادل یون، تبخیر، ورود آبهای جوی، دولومیتی شدن و ورود آبهای ژئوترمالی و . . . کنترل می‌شود. روش تعادل جرمی بر مبنای مقایسه نسبت غلظت آنیونها و کاتیونها در آب استوار است. مقادیر بحرانی این نسبتها در جدول (۶-۶) ارائه شده است. با توجه به این مقادیر می‌توان برخی از واکنشهای اصلی کنترل کننده غلظت عناصر را شناسایی کرد (Hounslow, 1995). برای این منظور از نرم افزار WATEVAL (Hounslow and Goff, 1994) استفاده شده است. نسبتهای محاسبه شده در جدول ۶-۷ ارائه شده است.

غلظت بالای  $\text{SiO}_2$  در قنات دزوک (W5) و چاههای کوشه (W10)، ولیعصر (W11) و دولت آباد (W12) به انحلال شیشه آتشفشانی و یا ورود آبهای ژئوترمالی غنی از سیلیس نسبت داده شده است. با توجه به عدم وجود چنین منابعی برای سیلیس اضافی به نظر می‌رسد جایگزینی  $\text{H}^+$  با کاتیونهای Na, Ca با کاهش pH که به ویژه در چاهها مشاهده می‌شود عامل چنین تغییری است. با استفاده از نسبت  $\text{SiO}_2/(\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}) < 1$  می‌توان منشأ Na و K را به تبادل یونی، هوازدگی آلبیت و یا کانیهای فرومنیزین نسبت داد. افزایش Na در آب عمل تبادل یونی معکوس می‌کند که در چاه دولت آباد مشاهده می‌شود.

از نسبت  $(\text{Na}+\text{K}-\text{Cl})/(\text{Na}+\text{K}-\text{Cl}+\text{Ca})$  برای بررسی احتمال هوازدگی پلاژیوکلازها به عنوان منبع Ca استفاده شده است. مقدار بیش از (۰,۵) این نسبت در آب نشان می‌دهد که هوازدگی پلاژیوکلازها (و به احتمال تمام کانیهای سیلیکاته Ca دار) منبع اولیه Ca در محیط می‌باشد.

با توجه به منابع متعدد نسبت  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl}) > 0.5$  می‌رساند که Na از تبادل یونی (جایگزینی دیگر یونها به جای Na و آزاد شدن آن در محیط و یا از هوازدگی و انحلال آلبیت وارد محیط شده است.

همچنین منابع متعددی می‌توانند در ورد Ca به منابع آبی نقش داشته باشند که نسبت  $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{SO}_4^{2-})$  این منابع را بررسی می‌کند. در میان منابع آبی مورد مطالعه، قناتهای گولک و یوش

و چشمه بیدخت که در بالادست قرار دارند، Ca از منابع غیر ژئوسفری (نظیر پلاژیوکلازها) آزاد شده است. در حالی که با ادامه روند حرکت آب Ca از آب توسط واکنشهای تبادل یون و یا رسوب ترکیبات کلسیم دار حذف می‌شود. قنات مهنج در حد فاصل بین ارتفاعات و دشت رفتاری بینابین دارد. همچنین نسبتهای  $Cl^-$  به مجموع آنیونها و  $HCO_3^-$  به مجموع آنیونها به عنوان ملاکی برای بررسی واکنشهای کلی بین آب و سنگ نظیر ورود شورابه‌ها، تبخیر آب، هوازگی سنگ و یا انحلال کانیها در آب استفاده می‌شود. تبخیر آب در بخشهای کم عمق باعث بالا رفتن نسبت  $Cl^-/sum\ anions$  می‌شود. این موضوع در چاههای منطقه با نسبت  $HCO_3^-/sum\ anions$  نیز همراهی دارد که این دو نسبت همدیگر را تایید کرده‌اند.

جدول ۶-۶- مقادیر بحرانی در روش تعادل جرمی (Hounslow, 1995)

پارامتر	مقدار	نتیجه گیری
$SiO_2$ (mmol/L)	$> 0.5$	احتمال انحلال شیشه آتشفشانی یا آبهای هیدروترمالی
$\frac{SiO_2}{Na^+ + K^+ + Cl^-}$	$< 1$ $> 1$ و $< 2$ $> 2$	تبادل کاتیون هوازگی آلبیت کانیهای فرومنیزین
$\frac{Na^+ K^+ + Cl^-}{Na^+ + K^+ + Cl^- + Ca^{2+}}$	$> 0.2$ و $< 0.8$ $< 0.2$ یا $> 0.8$	هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها هوازگی غیر محتمل پلاژیوکلازها
$\frac{Na^+}{Na^+ + Cl^-}$	$> 0.5$ $= 0$ $< 0.5$ (TDS $> 500$ ) $< 0.5$ ( $50 < TDS < 500$ ) $< 0.5$ (TDS $< 50$ )	منبع سدیم از منابعی به جز حالت-آلبیت، تبادل یون انحلال هالیت نرم شدن معکوس، آب دریا خطای تجزیه آب باران
$\frac{Ca^{2+}}{Ca^{2+} + SO_4^{2-}}$	$= 0.5$ $< 0.5$ pH $< 5.5$ pH خنثی $< 0.5$ $> 0.5$	انحلال ژئوسفر اکسیداسیون پیریت حذف کلسیم- تبادل یون یا رسوب کلسیت منبع کلسیم از منابعی به جز ژئوسفر- کربناتها یا سیلیکاتها
$\frac{Cl^-}{sumAnions}$	$> 0.8$ (TDS $> 500$ ) $> 0.8$ (TDS $< 100$ ) $< 0.8$	آب دریا، شورابه یا تبخیر آب باران هوازگی سنگ
$\frac{HCO_3^-}{sumAnions}$	$> 0.8$ $< 0.8$ و سولفات بالا $< 0.8$ و سولفات پایین	هوازگی کربنات یا سیلیکات انحلال ژئوسفر آب دریا یا شورابه

جدول ۶-۷- بررسی غلظت آنیون ها و کاتیونها در آبهای زیرزمینی به روش تعادل جرمی

فئات سورگ	فئات مهبج		فئات کاتیون		فئات سورگ
	تبادل کاتیون	تبادل آنیون	تبادل کاتیون	تبادل آنیون	
فئات سورگ	۰.۲۹	۰.۲۷	۰.۲۹	۰.۲۷	۰.۴۸
SiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	۰.۲۸
SiO <sub>2</sub> /(Na+K-Cl)	تبادل کاتیون	تبادل کاتیون	تبادل کاتیون	تبادل کاتیون	تبادل کاتیون
(Na+K-Cl)/(Na+K-Cl-Ca)	هوازگی احتمالی پلازیو کلرها	هوازگی احتمالی پلازیو کلرها	هوازگی احتمالی پلازیو کلرها	هوازگی احتمالی پلازیو کلرها	هوازگی احتمالی پلازیو کلرها
Na/(Na+Cl)	انحلال البیت یا تبادل یون	انحلال البیت یا تبادل یون	انحلال البیت یا تبادل یون	انحلال البیت یا تبادل یون	انحلال البیت یا تبادل یون
Ca/(Ca+SO <sub>4</sub> )	ورود Ca از منابع غیر ژئیمی نظیر کربناتها و سیلیکاتها	ورود Ca از منابع غیر ژئیمی نظیر کربناتها و سیلیکاتها	انحلال ژئیمی	۰.۴۱	حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربناتها کلسیم
Cl/ sum anions	تبخیر آب یا ورود شورابه ها	تبخیر آب یا ورود شورابه ها	تبخیر آب یا ورود شورابه ها	۰.۱۸	هوازگی کربناتها یا سیلیکاتها
HCO <sub>3</sub> / sum anions	-	-	-	۰.۲۶	تبخیر آب یا ورود شورابه ها

جدول ۶-۷- بررسی غلظت آنیون ها و کاتیونها در آبهای زیرزمینی به روش تعادل جرمی

فئات درزوک	فئات پوش		فئات رود کج		فئات جنگ آباد	
انحلال شیشه احتمالی یا ورود آبهای گرمایی	۰.۵۰	-	۰.۴۲	-	۰.۴۱	SiO <sub>2</sub>
تبادل کاتیون	۰.۰۵	تبادل کاتیون	۰.۰۱	تبادل کاتیون	۰.۰۸	SiO <sub>2</sub> /(Na+K-Cl)
هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها	۰.۵۴	هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها	۰.۶۵	هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها	۰.۵۴	(Na+K-Cl)/(Na+K-Cl-Ca)
انحلال آلیت یا تبادل یون	۰.۷۴	انحلال آلیت یا تبادل یون	۰.۷۵	انحلال آلیت یا تبادل یون	۰.۷۰	Na/(Na+Cl)
حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربناتهای کلسیم	۰.۴۳	ورود Ca از منابع غیر ژئوسفر نظیر کربناتها و سیلیکاتها	۰.۵۵	حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربناتهای کلسیم	۰.۴۱	Ca/(Ca+SO <sub>4</sub> )
هوازگی کربناتها یا سیلیکاتها	۰.۱۶	تبخیر آب یا ورود شورابه ها	۰.۲۵	هوازگی کربناتها یا سیلیکاتها	۰.۱۹	Cl/ sum anions
تبخیر آب یا ورود شورابه ها	۰.۱۱	-	۰.۴۲	-	۰.۱۷	HCO <sub>3</sub> / sum anions

