



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی ژئوشیمیایی آلودگی در منابع آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند

سیده ملیحه موسوی

استاد راهنما:

دکتر بهناز دهر آزما

اساتید مشاور:

دکتر محمد حسین زرین کوب

دکتر محمد رضا دوستی

تیرماه ۱۳۹۰

تقدیرت کم عیار تقدیرم به:

پدر مهربانم،

مادر فداکارم،

دلسوزترین مدرسان مکتب زندگانیم،

وتقدیرم به خواهر و برادرانم،

بهترین یاران زندگانیم.

تشکر و قدردانی

الهی نام تو ما را جواز و مهر تو ما را جهاز

الهی شاد بدانیم که اول تو بودی و ما نبودیم، کار تو گرفتی و ما نگرفتیم

زندگی را آموختن تلاش می طلبد و دانش را اندوختن، جستن. خداوند منان را شاکرم که فرصت تلاش و جستن دانش را برایم مهیا نمود. از اولین معلمان زندگیم، پدر گرانقدر و مادر مهربانم که همواره با صبر و بزرگواری راهنمایم در مسیر پر فراز و نشیب زندگی بوده اند، کمال سپاس و تشکر را دارم.

برخود لازم می دانم از زحمات اساتید و تمامی دوستانم که در انجام و به ثمر رساندن این تحقیق مرا یاری نموده اند، تشکر و قدردانی کنم. ابتدا از زحمات بی شائبه و راهنمائیهای مستمر استاد عزیز و مهربانم سرکارخانم دکتر بهناز دهرآزما سپاسگزاری نموده و برای ایشان موفقیت های روزافزون را آرزومندم. از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمدحسین زرین کوب که در انجام این پایان نامه از مشاوره های ارزشمند ایشان بهره مند شده ام، کمال تشکر را دارم. همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدرضا دوستی که نکات با ارزشی را در حین انجام پایان نامه به اینجانب گوشزد کردند، قدردانی می کنم.

از شرکت آب منطقه ای استان خراسان جنوبی به خاطر حمایت مالی از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی و به خصوص مسئولین و کارشناسان محترم این سازمان جناب آقای مهندس امامی، جناب آقای مهندس اعتباری و سرکارخانم مهندس شهابی فر به خاطر کمک های بی دریغشان نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از کلیه اساتید محترم دانشکده علوم زمین که همواره راهبر اینجانب در راستای علم آموزی و دانش بوده اند، تشکر می کنم. از جناب آقای دکتر دولتی از دانشکده معدن و ژئوفیزیک و جناب آقای دکتر گودرزی، مهندس کلی از دانشکده شیمی و کارشناسان محترم دانشکده علوم زمین، خانمها مهندس سعیدی و مهندس فارسی و آقایان مهندس خانعلی زاده و مهندس میرباقری کمال تشکر را دارم.

در نهایت از دوستان خوبم در گروه زمین شناسی زیست محیطی، آقایان، ثوابی، بسکابادی، گراوند و خانمها ندائی، حسونند و حیدریان و دیگر دوستانم مهندس مصطفی رهیده، دانشکده برق که مرا در تکمیل پایان نامه کمک و یاری رسانده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و برای همه این عزیزان آرزوی موفقیت و سربلندی دارم.