جدول ۴-۷- بررسی غلظت آنیون ها و کاتیونها در آبهای زیرزمینی به روش تعادل جرمی

چاه کوشه	چاه ولیعصر	چاه دولت آباد	چاه بیستمان	چاه کوشه
SiO <sub>2</sub>	۰.۵۴	۰.۶۹	-	۰.۵۱
انحلال همیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمایی	انحلال همیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمایی	انحلال همیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمایی	-	انحلال همیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمایی
SiO <sub>2</sub> /(Na+K-Cl)	۰.۲۲	Cl>(Na+K)	۰.۰۴	۰.۰۳
تبادل کاتیون	تبادل کاتیون	-	تبادل کاتیون	تبادل کاتیون
(Na+K-Cl)/(Na+K-Cl-Ca)	۰.۳۰	Cl>(Na+K)	۰.۴۵	۰.۷۱
هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها	هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها	Cl>(Na+K)	هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها	هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها
Na/(Na+Cl)	۰.۵۳	۰.۴۸	۰.۷۷	۰.۶۴
انحلال آلپیت یا تبادل یون	انحلال آلپیت یا تبادل یون	۰.۴۸	انحلال آلپیت یا تبادل یون	انحلال آلپیت یا تبادل یون
Ca/(Ca+SO <sub>4</sub> )	۰.۴۲	۰.۰۴	۰.۴۳	۰.۳۲
حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربناتهای کلسیم	حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربناتهای کلسیم	۰.۰۴	حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربناتهای کلسیم	حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربناتهای کلسیم
Cl/ sum anions	۰.۷۱	۰.۷۱	۰.۱۱	۰.۴۰
تیخیر آب یا ورود شورابه ها	تیخیر آب یا ورود شورابه ها	۰.۷۱	هوازگی کربناتها یا سیلیکاتها	تیخیر آب یا ورود شورابه ها
HCO <sub>3</sub> / sum anions	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۰۶
تیخیر آب یا ورود شورابه ها	تیخیر آب یا ورود شورابه ها	۰.۰۳	تیخیر آب یا ورود شورابه ها	تیخیر آب یا ورود شورابه ها

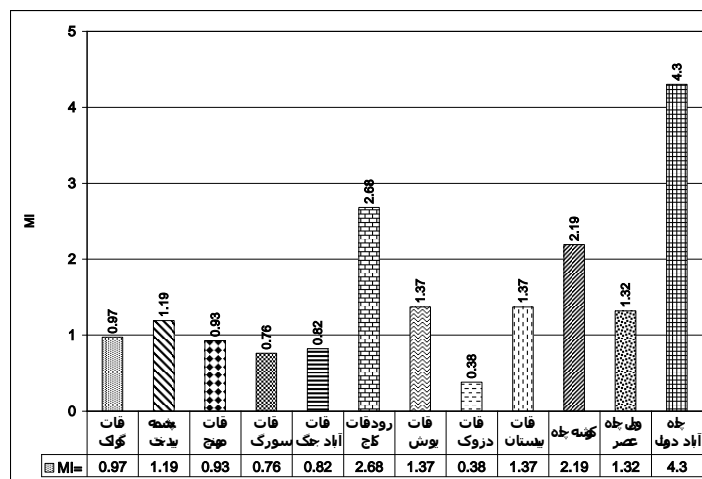
### ۶-۹- بررسی MI (شاخص فلزی در نمونه های آبی)

این پارامتر به صورت زیر تعریف می شود (Tamasi and Cini, 2004):

$$MI = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(MAC)_i}$$

که در آن  $C_i$  غلظت هر عنصر بر حسب mg/L و MAC حداکثر غلظت مجاز از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) است.  $MI=1$  حداکثر مقدار مجاز می باشد که بیش از آن آب آلوده ارزیابی می شود.

محاسبه مقادیر برای نمونه های آبی (شکل ۶-۴) برای ۸ عنصر Zn و Al, As, Ba, Cr, Cu, Pb, Sb نشان می دهد که چشمه بیدخت و قناتهای رود کاج، یوش، بیدستان و چاههای کوشه، ولیعصر دارای  $MI > 1$  هستند. تأثیر دگرسانی در افزایش MI قنات بیدستان نسبت به دیگر قنات مجاور و هم ارتفاع قابل مشاهده است. افزایش قابل توجه MI در چاه دولت آباد نسبت به دیگر منابع مطالعه شده در این تحقیق را با توجه به تغذیه شدن این چاه از دامنه های شمالی و شرقی دشت مختاران می توان به ورود فلزات سنگین از سوی آنها دانست.



شکل ۶-۴- مقادیر MI در آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



### ۶-۱۰-۱- ارائه مدل مفهومی توزیع عناصر بین واحدهای سنگی و آبهای زیرزمینی

مطالعه مقاطع سنگی، نتایج آنالیز ICP-MS سنگها، مقایسه آنها با غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی و غلظت عناصر اندازه‌گیری شده با روش ICP-MS، محاسبه همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده و محاسبه تعادل جرمی، حکایت از ارتباط معنی‌داری بین آب و سنگ دارد و با استفاده از نتایج بررسیهای ذکر شده می‌توان سه منشأ را برای عناصر موجود در آب ارائه کرد:

#### ۱- سیلیکاتهای سازنده سنگ:

کانیهای سیلیکاتی سازنده سنگ مهمترین منبع عناصر اصلی حاضر در آنها هستند. پلاژیوکلاز و دیگر فلدسپارها، آمفیبول‌ها و پیروکسنها، بیوتیت و دیگر میکاها و کانیهای رسی منبع عناصر Ca, Na, K, Mg, Fe, Al و Si هستند. Si مهمترین جز سیلیکاتها است. هوازدگی با تخریب سیلیکاتها و آزاد سازی Si، دیگر عناصر را از کانیهای اولیه آزاد نموده و وارد آب می‌کند. جانشینی فلدسپارها، پیروکسن و بیوتیت با کانیهای ثانویه نظیر سیلیس، کانیهای رسی و گاهی کربنات، نشانه آزاد شدن و تغییر ترکیب عناصر در سنگ می‌باشد. بنابراین، عناصر سازنده این کانیها با Si همبستگی مثبت خواهند داشت.

#### ۲- سیالات هیدروترمالی و دگرسانی در سنگ:

سیالات هیدروترمالی بسته به ترکیب خود ممکن است اسیدی تا بازی و غنی از عناصر باشند. مطالعات گذشته ماهیت اسیدی، اکسیدان و غنی از سولفات را برای سیال دگرسان کننده در منطقه مورد مطالعه اعلام کرده‌اند (رسا و همکاران، ۱۳۸۴). نفوذ این سیالات به سنگ علاوه بر هیدرولیز سیلیکاتها، و کاهش ظرفیت خنثی سازی اسید در سنگ و اکسایش عناصر، با تخریب ساختار کانی و سنگ همراه بوده است. به دلیل افزایش غلظت عناصری نظیر آرسنیک در واحدهای دگرسان شده، احتمال می‌رود نفوذ این سیالات در مواردی با کانه‌زایی نیز همراه بوده باشد.

#### ۳- کانه زایی:

برخی از عناصر در اثر کانی سازی (به ویژه سولفیدها) و اکسایش پس از آن وارد آب می‌شوند. گرچه

حضور کانه‌زایی سولفیدها در سطح زمین مشاهده نشد، با این وجود به دلیل عملکرد دگرسانی و وفور اکسیدهای آهن در سطح، حضور کانه‌زایی در اعماق بیشتر را نمی‌توان انکار کرد. بنابراین این احتمال وجود دارد که بخشی از سولفات و آهن موجود در آب و سنگ از کانه‌زایی سولفیدی منشأ گرفته باشد. عناصر ممکن است بیش از یک منشأ داشته باشند و دو یا تمامی منابع بالا در ورود عنصر به آب دخیل باشند. برای شناسایی عناصری که در اثر هوازدگی وارد آب می‌شوند همبستگی آنها با Si محاسبه می‌شود. عناصر Al, Ca, Fe, K, Mg و Na همبستگی بالایی با Si نشان می‌دهند که منشأ سیلیکاتی آنها را تایید می‌کند. عنصر Cr نیز همبستگی بالا با Si نشان می‌دهد. این عنصر به دلیل داشتن بار و شعاع شبیه به Ca, K, Fe و Al می‌تواند در کانیها جایگزین آنها شود. بنابراین Cr نیز به طور عمده منشأ سیلیکاتی دارد.