چکیده

فلزات سنگین از مهمترین آلاینده‌های محیط زیست در هر سه فاز خاک، آب و هوا می‌باشند. این تحقیق با هدف بررسی ژئوشیمیایی عناصر آلاینده در منابع آب زیرزمینی در بخشی از جنوب دشت بیرجند و تعیین منشاء احتمالی آلودگی با تاکید ویژه بر سنگ‌شناسی و ژئوشیمی منطقه صورت پذیرفته است. بدین منظور پس از جمع‌آوری اطلاعات و مشاهدات صحرایی و انتخاب محل‌های مناسب، از آب طی دو مرحله، ۲۷ منبع آب در اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ (انتهای فصل تر) و ۳۰ منبع آب در مهرماه ۱۳۸۹ (انتهای فصل خشک) نمونه‌گیری گردید. غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها با روش‌های استاندارد و غلظت عناصر به روش ICP-MS در نمونه‌های آب اندازه‌گیری گردید. از رسوبات و سنگ‌های منطقه نیز نمونه‌برداری صورت گرفت. ۱۸ نمونه سنگی جهت تهیه مقاطع نازک و ۲۵ نمونه رسوب جهت آنالیز ICP-MS برداشت شدند. مطالعات سنگ‌شناسی منطقه حاکی از حضور توالی افیولیتی می‌باشد. مجموعه سنگ‌های اولترامافیک و همچنین گدازه‌های بازیک (اسپیلیت‌ها) با گسترش نسبتاً زیاد در ارتفاعات جنوب دشت بیرجند قرار دارند که بیشترین تاثیر را بر کیفیت آب منطقه داشته‌اند. لیستونیت‌ها منشاء بیشتر عناصر مورد بررسی در منطقه از جمله Pb ، Cu ، Zn ، B ، As ، Au ، Ag ، Ni ، Cr ، Fe ، Ba ، Mg ، K ، Ca و Cl می‌باشند. محاسبه فاکتور غنی‌شدگی نشان می‌دهد که رسوبات منطقه نسبت به Ni غنی‌شدگی شدید و نسبت به As ، Cr و Cu غنی‌شدگی نسبتاً شدید و نسبت به Zn ، Pb و Mg غنی‌شدگی متوسط نشان می‌دهند. محاسبه درجه آلودگی عناصر در رسوبات نشان‌دهنده آلودگی اندک در بیشتر رسوبات منطقه هستند. نتایج بررسی کیفیت منابع آب معلوم می‌سازد که بیش از ۸۰٪ از منابع آب به Cr و B و ۵۰٪ آنها به Mg آلوده می‌باشند. همچنین مقادیر Na ، Cl و TDS در برخی از منابع آب بیش از حد مجاز هستند. بالاترین همبستگی‌ها در منابع آب بین Pb و B (+۰/۹۴۳)، Mg با Ca (+۰/۶۱۴) و Na با Cl (+۰/۷۱۳) محاسبه شده است. MI نیز برای تمامی منابع آب به جزء چشمه بالاتر از یک بدست آمد که نشان‌دهنده آلودگی تمامی منابع آب در منطقه می‌باشد. با توجه به آلودگی منابع آب به Cr و مزیت‌هایی که روش‌های بیولوژیک در حذف فلزات سنگین از آب دارند، در این تحقیق برای اولین بار در جهان از هسته پودر شده میوه عناب به عنوان یک ماده جاذب، جهت حذف کروم VI از محلول استفاده شد. عملکرد پودر هسته میوه عناب در دمای اتاق برای ۵ فاکتور pH، زمان، اندازه ذرات، نسبت جاذب به محلول و غلظت کروم در محلول بهینه سازی گردید. نتایج نشان‌دهنده عملکرد و قابلیت بالای پودر هسته میوه عناب در جذب کروم از محلول (۹۵٪ تا ۱۰۰٪) در شرایط بهینه می‌باشد.

کلمات کلیدی: ژئوشیمی، آلودگی، منابع آب، کروم، هسته میوه عناب، جنوب دشت بیرجند.

مقالات مستخرج از پایانامه

- موسوی س. م، دهرآزما ب، زرین کوب م. ح، دوستی، م. ر، (۱۳۸۹)، " بررسی کیفیت آب زیرزمینی با مصرف شرب در جنوب دشت بیرجند"، چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- موسوی س. م، دهرآزما ب، (۱۳۸۹)، "ارزیابی کیفیت آب چاههای کشاورزی در جنوب دشت بیرجند"، دومین دوره همایش منطقه‌ای ایده‌های نوین در کشاورزی پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، صفحه ۱۱۵-۱۱۰.

مقاله ارسال شده برای داوری

- موسوی س. م، دهرآزما ب، زرین کوب م. ح، (۱۳۹۰)، "بررسی آلودگی عناصر Cr, B, As و Pb در منابع آب زیرزمینی آشامیدنی جنوب دشت بیرجند"، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

اختراع ثبت شده

- دهرآزما ب، موسوی س. م، (۱۳۸۹)، "حذف کروم VI از محلول آبی با استفاده از هسته میوه عناب گونه *Ziziphus ziziphus*"، اداره کل ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی، شماره ثبت اختراع: ۶۸۱۹۵ مورخ ۱۳/۱۰/۱۳۸۹.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول : کلیات
۱-۱-۱	مقدمه
۱-۲-۱	بیان مسئله
۱-۳-۱	موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
۱-۴-۱	آب و هوا و اقلیم منطقه
۱-۴-۱-۱	وضعیت بارش
۱-۴-۱-۲	وضعیت باد
۱-۵-۱	ژئومورفولوژی
۱-۶-۱	آبخوان بیرجند
۱-۷-۱	ضرورت انجام تحقیق
۱-۸-۱	اهداف مطالعه
۱-۹-۱	روش انجام تحقیق
۱-۱۰-۱	ساختار پایان نامه
۱۱	فصل دوم : زمین شناسی منطقه
۱-۲	مقدمه
۲-۲	زمین شناسی منطقه‌ای
۳-۲	زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه
۴-۲	زمین شناسی اقتصادی منطقه
۲۴	فصل سوم : مروری بر مطالعات پیشین
۱-۳	مقدمه
۲-۳	کیفیت آبها
۱-۲-۳	بررسی کاتیونها و آنیونها در منابع آب زیرزمینی
۲-۲-۳	بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی
۳-۲-۳	ارتباط کیفیت آب زیرزمینی با شرایط زمین شناسی
۳-۳	بررسی غلظت فلزات در رسوبات
۴-۳	عوامل مؤثر در انتقال فلزات سنگین در آب و رسوبات
۱-۴-۳	کانه زایی و دگرسانی
۲-۴-۳	انحلالپذیری
۳-۴-۳	جذب و واجذب
۴-۴-۳	پتانسیل یونی
۵-۳	حذف کروم
۶-۳	مطالعات انجام گرفته در منطقه مورد مطالعه

۳۵	..... ۱-۶-۳ زمین شناسی
۳۶	..... ۲-۶-۳ هیدروژئوشیمی

۳۸ فصل چهارم : مواد و روشها.....