عناصر S, B, Cl در ترکیب سنگ به مقادیر اندک حضور دارند. غلظت آنها در آب و سنگ در مناطق کمتر دگرسان شده نیز پایین است. در واقع می‌توان ورود سیالات هیدروترمالی و دگرسانی در سنگ را یکی از عوامل حضور آنها در سنگها دانست. در حالی که نفوذ سیالات هیدروترمالی ساختار کانیهای سیلیکاتی را تخریب می‌کند و خود وارد ساختار کانی جدید و از طرف دیگر با اجزا آزاد شده سنگ ترکیب شده و دسته دیگری از کانیهایی را به وجود می‌آورد که در نهایت وارد آب می‌شوند. حضور ژئوپس در سطح زمین و ژاروسیت در مقاطع و آلونیت (رسا و همکاران، ۱۳۸۴) در مناطق شدیداً دگرسان شده موید اثر سیالات غنی از سولفات و تشکیل کانیهای سولفات در اثر واکنش این سیالات هیدروترمالی با مجموعه کانیها است. همبستگی سولفات با برخی از یونهای اصلی سازنده سنگها می‌تواند نشانه آزاد سازی آنها از سنگ در اثر ورود سیالات هیدروترمالی به سنگ و تخریب آن باشد. با توجه به مطالب بالا، مسیر حرکت عناصر از سنگ (سالم تا کاملاً دگرسان شده) به آبهای زیرزمینی را می‌توان در چند مرحله خلاصه نمود (شکل ۶-۶۴).

مرحله اول: آزاد سازی عناصر از منابع تامین کننده عناصر شامل سنگ اولیه، سیالات هیدروترمالی و کانه‌زایی احتمالی

## ۱- سنگ اولیه

سنگ اولیه مهمترین عامل تعیین کننده غلظت و نوع عناصری است که وارد آب می شوند. واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه عمدتاً سنگهای ولکانیکی مافیک (آندزیت) بوده و از این رو فراوانترین کانیهای آنها پلاژیوکلاز و کانیهای فرومنیزین هستند. بخش عمده عناصر  $Ca$  و  $Al$ ,  $Mg$ ,  $Si$ ,  $Na$  که سازنده‌های اصلی سیلیکاتها هستند و عناصر  $Zn$  و  $Cr$ ,  $Ba$  که به صورت جایگزینی می‌توانند در ساختار کانیهای سیلیکات دگرسان نشده وارد شده باشند از این بخش منشأ گرفته‌اند. روش تعادل جرمی انجام شده نشان می‌دهد که عناصر (نظیر  $Ca$ ) از منابع متعددی از جمله پلاژیوکلازها و دیگر سیلیکاتها، ژپیس و یا واکنشهای تبادل یونی ممکن است تامین شده باشند. هوازگی در سنگ اولیه، با نفوذ آب به ساختار کانیها، هیدرولیز کانیها و اکسایش عناصر، در نهایت تخریب ساختار کانی و آزاد سازی عناصر را در پی دارد.

## ۲- سنگهای دگرسان شده در اثر نفوذ سیالات هیدروترمالی غنی از سولفات

نفوذ سیالات هیدروترمالی اسیدی غنی از سولفات، باعث هیدرولیز پلاژیوکلاز و تبدیل آن به کانیهای رسی و سیلیس می‌شود. اثر همزمان هیدرولیز و اکسیداسیون باعث تخریب کانیهای فرومنیزین و جانشینی آنها با سیلیس و اکسیدهای آهن می‌شود. نوع و شدت دگرسانی و هوازگی با تنوعی از واکنشها و کانیها همراه است. در بخشهای بالا دستی (ارتفاعات و قناتهای گولک و بیدخت) که دگرسانی چندانی صورت نگرفته است، تغییرات شامل تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت (دگرسانی پروپلیتیک) است. در این بخشها عموماً  $pH$  آب بالا بوده و غلظت بیکربنات در آب افزایش می‌یابد. در مناطق شدیداً دگرسان، سیالات اسیدی غنی از سولفات پس از هیدرولیز و تخریب پلاژیوکلاز و دیگر کانیها باعث آزاد شدن کاتیونهای اصلی سنگ و تبدیل فلدسپارها به کانیهای رسی می‌شود. عناصر آزاد شده توسط کانیهای رسی تشکیل شده جذب سطحی می‌شوند یا توسط همان سیالات به مناطق دیگر حمل می‌شوند. سیالات هیدروترمالی به عنوان منبع اصلی سولفات در منطقه عمل می‌کند. در

کنار آن باعث افزایش غلظت Fe, B, As, K و در سنگ و آب تمامی مناطق شدیداً دگرسان شده می-شوند.

### ۳- کانه زایی احتمالی

در سطح شواهد ضعیفی از کانه‌زایی به صورت اکسید آهن پراکنده به صورت رگچه یا پرکننده قالب کانیها مشاهده می شود. با این وجود امکان حضور آن را در اعماق نمی توان انکار کرد. اکسایش سولفیدها می تواند منشأ بخشی از سولفات موجود در محیط باشد. با توجه به شواهدی نظیر همبستگی عناصر Cu و Sb و عدم مشاهده کانه‌زایی آنها در منطقه تغییرات آنها را می توان به کانه‌زایی پراکنده آنها نسبت داد.

مرحله دوم: عبور از محیطهای واسطه (میانی)

عناصر پس از آزاد شدن از منابع اولیه در محیطهای واسطه نگهداری می شوند. این محیطها با توجه به شدت دگرسانی متفاوت هستند. در مناطق با دگرسانی کمتر این محیطها شامل کانیهای ثانویه هستند که عموماً در اثر هوازدگی در سنگ به وجود آمده‌اند. این کانیها علاوه بر عناصر موجود در ساختار خود، بخشی از عناصر را به صورت جذب سطحی شده همراه دارند. در منطقه شدیداً دگرسان شده این محیط شامل سولفاتهای اولیه، کانیهای رسی و یونهای جذب سطحی شده در آنها می‌باشد. سیالات غنی از سولفات قادرند با عناصری نظیر Al و Fe (که احتمالاً از تخریب فلدسپارها و کانیهای فرومنیزین آزاد شده‌اند) واکنش داده و کانیهایی نظیر آلونیت و ژاروسیت را در محیط برجای می‌گذارند. این سولفاتها در صورت انحلال قادرند محیط را دوباره اسیدی نموده و غلظت سولفات را بالا ببرند. کاتیونهای نظیر Na, Ca, K پس از آزاد شدن از ساختار کانیهای اولیه قادر به انتخاب حداقل دو مسیر هستند: ۱- ورود به آبهای زیرزمینی، ۲- جذب توسط کانیهای نظیر رسها که در محیط فراوان هستند. از طرفی معمولاً دگرسانی با کانه زایی همراه است که شواهد چندانی از آن در بخشهای سطحی مطالعه شده یافت نشد. با این وجود حضور آن در بخشهای عمیق تر را نمی توان انکار کرد. نفوذ آبهای دارای اکسیژن حل شده به این اعماق باعث اکسایش این کانیها خواهد شد. در

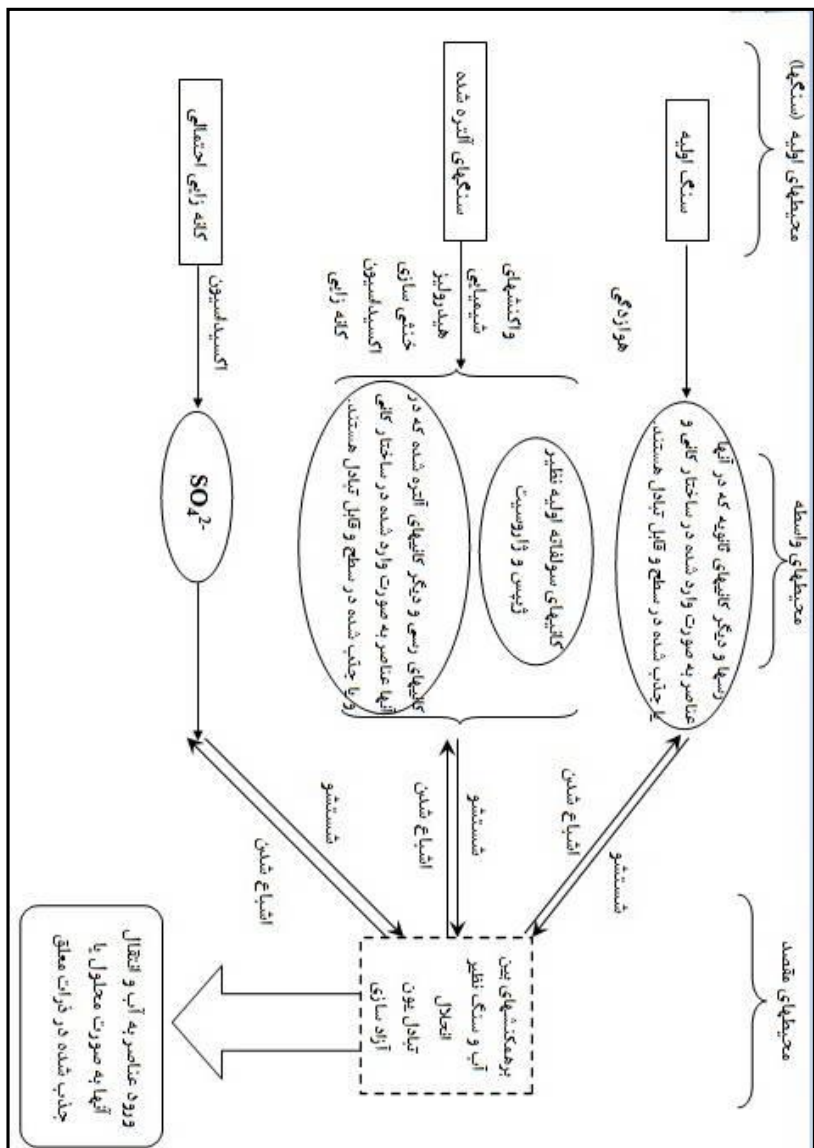
نهایت سولفات حاصله از مسیرهای متعددی وارد آب خواهد شد. شستشو در این واحد و انجام برهمکنشهای آب و سنگ در این واحدها با انحلال بخشهای قابل حل، تبادل یون و در نهایت آزاد سازی عناصر همراه است.

مرحله سوم: محیط مقصد

عناصر آزاد شده از محیطهای میانی و واسطه در نهایت به محیط مقصد می‌رسند. این محیط شامل آبهای زیرزمینی است. آب عامل قدرتمندی در جابجایی عناصر است. شستشو در محیطهای واسطه در نهایت باعث آزاد سازی عناصر به آب به صورت محلول و یا جذب سطحی شده در ذرات معلق در آب می‌شود. عبور آب از مناطق با غلظت بالاتر عناصر موجب انتقال عناصر از محیطهای با فراوانی بیشتر به نواحی با فراوانی کمتر شده و آنها را در واکنشهایی نظیر تبادل یون، تشکیل رسوب یا هم رسوبی وارد می‌کند. با استفاده از روش تعادل جرمی می‌توان دریافت بخشی از سدیم آزاد شده در آب حاصل تبادل یونی در مسیر حرکت آنها است. همچنین تبادل کاتیونی در میانه دشت با پایین آمدن pH تشدید شده و سیلیس نسبت به آنچه از انحلال سیلیکاتها انتظار است، بیشتر می‌شود. همچنین بور در این مناطق بالا می‌رود که می‌تواند به دلیل تبادل کاتیونی بوده باشد. با ادامه مسیر آب تا رسیدن به بخشهای میانی دشت، به دلیل طولانی شدن مسیر و افزایش سطح تماس آب و سنگ، برهمکنشهای آب و سنگ ادامه یافته و غلظت عناصری نظیر کلرید، سدیم، بور، آرسنیک و کروم در آب افزایش می‌یابد. البته به دلیل تغذیه این بخش از دیگر دامنه‌های دشت، ممکن است بخشی از افزایش غلظت عناصر مربوط به آبهای ورودی از دیگر دامنه‌ها باشد. افزایش غلظت عناصر و اختلاط آبهای با غلظت متفاوت عناصر باعث می‌شود که SI برخی از کانیها مثبت شده و شرایط برای رسوب برخی از کانیها آماده شود. در این صورت این دسته از کانیها اشباع شده و به فاز جامد بر می‌گردند. کاهش غلظت عناصر سازنده آن کانیها و منفی شدن SI آنها در زمانهای آتی دوباره باعث برگشت آن عناصر به آب می‌شود. از دیگر عوامل اشباع شدن غلظت عناصر می‌توان به انحلال دیگر مواد و تبخیر آنها اشاره کرد.

در نهایت عناصر در آب به صورت محلول و یا جذب شده در ذرات معلق حضور می‌یابند و به صورت مستقیم یا غیر مستقیم وارد بدن انسان و دیگر موجودات زنده می‌شوند.

شکل ۶-۴- مدل مفهومی توزیع عناصر بین آب و سنگ



# فصل هفتم پیشگیری

این فصل شامل بخشهای زیر می باشد:

مقدمه

زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه

بررسی غلظت عناصر و دیگر پارامترها در آبها و سنگها

بررسی همبستگی بین پارامترهای مختلف در آبها و سنگها

تیپ و رخساره آب

بررسی برخی از شاخصهای تأثیر دگرسانی بر آب زیرزمینی

بررسی مدل مفهومی توزیع عناصر بین سنگ و آب



**۷-۱- مقدمه**

در این تحقیق سعی شده است تا ضمن بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی (قنوات گولک، سورگ، جنگ آباد، دزوک، بیدستان، مهنج، یوش و رود کاج، چاههای کوشه، ولیعصر و دولت آباد و چشمه بیدخت) تأثیرات دگرسانی‌های رخ داده در منطقه را بر کیفیت آبها بررسی نماید. از این رو زمین شناسی منطقه مطالعه گردیده و مقاطع سنگی تهیه شده از واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مطالعه شد، مطالعات جامعی در راستای تأثیرات دگرسانی بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و انواع برهمکنشهای بین آب و سنگ صورت پذیرفت، نمونه برداری از سنگها و آبهای زیرزمینی انجام شد، سنگها جهت آنالیز ICP-MS ارسال و با استفاده از نتایج آن نحوه توزیع غلظت عناصر در سنگها مشخص و رسم شد. به منظور بررسی کیفیت آبها، نمونه‌های آبی برداشت شده طی دو فصل تر و خشک جهت آنالیز ICP-MS و اندازه‌گیری غلظت آنیونها و کاتیونها اصلی ارسال و نتایج حاصل از آن با استانداردهای WHO و ۱۰۵۳ ایران مقایسه شد. نحوه پراکنش غلظت عناصر در آب رسم شده و با استفاده از آن با کمک محاسبه غلظت گونه‌های محلول عناصر و ضرایب اشباع شدگی کانیها، تغییرات غلظت عناصر در آب زیرزمینی با توجه به جایگاه آنها در منطقه مورد مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت پس از شناخت برهمکنشهای مؤثر بین آب و سنگ در منطقه مورد مطالعه، مدل مفهومی جهت توصیف جابجایی عناصر بین سنگ و آب ارائه گردید. در این بخش نتیجه گیری به دست آمده از بخشهای مختلف این تحقیق به طور خلاصه آمده است.

**۷-۲- زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه**

بررسیها نشان می‌دهد که ارتفاعات جنوبی منطقه به طور عمده از جنس آندزیت به سن پالئوژن و آذرآواری‌های به سن نئوژن می‌باشد. آذرآواری‌ها به طور عمده و آندزیتها به مقدار کمتر دچار دگرسانی از نوع آرژیلیکی، سیلیسی، اکسید آهنی، کربناتی و سربستی شده‌اند. مهمترین کانیهای

اولیه شناسایی شده در سنگها، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و بیوتیت می باشد که در مقاطع مختلف به مقادیر متغیری با کانیهای رسی، سیلیس، اکسید آهن، کربنات و سربیسیت جایگزین شده اند.

### ۷-۳- بررسی غلظت عناصر و دیگر پارامترها در آبها و سنگها

نمونه های سنگی برداشت شده شامل سنگهای کمتر دگرسان شده، شدیداً دگرسان شده و رسوبات آبرفتی بوده اند و بر همین اساس به سه گروه I و II و III تقسیم شده اند. از اعضا گروه های معرفی شده مجموعاً ۱۲ نمونه انتخاب شده و مورد آنالیز ICP-MS قرار گرفتند. در سنگهای مورد بررسی غلظت آلومینیوم بین ۰,۲۳ تا ۱,۹۵٪، آرسنیک بین ۰,۹ تا ۴۱,۹ ppm، باریم بین ۱۶,۹ تا ۲۷۴,۸ ppm، کلسیم بین ۰,۱۴ تا ۱۵,۲۸٪، کروم بین ۱ تا ۲۴,۱ ppm، مس بین ۶,۵۲ تا ۵۸,۵۹ ppm، آهن بین ۰,۶۷ تا ۱۱,۱۶٪، پتاسیم بین ۰,۰۷ تا ۱,۰۵٪، منیزیم بین ۰,۰۱ تا ۱,۰۲٪، سدیم بین ۰,۰۰۶ تا ۰,۹۲۶٪، سرب بین ۴,۸۵ و ۵۴,۴۳ ppm، گوگرد بین ۰,۰۱۵ و ۸,۷۹٪، آنتیموان بین ۰,۰۴ تا ۲۷,۳۷ ppm و روی بین ۱,۳ و ۵۳ ppm بوده است. همچنین میانگین غلظت عناصر در گروه های با شدتهای مختلف دگرسانی مقادیر متفاوتی داشته اند، عناصر Zn و Al, Ba, Cr, Cu, Sb در سنگهای شدیداً دگرسان شده کمترین غلظت را داشته اند. همچنین عناصر K و Fe و Pb در سنگهای شدیداً دگرسان شده و عناصر As, S در رسوبات تشکیل شده از این سنگها بیشترین غلظت را داشته اند.