۳۹	..... ۱-۴ کلیات
۳۹	..... ۲-۴ نمونه برداری
۳۹	..... ۱-۲-۴ نمونه برداری آب
۴۰	..... ۲-۲-۴ نمونه برداری رسوب
۴۶	..... ۳-۴ آنالیز نمونه ها
۴۶	..... ۱-۳-۴ تعیین pH آب
۴۶	..... ۲-۳-۴ تعیین pH رسوبات
۴۶	..... ۳-۳-۴ تعیین EC آب
۴۶	..... ۴-۳-۴ تعیین برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب
۴۶	..... ۵-۳-۴ آنالیز ICP-MS نمونه های آب و رسوبات

۴۸ فصل پنجم: ژئوشیمی رسوبات و ارتباط آنها با سنگهای منطقه.....

۴۹	..... ۱-۵ مقدمه
۴۹	..... ۲-۵ بررسی همبستگی عناصر در رسوبات آبراههای منطقه
۵۳	..... ۳-۵ بررسی تغییرات PH در نمونههای رسوب
۵۳	..... ۴-۵ بررسی غلظت عناصر در نمونههای رسوب
۵۳	..... ۱-۴-۵ مس
۵۴	..... ۲-۴-۵ سرب
۵۵	..... ۳-۴-۵ روی
۵۶	..... ۴-۴-۵ نقره
۵۷	..... ۵-۴-۵ نیکل
۵۸	..... ۶-۴-۵ آرسنیک
۵۹	..... ۷-۴-۵ طلا
۶۰	..... ۸-۴-۵ کروم
۶۰	..... ۹-۴-۵ باریم
۶۲	..... ۱۰-۴-۵ گالیم
۶۳	..... ۱۱-۴-۵ آلومینیم
۶۴	..... ۱۲-۴-۵ منیزیم
۶۵	..... ۱۳-۴-۵ سدیم
۶۶	..... ۱۴-۴-۵ پتاسیم
۶۷	..... ۱۵-۴-۵ آهن
۶۸	..... ۱۶-۴-۵ کلسیم
۶۹	..... ۵-۵ محاسبه اندیس تجمع زمین (I_{GEO}) در رسوبات منطقه
۷۲	..... ۶-۵ محاسبه فاکتور غنی شدگی (EF) در رسوبات منطقه

۷۴	..... ۷-۵- فاکتور آلودگی (CF) در رسوبات منطقه
۷۵	..... ۹-۵- درجه آلودگی (C _D) در رسوبات منطقه

۷۸ فصل ششم: بررسی کیفیت و هیدروشیمی منابع آب در منطقه مورد مطالعه

۷۹	..... ۱-۶- مقدمه
۷۹	..... ۲-۶- بررسی همبستگی پارامترها در منابع آب
۸۵	..... ۳-۶- بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در منابع آب منطقه
۸۵	..... ۱-۳-۶- تغییرات TDS (غلظت املاح حل شده) و EC (هدایت الکتریکی)
۸۶	..... ۲-۳-۶- تغییرات TSS (مجموع ذرات معلق در آب) و تغییرات TH (سختی کل)
۸۸	..... ۳-۳-۶- تغییرات pH
۸۹	..... ۴-۶- تغییرات غلظت آنیونها و کاتیونها
۸۹	..... ۱-۴-۶- تغییرات غلظت کلسیم
۹۰	..... ۲-۴-۶- تغییرات غلظت منیزیم
۹۱	..... ۳-۴-۶- تغییرات غلظت سدیم
۹۲	..... ۴-۴-۶- تغییرات غلظت پتاسیم
۹۳	..... ۵-۴-۶- تغییرات غلظت بی کربنات
۹۴	..... ۶-۴-۶- تغییرات غلظت سولفات
۹۵	..... ۷-۴-۶- تغییرات غلظت کلر
۹۶	..... ۵-۶- تعیین تیپ و رخساره آب
.....	..... ۶-۶- بررسی غلظت عناصر در منابع آب منطقه
۱۰۳	..... ۱-۶-۶- نیکل
۱۰۳	..... ۲-۶-۶- آرسنیک
۱۰۴	..... ۳-۶-۶- مس
۱۰۶	..... ۴-۶-۶- روی
۱۰۷	..... ۵-۶-۶- بروم
۱۰۹	..... ۶-۶-۶- آلومینیم
۱۱۰	..... ۷-۶-۶- آهن
۱۱۱	..... ۸-۶-۶- سرب
۱۱۳	..... ۹-۶-۶- باریم
۱۱۴	..... ۱۰-۶-۶- بور
۱۱۶	..... ۱۱-۶-۶- کروم
۱۱۸	..... ۱۲-۶-۶- سیلیسیم
۱۱۹	..... ۷-۶- مقایسه غلظت عناصر در فصل تر و خشک
۱۲۱	..... ۸-۶- بررسی شاخص فلزی (MI) در منابع آب
۱۲۴	..... ۹-۶- تعادل جرمی
۱۲۵	.....