بررسی های انجام شده در مورد نمونه های آب برداشت شده و بررسی نتایج اندازه گیری غلظت آنیونها و کاتیونها و پارامترهای اصلی فیزیکوشیمیایی نشان داد که pH در منطقه مورد مطالعه بین ۷,۳۸ تا ۷,۹۶، هدایت الکتریکی بین ۵۱۹ تا ۱۱۸۱۰  $\mu\text{S/cm}$ ، کربنات بین صفر تا ۲۱  $\text{mg/L}$ ، بی کربنات بین ۹۱,۵ و ۲۳۷,۹  $\text{mg/L}$ ، کلر بین ۳۹ تا ۲۶۴,۳۱  $\text{mg/L}$ ، سولفات بین ۲۴۱ تا ۱۳۷۴,۲  $\text{mg/L}$ ، کلسیم بین ۲۰ تا ۴۱۶  $\text{mg/L}$ ، منیزیم بین ۱۲ تا ۱۰۶,۸  $\text{mg/L}$ ، سدیم بین ۷۱,۳ و ۲۵۵۳  $\text{mg/L}$ ، TSS بین ۱۰ و ۸۴۰  $\text{mg/L}$ ، TDS بین ۳۱۳ و ۷۰۳۰  $\text{mg/L}$  و سختی کل بین ۶۶ و ۱۷۳۱  $\text{mg/L}$  بر حسب  $\text{CaCO}_3$  بوده است. همچنین در مورد غلظت عناصر مورد مطالعه در منابع آبی غلظت آلومینیوم بین ۶

تا ۱۶۳ ppb، آرسنیک بین ۰٫۹ تا ۱۳٫۷ ppb، بور بین ۱۴۵ تا ۲۹۱۰ ppb، باریم بین ۱۰٫۹ تا ۷۹٫۸۵ ppb، کروم بین کمتر از ۰٫۵ تا ۱۰۸٫۱ ppb، مس بین ۲٫۹ تا ۲۰٫۶ ppb، آهن بین کمتر از ۱۰ تا ۱۶۳۵ ppb، پتاسیم بین ۴۹۳ تا ۱۰۰۱۲ ppb، سرب بین کمتر از ۱ تا ۱۳٫۴ ppb، آنتیموان بین ۱٫۸۹ تا ۲٫۴۶ ppb، سیلیسیم بین ۷۶۴۵ تا ۱۹۲۴۰ ppb و روی بین ۱۳۲٫۶ تا ۴۵۷٫۲ ppb بوده است.

#### ۷-۴- بررسی همبستگی بین پارامترهای مختلف در آبها و سنگها

محاسبه همبستگی غلظت عناصر نشان داد که برخی از عناصر با یکدیگر همبستگی دارند. همبستگی Ca با S (+۰٫۸۸۴) در سنگ با حضور رگچه های ژئوسی فراوان در سطح زمین همراه است. همبستگی Ca با S (+۰٫۹۱۴) در آب را می توان به انحلال رگچه های ژئوسی حاضر در اغلب سنگها به ویژه سنگهای شدیداً دگرسان شده، نسبت داد. در سنگ Fe با Na (+۰٫۷۸۱)، K (+۰٫۹۰۱) و S (+۰٫۶۸) همبستگی مثبت دارد. این موضوع با حضور رگچه های ژاروسیتی در مقاطع سنگی همخوانی دارد. در حالی که در آب Fe با TSS (+۰٫۶۵) همبستگی مثبت دارد. از این رو می توان نتیجه گرفت انحلال ژاروسیت و دیگر ترکیبات آهن دار در نهایت باعث می شود تا بخشی از آهن به صورت ذرات معلق در آب ظاهر شوند. همچنین EC با Cl (+۰٫۹۶۸)، Na (+۰٫۹۰۴)، B (+۰٫۹۰۳)، Cr (+۰٫۹۸۵) و Si (+۰٫۶۸۴) همبستگی مثبت دارد. از این رو می توان نتیجه گرفت ادامه فرایند انحلال و دیگر برهمکنشهای بین آب و سنگ باعث افزایش غلظت EC و آنیونها و کاتیونها می شود و همچنین با افزایش عناصر دیگر (Si، Cr و B) نیز همراه است.

#### ۷-۵- تیپ و رخساره آب

تیپ آب در تمام قنوات و چشمه بیدخت و چاه کوشه سولفات و در چاههای دولت آباد و ولیعصر کلروره است. با این وجود بررسی توالی آنیونهای غالب نشان می دهد که در چشمه بیدخت و قناتهای

سورگ، یوش و رود کاج در بالا دست با وقوع کمترین مقادیر دگرسانی در سنگهای بالا دست آنها نسبت به دیگر نقاط،  $\text{HCO}_3^-$  فراوانترین آنیون بعد از سولفات است و در دیگر قنوات به دلیل وقوع دگرسانی بیشتر در سنگهای بالا دست  $\text{Cl}^-$  دومین آنیون غالب است. رخساره آنها در منابع آبی سدیک می باشد، به جز قنات بیدستان که رخساره کلسیک دارد.

#### ۷-۶- مقایسه کیفیت منابع آب در فصول خشک و تر

گرچه به طور کلی مجموع املاح حل شده در آب (TDS) در فصل تر نسبت به فصل خشک کاهش داشته است اما عناصر دیگر رفتار کاهشی یا افزایشی را نشان داده اند. در میان ۶ منبع آبی انتخابی غلظت سولفات،  $\text{CO}_3$ ،  $\text{Cr}$ ،  $\text{K}$ ،  $\text{Na}$  و  $\text{As}$  در فصل تر کاهش و غلظت  $\text{HCO}_3$ ،  $\text{Ca}$ ،  $\text{Mg}$ ،  $\text{TSS}$ ،  $\text{Zn}$ ،  $\text{TH}$ ،  $\text{Cu}$ ،  $\text{B}$ ،  $\text{Sb}$ ،  $\text{Pb}$ ،  $\text{Si}$  در فصل تر افزایش داشته است. افزایش مقدار آب و ورود آبهای غنی از  $\text{CO}_2$  محلول به آبهای زیرزمینی، جذب و آزادسازی عناصر از سنگ و عوامل مؤثر بر آن در نهایت باعث این تغییرات می شوند.

#### ۷-۷- بررسی برخی از شاخص های تأثیر دگرسانی بر آب زیرزمینی

دگرسانی رخ داده در سنگها باعث تغییر ماهیت کانیها و شیمی آنها شده است. تغییر در ترکیب سنگها باعث تغییر در ترکیب آنها می شود. از این رو تأثیرات دگرسانی بر کیفیت آنها باعث افزایش یا کاهش برخی از عناصر در آبهای زیرزمینی می شود. از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد: افزایش EC، TDS: در قناتهای متأثر از دگرسانی (بیدستان و دزوک) EC نسبت به قنوات مجاور خود بالاتر می باشد.

تیپ و رخساره غالب: در مناطق دگرسان شده همراه با وفور کانیهای ژئوپس در رگچه ها، تیپ و رخساره آبهای زیرزمینی بیشتر سولفات کلسیک است.

افزایش TSS: افزایش غلظت آهن در سنگ و ماهیت آرژیلیکی واحدهای دگرسان با بالا رفتن TSS و ایجاد رنگ و تشکیل رسوب بر بستر کانال قنات همراه است.

افزایش غلظت Al, Fe, S, K, Cu, Pb, Sb, B: در آبهای تغذیه شده توسط مناطق دگرسان عناصر نامبرده در جریان دگرسانی در سنگ به صورتهای قابل حمل در آب تبدیل شده و تماس آنها با آبهای زیرزمینی با انحلال آنها و افزایش غلظت آنها همراه است.

کاهش غلظت As, Ba, Cr: در آبهای تغذیه شده توسط مناطق دگرسان غلظت عناصر As, Ba, Cr در آبهای عبوری از مناطق دگرسانی به کمترین مقدار خود می‌رسد. As به دلایلی نظیر جذب سطحی در رسها و اکسیدها آهن در سنگها غنی شده و جذب سطحی مانع افزایش غلظت آن در آب می‌شود. در حالی که غلظت Ba, Cr در سنگهای دگرسان شده نیز کاهش قابل توجهی نشان می‌دهند و به دنبال آنها در آنها نیز مقدار آنها کاهش می‌یابد.