۱۳۰ فصل هفتم: حذف کروم از محلول آبی حاوی کروم VI

۱۳۱	.....	۱-۷- مقدمه
۱۳۳	.....	۲-۷- بهینه سازی اندازه ذرات
۱۳۴	.....	۳-۷- بهینه سازی PH
۱۳۵	.....	۴-۷- بهینه سازی نسبت جرم جاذب به حجم محلول
۱۳۶	.....	۵-۷- بهینه سازی زمان
۱۳۸	.....	۶-۷- بهینه سازی غلظت کروم
۱۳۹	.....	۷-۷- جمع بندی شرایط بهینه برای زدودن کروم

۱۴۰..... فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۴۱	.....	۱-۸- مقدمه
۱۴۱	.....	۲-۸- نتیجه گیری بخش زمین شناسی و ژئوشیمی رسوبات منطقه
۱۴۳	.....	۳-۸- نتیجه گیری بخش کیفیت آب
۱۴۴	.....	۴-۸- نتیجه گیری بخش حذف کروم از محلول آبی
۱۴۵	.....	۵-۸- پیشنهادات

۱۴۶..... منابع

۱۴۶	.....	منابع فارسی
۱۵۰	.....	منابع لاتین

لیست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (سایت جامع راهنمای ایران-۱۳۸۸). ۴
- شکل ۱-۲- مورفولوژی بخش‌های مختلف جنوب دشت بیرجند-عکس هوایی ۶
- شکل ۱-۳- نقشه آبراهه‌های اصلی -جنوب دشت بیرجند-محدوده مورد مطالعه ۷
- شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه. ۱۲
- شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۱۴
- شکل ۲-۳- توده‌های سرپانتینی شده در منطقه مورد مطالعه ۱۵
- شکل ۲-۴- توده‌های سرپانتینی و لیستونیتی در منطقه مورد مطالعه ۱۵
- شکل ۲-۵- حضور کانیه‌های پیروکسن و اولیوین در پریدوتیت ۱۶
- شکل ۲-۶- حضور کانی‌های اپک (کروم اسپینل) در پریدوتیت ۱۶
- شکل ۲-۷- سرپانتینی شدن اولیوین در پریدوتیت ۱۶
- شکل ۲-۸- حضور رگه‌های آهن در پریدوتیت ۱۶
- شکل ۲-۹- تجمع کانیه‌های پیروکسن و اولیوین در پریدوتیت ۱۶
- شکل ۲-۱۰- حضور کانی‌های اپک (کروم اسپینل) در پریدوتیت ۱۶
- شکل ۲-۱۱- گابرو، سرپانتین شدن کانیه‌های پیروکسن در گابرو ۱۷
- شکل ۲-۱۲- گابرو، دگرسانی سرپانتینی شدن ۱۷
- شکل ۲-۱۳- حضور کانی‌های اولیوین با زمینه میکروگرانولار در اسپیلیت ۱۸
- شکل ۲-۱۴- دگرسانی کانیه‌های اولیوین و پیروکسن در اسپیلیت ۱۸
- شکل ۲-۱۵- سنگ آهک فسیل دار در محدوده مورد مطالعه ۱۸
- شکل ۲-۱۶- سنگ آهک فسیل دار ۱۹
- شکل ۲-۱۷- سنگ آهک فسیل دار ۱۹
- شکل ۲-۱۸- سنگ آهک فسیل دار حاوی رگه‌های آهن ۱۹
- شکل ۲-۱۹- سنگ آهک فسیل دار ۱۹
- شکل ۲-۲۰- ماسه سنگ ۲۰
- شکل ۲-۲۱- حضور رگه‌های کربناته در لیستونیت کربناته ۲۰

- شکل ۲-۲۲- فیلیت ۲۰
- شکل ۲-۲۳- فیلیت و حضور رگه های آهن ۲۰
- شکل ۲-۲۴- شیلهای فلیشی بصورت لایه ای در محدوده مورد مطالعه ۲۰
- شکل ۲-۲۵- رسوبات آبرفتی جنوب دشت بیرجند ۲۱
- شکل ۲-۲۶- رسوبات آبرفتی جنوب دشت بیرجند ۲۱
- شکل ۲-۲۷- نقشه گسلهای منطقه مورد مطالعه ۲۲
- شکل ۲-۲۸- وجود درزه و شکستگیها در منطقه مورد مطالعه ۲۲
- شکل ۴-۱- محللهای نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه ۴۱
- شکل ۴-۲- محللهای نمونه برداری از رسوبات آبراهه ای در محدوده مورد مطالعه ۴۲
- شکل ۴-۳- محللهای نمونه برداری سنگ در محدوده مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۵-۱- پراکنش pH در نمونه های رسوب ۵۳
- شکل ۵-۳- پراکنش غلظت عنصر Cu در نمونه های رسوب ۵۴
- شکل ۵-۴- پراکنش غلظت عنصر Pb در نمونه های رسوب ۵۵
- شکل ۵-۵- پراکنش غلظت عنصر Zn در نمونه های رسوب ۵۶
- شکل ۵-۶- پراکنش غلظت عنصر Ag در نمونه های رسوب ۵۷
- شکل ۵-۷- پراکنش غلظت عنصر Ni در نمونه های رسوب ۵۸
- شکل ۵-۸- پراکنش غلظت عنصر As در نمونه های رسوب ۵۹
- شکل ۵-۹- پراکنش غلظت عنصر Au در نمونه های رسوب ۶۰
- شکل ۵-۱۰- پراکنش غلظت عنصر Cr در نمونه های رسوب ۶۱
- شکل ۵-۱۱- پراکنش غلظت عنصر Ba در نمونه های رسوب ۶۲
- شکل ۵-۱۲- پراکنش غلظت عنصر Ga در نمونه های رسوب ۶۳
- شکل ۵-۱۳- پراکنش غلظت عنصر Al در نمونه های رسوب ۶۴
- شکل ۵-۱۴- پراکنش غلظت عنصر Mg در نمونه های رسوب ۶۵
- شکل ۵-۱۵- پراکنش غلظت عنصر Na در نمونه های رسوب ۶۶
- شکل ۵-۱۶- پراکنش غلظت عنصر K در نمونه های رسوب ۶۷