#### ۷-۸- بررسی مدل مفهومی توزیع عناصر بین سنگ و آب

بررسی مقاطع سنگی، نتایج آنالیز ICP-MS سنگها و مقایسه آنها با اندازه‌گیری غلظت آنیونها و کاتیونهای اصلی و غلظت عناصر اندازه‌گیری شده با روش ICP-MS در آنها حکایت از ارتباط معنی‌داری بین ژئوشیمی سنگ و کیفیت آنها دارد. مجموع این ارتباطات و واکنشهای مؤثر بر جابجایی عناصر بین آب و سنگ به صورت مدل مفهومی ارائه شده است. این مدل نشان می‌دهد که می‌توان ۳ محیط برای نگهداری عناصر تعیین کرد: ۱- منابع اولیه (شامل سنگها و کانیهای اولیه، سیالات هیدروترمالی عامل دگرسانی و کانه زایی احتمالی) ۲- محیطهای واسطه (شامل سولفاتهای اولیه حاصل از دگرسانی، کانیهای حاصل شده از دگرسانی نظیر رسها و یونهای آزاد شده از تخریب کانیها) ۳- محیطهای مقصد (شامل آب زیرزمینی، خاک و کانیهای ثانویه تشکیل شده در سطح)

در این مدل:

سیالات هیدروترمالی اسیدی غنی از سولفات باعث ورود سولفات به سنگ شده و همراه با هوازدگی سنگها باعث تخریب کانیهای اولیه می‌شوند. کانه زایی پراکنده نیز پس از اکسایش می‌تواند عامل ورود سولفات و دیگر عناصر (بسته به نوع و شدت کانه زایی) به آب می‌باشد. سولفاتهای اولیه (ژاروسیت و آلونیت) به همراه کانیهای رسی قادرند از طریق انحلال و واجذب و تبادل یونی، باعث افزایش غلظت سولفات و دیگر یونها در آب شوند. تغییرات غلظت یونهای دیگر و افزایش محلی برخی از یونها (نظیر Ca) با عمل تبادل یونی و جایگزین شدن با دیگر یونها (نظیر Na) در رسها باعث ورود و افزایش غلظت آنها به طور مثال Ca در آب می‌شود. عناصر آزاد شده از محیطهای واسطه در نهایت وارد آب زیرزمینی و خاک می‌شوند. تبخیر آب حاوی املاح در سطح زمین در فصل خشک باعث تشکیل کانیهای ثانویه می‌شود که بارش در فصل تر دوباره آنها را وارد آب و خاک می‌کند. تبادل یون و انحلال از جمله برهمکنشهای مهم بین آب و سنگ و عوامل جابجایی عناصر بین آب و سنگ می‌باشند.

۹-۷ پیشنهادات:

برای تعیین میزان تاثیر پذیری آبهای زیرزمینی از واحدهای دگرسان شده، مطالعه ایزوتوپی منابع آبی (زیرزمینی و سطحی) پیشنهاد می‌شود. همچنین به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از میزان تاثیرات احتمالی عناصر سنگین و دیگر املاح موجود بر آنها بر سلامتی مصرف کنندگان، بررسی این تاثیرات نیز پیشنهاد می‌شود.

# منابع

## منابع

- پوی ه.س.، روو د.ر.، چپانوگلاس ج.، (۱۳۸۶)، ترجمه "مهندسی محیط زیست"، جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، ص ۵۴۵.
- ابراهیمی خ. میرانوری ا.، همام م.، (۱۳۸۶)، "کانی شناسی کانسار کائولن یاسمینا با نگرشی بر دگرسانی منطقه"، پانزدهمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- استاندارد ۱۰۵۳ آب آشامیدنی ایران، (۱۳۷۱)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- افتخار نژاد ج.، (۱۳۵۹)، "تفکیک بخشهای مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه های رسوبی"، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص ۱۹-۲۸.
- امامی س.ن.، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بررسی های پترولوژیکی با تاکید بر پهنه های دگرسانی و ارزیابی آثار زیست محیطی آنها در سرزمین آتشفشانی شمال شهرکرد"، دانشگاه اصفهان.
- آقاباتعی ع.، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران ص ۵۸۳.
- باریک بین ب.، (۱۳۷۶) پایان نامه کارشناسی ارشد، بررسی وضعیت کیفی و کمی کروم در منابع آب آشامیدنی شهر بیرجند و ارائه راه حل مناسب حذف آن، دانشگاه تربیت مدرس.
- دریس ج.، خلیلی م.، باقری ه.، (۱۳۸۷)، "بررسی گروه های مختلف کانی ها در نهشته بوکسیت شهید نیلچیان با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)"، شانزدهمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه گیلان.
- رسا ا.، وثوقی عابدینی م.، محمدی س.س.، نخعی م.، (۱۳۸۴)، "دگرسانی آلونیتی به عنوان کلیدی جهت اکتشاف طلای اپی ترمال در زون دگرسانی شیخ آباد (کوه شاه-جنوب غرب بیرجند)"، دوازدهمین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران- دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ساریخانی ا.، پیروان ح.، قاسمی آ.، (۱۳۸۴)، "بررسی اثرات شیمیایی زونهای دگرسان شده بر پارامترهای مختلف شیمی آب در منطقه یوزباشی چای"، چهارمین همایش زمین شناسی و محیط زیست ایران.
- مرکز آمار ایران (۱۳۸۷)، استان خراسان جنوبی، بیرجند.



- شبانی ف.، کریم پور م.ح.، مظاهری س.ا.، ابراهیمی خ.، (۱۳۸۷)، "کانی شناسی، پتروگرافی، دگرسانی، ژئوشیمی و کانی سازی معدن کائولن همدی با نگرشی بر کانی سازی مس پورفیری، جنوب غرب سبزووار"، شانزدهمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه گیلان.
- طلایی ر.، پیروان ح.، (۱۳۸۵)، -الف، "تأثیر آذراواریه‌های مینرالیزه و دگرسان بر شیمی خاک از دیدگاه زیست محیطی"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- طلائی ر.، پیروان ح.، (۱۳۸۶)، -ب، "بررسی میزان آلودگی منابع آب و خاک منطقه شمال مشکین شهر در مناطق کانی سازی شده و دگرسان شده به عنصر مس"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز.
- طلائی ر.، پیروان ح.، (۱۳۸۶)، -ج، "بررسی نقش مناطق معدنی شمال مشکین شهر بر میزان آلودگی خاکها به عنصر آرسنیک"، دهمین کنگره علوم خاک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران - کرج.
- طلائی ر.، پیروان ح.، (۱۳۸۶)، "بررسی اثرات زیست محیطی آنتیموان در مناطق مینرالیزه شمال مشکین شهر"، پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، پژوهشکده سوانح طبیعی - تهران.
- طلایی ر.، پیروان ح.، عظیمی مطعم ف.، (۱۳۸۸)، "تأثیر آلودگیهای غیر متمرکز بر میزان آرسنیک محیط زیست در منطقه دوست بیگلو - شمال مشکین شهر"، ششمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- کریم پور م.ح. و سعادت س. (۱۳۸۵) "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات مشهد، ص ۳۴۵.
- گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت محدوده مطالعاتی مختاران، (۱۳۸۷)، شرکت آب منطقه ای خراسان جنوبی، دفتر مطالعات پایه منابع آب.
- مر ف.، شرفی ع.، (۱۳۷۳)، ترجمه، "اصول ژئوشیمی"، مرکز نشر دانشگاهی شیراز، ص ۴۳۵.
- ملک زاده شفاوردی آ.، کریم پور م.ح.، مظاهری س.ا.، حیدریان م.ر.، (۱۳۸۷)، "بارزسازی زونهای دگرسانی مرتبط با کانی سازی مس پورفیری و طلای اپی ترمال با استفاده از روشهای مختلف آنالیز مولفه های اصلی بر روی تصاویر ماهواره لندست ۷، جنوب غربی بیرجند"، شانزدهمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه گیلان.
- نبوی م.ح.، (۱۳۵۵)، "دبیاچه ای بر زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ص ۱۰۹.

- نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ بزاج، چاپ سازمان جغرافیایی ارتش.
- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مختاران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- Angel R.J., Gasparik T., Finger L.W., (1989), "Crystal structure of a Cr<sup>2+</sup>-bearing pyroxene", *American Mineralogist*, Vol. 74, pp 599-403.
- Appelo C.A.J., Postma D., (1994), " **Geochemistry groundwater and pollution**", Balkema, Rotterdam.
- Baba A., Gunduz O., (2009), " Effect of alteration zones on water quality: A case study from Biga peninsula, Turkey", **Environmental Contamination and Toxicology**, Vol. 58, No. 3, pp 499-513.
- Barenz H.L., (1979), "**Geochemistry of hydrothermal ore deposits**", 2nd edition, Wiley, New York , pp798.
- Bau M., Usui A., pracejus B., Mita N., Kanai Y., Irber W., Dulski P., (1998), "Geochemistry of low temperature water-rock interaction: evidence from natural waters, andesites and Iron-oxyhydroxides precipitates at Nishika-Numa iron spring, Hokaido, Japan", **Chemical Geology**, vol. 151, pp293-207.
- Benedtti M.F., Dia A., Riotte J., Chabaux F., Gerard M., boulegue J., Fritz B., Chauvel C., Bulourde M., Deruelle B., Ildefones P., (2003), "Cemical weathering of basaltic lava flows undergoing extreme climatic condition, The water geochemistry record", **Chemical Geology** Vol 201, pp1-17.
- Berberian M. and King G.C.P. (1981), "Toward a paleogeography and tectonic evolutin of Iran", **Canadian Journal of earth science**, vol. 18, No. 2, pp 210-265.
- Boiron M.C., Barakat A., Cathelineau M., Banks D.A., Durisova J., Moravek P., (2001), " Geometry and P-V-T-X condition of microfissural ore fluid migration: the Mokrsko gold deposit (Bohemia)", **Chemical geology**, vol. 173, pp 207-225.
- Bonham B.F., (1988), "Models or volcanic-hosted epithermal precious metals deposit", Bulk mineable precious metals deposits of the western united states, symposium proceedinds the geological society of Nevada, pp 259-271.
- Bautier M.D., Karpoff A.M., (1995), "Formation and evaluation of oceanic hydrothermal clay-minerals (mound from the Galapagos Spreading Center and sediments of the Juan-de-Fuca Ridge)", **Bulletin de la Societe Geologique de France**, vol 166, pp 123-136.
- Çelik, M., Karakaya, N., Temel, A., (1997). " Investigation economic importance and properties of kaolin and alunite, and non-metallic mineralizations vicinity of Giresun", **TUBİTAK, YDAÇAG-** pp 139, 172.
- Christidis G.E., (1998), " Comparative study of the mobility of major and trace elements during alteration of an andesites and a rhyolite to bentonite, in the Island of Milos and Kimolos, Aegean, Greece", **Clay and Clay minerals**, vol 46, pp 379-399.

- Colin B., (1995), " Environmental chemistry", Freeman and company.
- Elhatip H., Afsin M., Kuscı I., Dirik K., Kurmac Y., Kavurmacı M., (2003), "Influence of human activities and agricultural on groundwater quality of Kayseri- Incesu-Dokuzpinar springs, central Anatolian part of Turkey", **Environmental Geology**, vol. 44, pp 490-494.
- Environmental protection agency (EPA), (2010), "Drinking water standard", www.epa.gov.
- Evans C.D., Jenkins A., Wright R.F., (2000), "Surface water acidification in the south Pennines I. current status and spatial variability", **Environmental Pollution**, vol. 109, pp 11-20.
- Edward A., (1995), "Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models", Open-File Report 95-831, U.S. Geological survey, Colorado.
- Faure K., Matsuhisa Y., Metsugi H., Mizota C., Hayashi S., (2002), "The Hishikari Au-Ag epithermal deposit, Japan: oxygen and hydrogen isotope evidence in determining the source of pleohydrothermal fluids", **Economic geology and Bulletin of the Society of Economic Geologists**, vol. 97, pp 481-498.
- Freeze R.A., Cherry A.J., (1979) " **Groundwater**" Prentice-Hall, Inc.
- Gault A.G., Cooke D.R., Townsend A.T., Charnock J.M. Polya D.A., (2005), " Mechanisms of arsenic attenuation in acid mine drainage from Mount Bischoff, western Tasmania", **Science of The Total Environment**, Vol. 345, Issues 1-3, pp. 219-228.
- Gislason S.R., Arnorsson S., Arnannsson H., (1996), "Chemical weathering of basalt in southwest Iceland: effect of runoff, age of rocks and vegetation/glacial cover", **American journal of Science**, vol 296, pp 837-907.
- Goddard J.V., Evans J.P., (1995), "Chemical changes and fluid-rock interaction in faults of crystalline thrust sheets, Northwestern Wyoming , USA", **Journal of Structural Geology**, vol 17, pp 533-547.
- Gonfiantini R., Pennisi M., (2006), "The behaviour of boron isotopes in natural waters and in water-rock interaction", **Journal of Geochemical Exploration**, Vol. 88, pp 114-117.
- Grasby S.E., Hutcheon I., Krouse H. R., (2000), "The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in western Canada", **Applied Geochemistry**, vol. 15, No. 4, pp439-454.
- Hemley J.J., Hostetler, P.B., Gude A.J., (1969), "Some stability relation of alunite", **Economic Geology**, Vol. 64, pp 599-612.
- Herman J.S., Mills A.L., Cozarelli I.M., (2000), "Alteration of Reactive Mineral Surfaces by groundwater", Proceeding of workshop on monitoring oxidatio-reduction processes for grounwater erstration, pp 39-42.
- Holmstrom, H. and Ohlander, B. (2001), "Layers rich in Fe- and Mn-oxyhydroxides formed at the tailings-pond water interface, a possible trap for trace metals in flooded mine tailings". **Journal of Geochemical Exploration**, vol. 74, pp189-203
- Hounslow A.W., Goff K.D., (1994), "WATEVAL program, ver 8.10", Geology Department- Oklahoma State university.

- Hounslow A.W., (1995), " **Water quality data, analysis and interpretation**", CRC press, p 355.
- Ikhsan J., Johnson B.J., Wells J.D., (1999), " A Comparative Study of the Adsorption of Transition Metals on Kaolinite", **Journal of Colloid and Interface Science**, Vol. 217, Issue 2, pp 403-410.
- James R.O., Healy T.W., (1972), "Adsorption of hydrolyzable metal ions at the oxide-water interface. III. A thermodynamic model of adsorption", **Journal of Colloid and Interface Science**, Vol. 40, Issue 1, pp 65-81.
- Jamieson H.E., Robinson C., Alpers C.N., Nordstrom D.K., Poustoveot A., Lowers H.A., (2005), " The composition of coexisting jarosite-group minerals and water from the Richmond mine, Iron Mountain, California", **The Canadian Mineralogist**, Vol. 43, pp. 1225-1242
- Karakaya N., Karakaya M.C., Nalbantilar, Yavuz F., (2007), "Relation between spring-water chemistry an hydrothermal alteration in the Saplica volcanic rocks, Sebinkarahisar (Giresun, Turkey)", **Journal of Geochemical Exploration**, Vol. 93, pp 35-46.
- Karimpour M.H., and Bowes W.W., (1983), "Application of trace elements and isotopes for disriminating between porphyry Molybdenum, Copper, and Tin systems and the implication for predicting the grade", **Global Tectonics and Metallogeny**, Vol. 2, No. 12, pp 29-36.
- Lecuyer C., Grandjean P., Martineau F., (1995), "Seawater-sediment-basalt interaction- stable isotope (H,O) and element fluxes within the Ordovician volcano- sedimentary sequence of Erguy (Brittany, France)", **Contributions to Mineralogy and Petrology** Vol. 120, pp 249-264.
- Lekhov A.V., Shvarov Y.V., Shvarov O.Y., (2002), "Interpretation of the results of a field expriment on radionuclide migration in groudwater", **Geochemistry International**, vol.40,pp 125-131.
- McGregor R.G., Blowes D.W., Jambor J.L., Robertson W.D., (1998), " The solid-phase controls on the mobility of heavy metals at the Copper Cliff tailings area, Sudbury, Ontario, Canada", **Journal of Contaminant Hydrology**, Vol. 33, Issues 3-4, pp 247-271.
- McLean J.E., Bledsoe B.E.,(1992), "Behavior of Metals in Soils," Ground Water Issue.U.S. EPA. EPA, vol. 540, S-92/018.
- Miller J.R., Houdson-Edwards K.A., Lechler P.J., Preston D. and Macklin M.G. (2004) "Heavy Metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Rio Plicomayo basin, Bolivia" , **Science of the Total Environment**, Vol. 32 Issues 2-3.
- Myoung J.K., Jerome Nriagu J., Haack S., (2002), " Arsenic species and chemistry in groundwater of southeast Michigan", **Environmental Pollution**, Vol. 120, Issue 2, pp 379-390.
- Newman J., Mitra G.,(1993), "Lateral variation in mylonite zone thickness as influenced by fluid-rock interactions, Linville Falls fault North Carolina", **Journal of Structural Geology**, vol. 15, pp 849-863.
- Nordberg G.F., Fowler B.A., Nordberg M., Friberg L., (2005) "Handbook on the Toxicology of the Metals" **European Environmental Agency**, 969 p.