- شکل ۵-۱۷- پراکنش غلظت عنصر Na در نمونه های رسوب ۶۸
- شکل ۵-۱۸- پراکنش غلظت عنصر Ca در نمونه های رسوب ۶۹
- شکل ۶-۱- پراکنش مقادیر TDS در منابع آب ۸۵
- شکل ۶-۲- پراکنش مقادیر EC در منابع آب ۸۶
- شکل ۶-۳- پراکنش مقادیر TSS در منابع آب ۸۷
- شکل ۶-۴- پراکنش مقادیر TH در منابع آب ۸۸
- شکل ۶-۵- پراکنش مقادیر در منابع آب ۸۹
- شکل ۶-۶- پراکنش غلظت Ca در منابع آب، ۹۰
- شکل ۶-۷- پراکنش غلظت Mg در منابع آب ۹۱
- شکل ۶-۸- پراکنش غلظت Na در منابع آب ۹۲
- شکل ۶-۹- پراکنش غلظت K در منابع آب ۹۳
- شکل ۶-۱۰- پراکنش غلظت HCO_3^- در منابع آب ۹۴
- شکل ۶-۱۱- پراکنش غلظت SO_4^{2-} در منابع آب ۹۵
- شکل ۶-۱۲- پراکنش غلظت Cl در منابع آب ۹۶
- شکل ۶-۱۳- نمودار پایپر منابع آب منطقه مورد مطالعه در پایان فصل خشک ۹۷
- شکل ۶-۱۴- نمودار استیف منابع آب منطقه مورد مطالعه در پایان فصل خشک ۹۹
- ادامه شکل ۶-۱۴- نمودار استیف منابع آب منطقه مورد مطالعه در پایان فصل خشک ۱۰۰
- شکل ۶-۱۵- پراکنش غلظت Ni در منابع آب ۱۰۳
- شکل ۶-۱۶ (A) نمودار Eh-pH نیکل (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۰۴
- شکل ۶-۱۷- پراکنش غلظت As در منابع آب ۱۰۵
- شکل ۶-۱۸ (A) نمودار Eh-pH آرسنیک (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۰۵
- شکل ۶-۱۹- پراکنش غلظت Cu در منابع آب ۱۰۶
- شکل ۶-۲۰ (A) نمودار Eh-pH مس (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۰۷
- شکل ۶-۲۱- پراکنش غلظت Zn در منابع آب ۱۰۸
- شکل ۶-۲۲ (A) نمودار Eh-pH روی (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۰۸

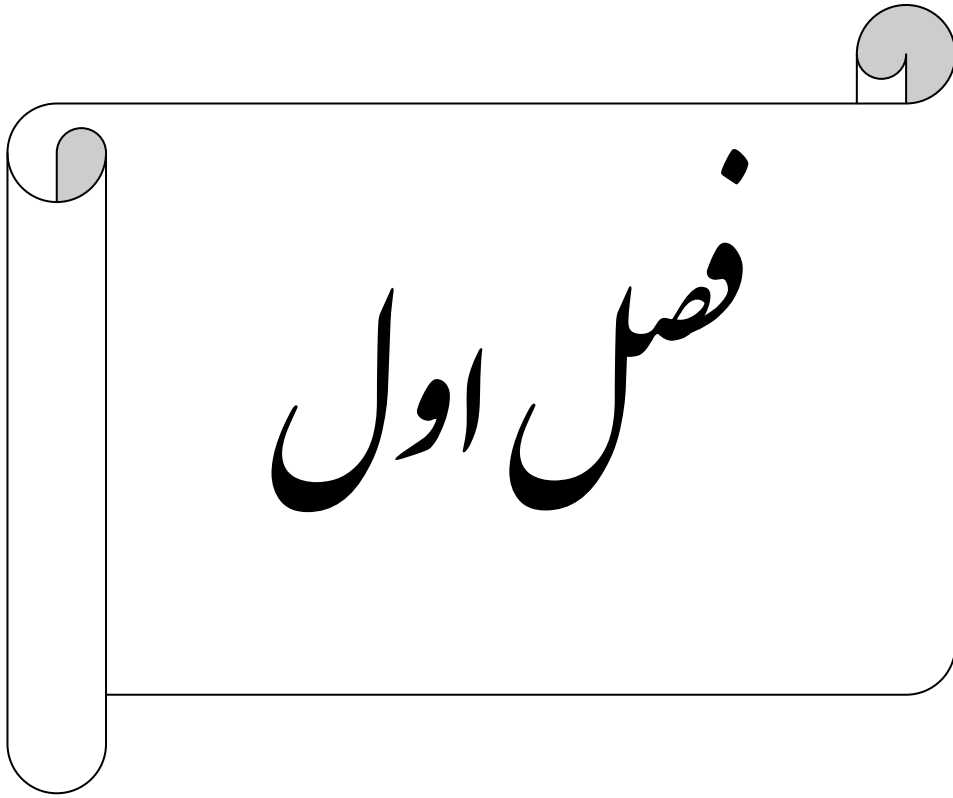
- شکل ۶-۲۳ پراکنش غلظت Br در منابع آب ۱۰۹
- شکل ۶-۲۴ (A) نمودار $Eh - pH$ بروم (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۱۰
- شکل ۶-۲۵ پراکنش غلظت Al در منابع آب بر روی قشه زمین‌شناسی منطقه ۱۱۱
- شکل ۶-۲۶ (A) نمودار $Eh - pH$ آلومینیم (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۱۱
- شکل ۶-۲۷ پراکنش غلظت Fe در منابع آب ۱۱۲
- شکل ۶-۲۸ (A) نمودار $Eh - pH$ آهن (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۱۳
- شکل ۶-۲۹ پراکنش غلظت Pb در منابع آب ۱۱۳
- شکل ۶-۳۰ (A) نمودار $Eh - pH$ سرب (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۱۴
- شکل ۶-۳۱ پراکنش غلظت Ba در منابع آب ۱۱۵
- شکل ۶-۳۲ (A) نمودار $Eh - pH$ باریم (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۱۶
- شکل ۶-۳۳ پراکنش غلظت B در منابع آب ۱۱۷
- شکل ۶-۳۴ (A) نمودار $Eh - pH$ بور (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۱۷
- شکل ۶-۳۵ پراکنش غلظت Cr در منابع آب ۱۱۸
- شکل ۶-۳۵ (A) نمودار $Eh - pH$ کروم (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۱۹
- شکل ۶-۳۷ پراکنش غلظت Si در منابع آب ۱۲۰
- شکل ۶-۳۸ (A) نمودار $Eh - pH$ سیلیسیم (TAKENO, 2005) و (B) شاخص اشباع شدگی ۱۲۰
- شکل ۶-۳۹ محاسبه شاخص فلزی در منابع آب منطقه مورد مطالعه ۱۲۵
- شکل ۷-۱- خلاصه مراحل فرآیند زدودن کروم از آب توسط پودر هسته میوه عناب ۱۳۲
- شکل ۷-۲- تغییرات میزان حذف کروم در اندازه‌های مختلف از پودر هسته میوه ۱۳۴
- شکل ۷-۳- تغییرات میزان حذف کروم در pH های مختلف از محلول ۱۳۵
- شکل ۷-۴- تغییرات میزان حذف کروم در مقادیر مختلف از جاذب در ۱۰ میلی لیتر از محلول ۱۳۶
- شکل ۷-۵- تغییرات میزان حذف کروم طی زمان‌های مختلف واکنش ۱۳۷
- شکل ۷-۶- تغییرات میزان حذف کروم از غلظت‌های مختلف از محلول کروم دار ۱۳۸

لیست جداول

- جدول ۱-۴- مشخصات محل‌های نمونه برداری شده از منابع آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند ۴۴
- جدول ۲-۴- موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه برداری از رسوبات منطقه مورد مطالعه ۴۵
- جدول ۳-۴- موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه برداری از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه ۴۵
- جدول ۲-۵- همبستگی عناصر در رسوبات منطقه مورد مطالعه ۵۲
- جدول ۳-۵- ارتباط میزان اندیس انباشتگی و میزان آلودگی ۷۰
- جدول ۴-۵- محاسبه اندیس تجمع زمین در رسوبات آبراهه ای منطقه ۷۰
- جدول ۵-۵- برآورد میزان آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه براساس اندیس زمین انباشتگی برحسب درصد ۷۱
- جدول ۶-۵- بررسی غنی شدگی رسوبات ۷۲
- جدول ۷-۵- محاسبه فاکتور غنی شدگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه ۷۳
- جدول ۸-۵- برآورد میزان غنی شدگی رسوبات منطقه براساس فاکتور غنی شدگی برحسب درصد ۷۳
- جدول ۹-۵- توصیف مقادیر فاکتور آلودگی ۷۴
- جدول ۹-۵- محاسبه فاکتور آلودگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه ۷۵
- جدول ۱۰-۵- محاسبه فاکتور آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه به درصد ۷۵
- جدول ۱۲-۵- طبقه بندی آلودگی رسوبات براساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده ۷۶
- جدول ۱۳-۵- محاسبه درجه آلودگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه ۷۷
- جدول ۱-۶- کاتیونها و آنیونهای اصلی در منابع آب جنوب دشت بیرجند- اردیبهشت ماه ۸۹ ۸۱
- جدول ۲-۶- کاتیونها و آنیونهای اصلی در منابع آبی جنوب دشت بیرجند-مهرماه ۸۹ ۸۲
- جدول ۳-۶- مقدار PH در منابع آب جنوب دشت بیرجند- پایان فصل تر و پایان فصل خشک ۸۳
- جدول ۴-۶- همبستگی عناصر و پارامترها در نمونه های آب ۸۴
- جدول ۵-۶- تقسیم بندی آب ها براساس سختی ۸۷
- جدول ۶-۶- ویژگیهای تیپ و رخساره منابع آب منطقه مورد مطالعه ۹۸
- جدول ۷-۶- نتایج آنالیز ICP-MS از منابع آب جنوب دشت بیرجند- اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ ۱۰۱
- جدول ۸-۶- نتایج آنالیز ICP-MS از منابع آب جنوب دشت بیرجند-مهرماه ۱۳۸۹ ۱۰۲
- جدول ۹-۶- مقایسه غلظت عناصر در منابع آب در دو فصل خشک و تر ۱۲۲