- Nordstrom D.K., McCleskey R.B., (2006), " Mineral solubility and weathering rate constraints on metal concentrations in groundwaters of mineralized areas near Questa, New Mexico", presented at the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), March 26-30, 2006, St. Louis MO. R.I.
- Onishi, H., (1969), "**Arsenic: Wedepohl KH ed. Handbook of Geochemistry**", New York, Springer, Vol. II-2
- Parkhurst D.L., Appelo C.A.J., (1999), " User's guide to PHREEQC (version 2) a computer program for speciation, batch reaction, one dimensional transport and inverse geochemical calculation", U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Colorado, p 326.
- Perhac R.M., (1972), " Distribution of Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in dissolved and particulate solids from two streams in Tennessee", **Journal of Hydrology**, Vol 15, Issue 3, pp 177-186.
- Perkins R.A., (1973), "Trace metal geochemistry and hydrothermal alteration of three Molybdenum bearing stocks, Gunnison and Pitkin Counties, Colorado", MSc thesis, Oklahoma state university, pp79.
- Pirajno F., (2009), "**Hydrothermal Processes and Mineral Systems**", Springer, Berlin, Germany, pp. 1250.
- Polizzotto, M.L., Harvey, D.C., Sutton, S.R., and Fendorf, S., (2005), "Processes conducive to the Release and Transport of Arsenic into Aquifers of Bangladesh", PNAS vol. 102, pp. 18819-18823.
- Probst A., Mari E., Aubert A., Fritz B., McNutt B., (2000), Strontium as a tracer of weathering processes in a silicate catchment polluted by acid atmospheric inputs, Strengbach, France", **Chemical geology**, vol. 170, pp 203-219.
- Quinn T.M., (1991), Meteoric diagenesis of plioleistocene limestones at Enewetak atoll", **Journal of Sedimentary Petrology**, Vol. 61, pp 681-703.
- Reed B.L., (1987), " Descriptive model of Sn Griesen deposits", Mineral deposits model, united states Geological survey Bull, 1963, pp 70-71.
- Rey, R.O., Bethke, P.M., and Wasserman, M.D., (1992), "The stable isotope geochemistry of acid sulfate alteration", **Economic Geology**, vol.87, No.2, pp 225-262.
- Rieuwerts J.S., Ashmore M.R., Farago M.E. , Thornton I., (2006), " The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils", **Science of The Total Environment**, Vol. 366, Issues 2-3, pp 864-875.
- Roberts M.D., Oliver N.H.S., Fairclough M.C., Holta P.S., Lahtinen R., (2003), " Geochemical and oxygen isotope signature of sea floor alteration associated with a polydeformed and highly metamorphosed massive sulfide deposit, Roustesuo, central Finland", **Economic Geologists**, vol 98, pp 535-556.
- Rolland Y., Cox S., Boullier A.M., Pennacchioni G., Mancktelow N., (2003), " Rare earth and trace element mobility in mid- crustal shear zone insights from the Mont Balnc Massif (western Alps)", **Earth and planetary Science Letters**, vol 214, pp 203-219.

- Romero F.M., Armienta M.A.,Gonzalez-Hernandez G., (2007), "Solid-phase control on the mobility of potentially toxic elements in an abandoned lead/zinc mine tailings impoundment, Taxco,Mexico", **Applied Geochemistry**, vol. 22, pp 109–127.
- Roussel C, Néel C, Bril H., (2000), " Minerals controlling arsenic and lead solubility in an abandoned gold mine tailings", **Science of Total Environment**, vol. 18;No.263(1-3), pp.209-19.
- Sanjuan B., Mossman J.R., Merceron T., (1994), " Modelling boom clay formation porewater chemistry: ion exchange versus dissolution precipitation mechanisms", **Goldschmidt conference Edinburgh**, pp801-802.
- Sares M.A.Kurtz J.P., Bove D.J., Neubert J., (2006), " Natural acid rock drainage associated with hydrothermally altered terrain in Colorado", presented at the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), St. Louis O. R.I. Barnhisel.
- Savage K.S., Bird D.K., Ashley R.P., (2002), "Legacy of the California Gold Rush: Environmental Geochemistry of arsenic in southern Mother Lode Gold District", **International Geology Review**, vol. 42, pp385-415.
- Smedley P.L., (1996), " Arsenic in rural groundwater in Ghana: Part special issue: Hydrogeochemical studies in sub-saharan Africa", **Journal of African Earth Sciences**, Vol. 22, Issue 4, pp 459-470.
- Smith A.M.L, Hudson-Edwards K.A.,WilliamE. Dubbin W.E.,Wright K., (2006), "Dissolution of jarosite  $[KFe_3(SO_4)_2(OH)_6]$  at pH 2 and 8:Insights from batch experiments and computational modeling", **Geochimica et Cosmochimica Acta** Vol.70, pp 608–621 .
- Spark K.M. and Swift R.S., (2002), " Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption", **The Science of The Total Environment**, Vol. 298, Issues 1-3, pp 147-161.
- Stoklin J., Nabavi M.H.,(1973), "**Tectonic map of Iran**", Geological Survey of Iran.
- Takeno N., (2005), "Atlas of Eh-pH diagram", geological survey of japan open file report, No 419.
- Tamasi G., Cini R., (2004), "Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy): Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena", **Science of the Total Environment**, Vol.327, pp 41–51.
- Techera I.,Rousset D.,Clauerb N., Joël Lancelota J., Boisson J., (2006), "Chemical and isotopic characterization of water–rock interactions in shales induced by the intrusion of a basaltic dike: A natural analogue for radioactive waste disposal", **Applied Geochemistry** Vol.21, Issue 2, pp 203-222.
- Turpault M.P., Berger G., Menunier A., (1992), " Dissolution-precipitation processes induced by hot water in a fractured granite. I : Wall-rock alteration and vein deposition processes", **European Journal of Mineralogy**, vol. 4, No6, pp 1457-1475
- Vartanyan G.S., Krainov S.R., Kulikov G.V.,(1984), " Simulation of physicochemical interactions in a water-rock system in assessing groundwater quality", Proceeding of a symposium held at uppsala.

- von Huene R., Scholl D.W., (1991), "Observations at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and growth of continental crust", **Reviews of Geophysics**, vol. 29/3, pp 279-313.
- World Health Organization (WHO),(2008), "Drinking water standard", www.WHO.int..
- Wright W. and Simon W., (2003), " Effects of Hydrothermal alteration and historical mines on the Distribution of pH values and dissolved trace metal concentrations in streams of the upper Animas River Watershed, southwestern Colorado", **Geological Society of America**, vol. 35, No. 5, p33.
- Yong R.N. and Warkentin B.P., (1975), " **Soil Properties and behaviour**", Elsevier scientific publishing company, Amsterdam"
- Zulanf G., Palm S., Petschick R., Spies O., (1999), "Element mobility and volumetric strain in brittle and brittle-viscous shearing zones of the superdeep well KTB (Germany)", **Chemical Geology**, vol. 156, pp 135-149.

## **Abstract**

Bedrocks and minerals in the groundwater path as well as alterations in rocks are important parameters in the water quality. Water-rock interactions change the concentrations of elements and the quality of water. By increasing the concentration of the elements beyond the standard limits, consumption of water by human and other living organisms cause health problems and environmental impacts. The present research aimed to evaluate the groundwater quality in southern band of Mokhtaran Plain, south of Birjand, as well as assessment of its controlling parameters. Following the collection of available data, field studies, and selection of sampling locations, water samples were collected in two stages, 6 sources in October 2008 (at the end of dry season) and 12 sources in June 2009 (at the end of wet season). Soil and rock samples were also collected from the field. 19 thin sections from the rocks, 13 rock samples for ICP-MS analysis and 18 water samples for measuring cations and anions concentrations and ICP-MS analysis were chosen. According to the environmental priorities and the geological conditions of the region, 12 elements namely: Al, As, B, Ba, Cr, Cu, Fe, K, Pb, Sb, Si, and Zn were selected for further studies. The geological investigations of the area show the presence of volcanic rocks (andesites) and volcanoclastic rocks (tuffs). Based on the intensity of alteration in rocks, they were classified in three groups: Group I (weak alteration), Group II (high alteration), and Group III (soils and sediments). Chemical analyses show that in high altered rocks (Group II), Pb, K, and Fe have the highest concentrations while Al, Ba, Cr, Cu, Sb, Zn have the lowest concentrations. Chemical analyses on the water samples and the map of the concentration distribution of the elements, anions and cations, and other parameters show that the alteration causes the increment of the total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), and the concentrations of Al, Fe, K, Cu, Pb, Sb, B, Ca, and  $\text{SO}_4^{2-}$  and decrement in the concentration of Cr, Ba, and As in water samples. High correlation between the parameters is an evidence of similarity in their geochemical behavior. The highest correlations are calculated between Ca with  $\text{SO}_4^{2-}$  (+0.914), Mg with Si (+0.800), B with TDS (+0.973), B with Cl (+0.967) and B with Na (+0.994) in water and Ca with Sr (+0.884) and Fe with K (+0.901) in rocks. Calculation of metal index (MI) for water resources indicates that Bidokht Spring and Roode Kaj, Yoush, and Bidestan qanats, as well as Kooshe, Valiasr, and Doulatabad wells have MI bigger than 1. Montmorillonite, Kaolinite, Hematite, Goethite, and iron



hydroxides are among the minerals in water resources with the saturation index (SI) bigger than zero and thus with high probability of sedimentation. Alteration has caused the augmentation in variation of SI for some minerals in water resources. In accordance with geological, petrological, and geochemical studies, element distribution map in water resources, correlation table of elements in water and rock, and SI diagram, a conceptual model was developed to interpret the water-rock interaction and transportation and transformation of the elements from intermediate media into the water. In this model, elements from the primary media including primary rocks, altered rocks by hydrothermal fluids, and possible mineralization enters into the intermediate media through weathering, and other chemical reactions. Finally, by washing and reactions such as solution, ion exchange, and desorption these elements appear in water resources. In the case of saturation in the solution by the elements and ions, sedimentation occurs and elements are extracted from the liquid phase.

**Key Words: groundwater resources – geochemistry - alteration-water - rock interactions - conceptual model**



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Earth Science**

**Investigation on groundwater pollution in Mokhtaran  
plain (north of Kuh-Shah, south of Birjand) based on  
geochemistry of the region**

**by**

**Gholamreza Savabi**

**Supervisor**

**Dr. B. Dahrazma**

**Advisor**

**Dr. K. Ebrahimi nasrabadi**