ادامه جدول ۶-۹- مقایسه غلظت عناصر در منابع آب در دو فصل خشک و تر ۱۲۳

جدول ۱۱-۶- مقادیر محاسبه شده در روش تعادل جرمی برای منابع آب منطقه ۱۲۹



کلیات

۱-۱- مقدمه

حدود نیمی از جمعیت کره زمین برای تامین آب شرب، به آبهای زیرزمینی وابسته هستند که با توجه به اینکه ایران در منطقه نیمه خشک و خشک دنیا قرار دارد، این مقدار به ۶۰ درصد می‌رسد، در حالی که تنوع و مقدار آلاینده‌های منابع آب در طول قرن اخیر، حفاظت از منابع آب را دشوارتر نموده است. بر طبق برآورد EPA تقریباً یک سوم جریان آب جهان آلوده می‌باشد و آلودگی در این برآورد یک زیان عنوان شده که بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب لطمه می‌زند. یکی از منابع آلاینده مهم، فلزات سنگین هستند که ورود آنها به منابع آب از راه‌های مختلف، یکی از مشکلات زیست محیطی نگران کننده بشر می‌باشد. پایداری فلزات سنگین در محیط زیست و ورود آنها به زنجیره غذایی و خاصیت تجمعی آنها باعث بروز اثرات حاد و مزمن در انسان و سایر موجودات زنده می‌گردد. از جمله منابع فلزات موجود در آبهای طبیعی، انحلال سنگها و مواد معدنی و تخلیه فاضلاب‌های شهری و کشاورزی و صنعتی می‌باشد. بنابراین جهت کنترل آلودگی‌ها باید منشأ آنها مشخص گردد. کیفیت آبهای زیرزمینی دشتهای تحت تاثیر لیتولوژی سفره، فاکتورهای هیدرولوژیکی، واکنش‌های هیدروژئوشیمیایی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. در سالهای اخیر برداشت‌های بی رویه از منابع آب زیر زمینی کشور و تعادل بین میزان تخلیه و تغذیه آبهای زیر زمینی به هیچ عنوان رعایت نشده است، بطوریکه در دشتهای کشور، میزان بهره برداری از آبهای زیرزمینی سالانه تا ۱۰ میلیارد متر مکعب بیش از تغذیه سالانه صورت گرفته و بر این اساس ۲۳۰ دشت از ۶۱۱ دشت کشور ما از نظر برداشت در شرایط ممنوعه و ممنوعه بحرانی قرار گرفته‌اند. این دشتهای در معرض نشست زمین، شکافهای عمیق و طویل، اختلاط آب شور و شیرین و از بین رفتن امکان ذخیره آب، تبدیل اراضی کشاورزی به بیابان و افزایش پدیده مهاجرت بوده و استمرار این روند می‌تواند توسعه کشور را در آینده نزدیک و در آستانه هزاره سوم با موانع اصلی مواجه نماید (فرزام پور و محمدنژاد، ۱۳۸۵).

منطقه مورد مطالعه بخش جنوبی دشت بیرجند می‌باشد که در جنوب شهر بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی قرار دارد. در این محدوده چاه‌های متعدد با مصرف شرب، کشاورزی، صنعت وجود دارند. آب زیرزمینی در این محدوده از کیفیت مناسبی برخوردار نیست. به دلیل کم بودن نزولات جوی (۱۵۶/۷ میلیمتر میانگین نزولات جوی در سال) و عدم وجود آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی در دشت بیرجند تنها منبع مهم تامین کننده آب در این منطقه می‌باشند.

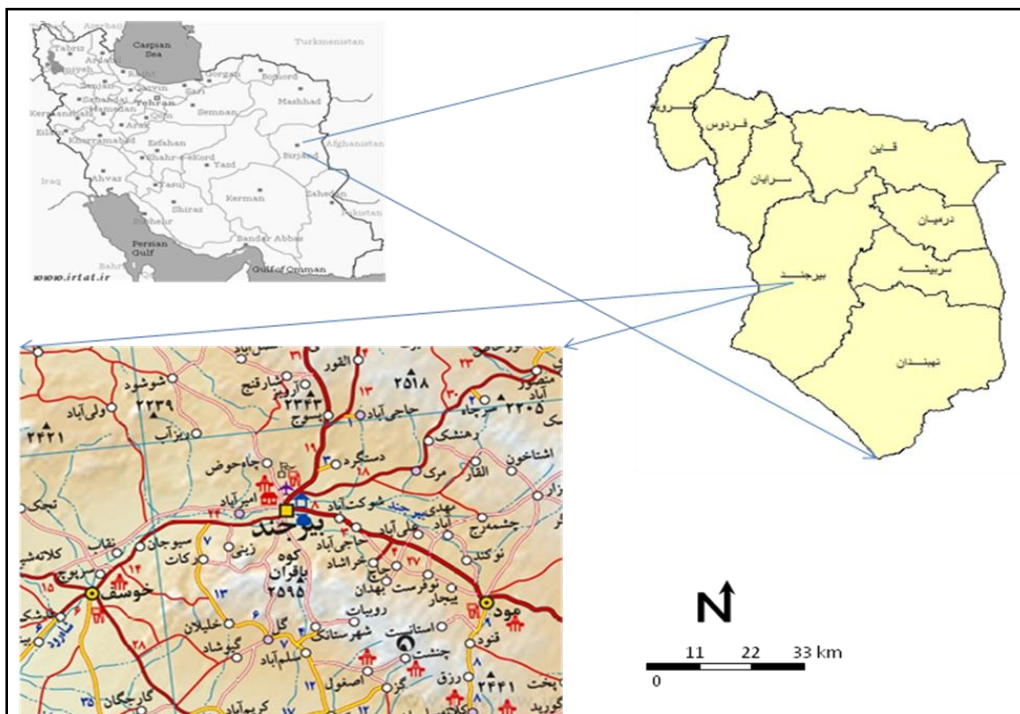
۱-۲- بیان مسئله

وسعت حوضه آبریز دشت بیرجند در حدود ۳۴۲۵ کیلومتر مربع بوده که از این میزان حدود ۱۰۴۵ کیلومتر مربع را دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. حد اکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۲۰ متر و حد اقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت می‌باشد (گزارش تمدید ممنوعیت دشت بیرجند، ۱۳۸۷).

رودخانه شاهرود مهمترین زهکش سطحی دشت می‌باشد، این رودخانه از ارتفاعات شرقی دشت سرچشمه گرفته و آبراهه‌های زیادی به ویژه از سمت شمال و جنوب حوضه به آن می‌پیوندند و در نهایت به کویر لوت می‌ریزد. بخش عمده ای از دشت توسط رسوباتی پوشیده شده که حاصل فرسایش رشته کوههای اطراف می‌باشند و رسوبات رودخانه ای که به دلیل درشت بودن ذرات بهترین محل برای تزریق آب به داخل آبخوان هستند. سفره آب زیرزمینی دشت بیرجند به صورت یکپارچه و از نوع آزاد و ناهمگن می‌باشد. دشت بیرجند یکی از دشتهای ممنوعه می‌باشد، به طوری که اخیراً تعدادی از چاههای آلوده مسدود شده و غیر قابل استفاده اعلام شده است (گزارش تمدید ممنوعیت دشت بیرجند، ۱۳۸۷). به دلیل افت سطح آب زیرزمینی مشکل آلودگی آب دشت روز به روز بحرانی تر می‌شود و به تبع آن افزایش عناصر آلاینده و اثرات سوء آن بر سلامتی انسانها اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد. با توجه به وجود چاههای متعدد در بخش جنوبی دشت که بخش اعظم آب شرب شهر بیرجند را تأمین می‌کنند و با توجه به کیفیت نامناسب آبخوان و از طرف دیگر عدم وجود مطالعات جامع بر روی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه، در این تحقیق به بررسی کیفیت، ژئوشیمی و آلودگی آبهای زیرزمینی در منطقه پرداخته شده است. در این تحقیق با اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی نظیر pH و EC، غلظت کاتیونها و آنیونها و همچنین تعیین میزان غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌های آب در دو دوره‌ی پایان فصل خشک و پایان فصل تر و تعیین فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب برداشت شده از آبراهه‌های منتهی به منابع آبی در جنوب دشت بیرجند، به بررسی تغییرات این پارامترها در نمونه‌های مختلف برداشت شده، ارتباط آنها با زمین شناسی منطقه و تفسیر آنها پرداخته شده است. جهت تحلیل صحیح‌تر و درک بهتر از شرایط موجود، مشاهدات دقیق صحرایی و تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی از نمونه‌های سنگی نیز انجام گردید.

۳-۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی بخشی از جنوب دشت بیرجند می‌باشد که بین طولهای $۵۹^{\circ} ۳۸' ۰۰''$ تا $۵۲' ۲۳''$ شرقی و عرضهای $۳۲^{\circ} ۳۷' ۵۲''$ تا $۳۲^{\circ} ۵۳' ۴۲''$ شمالی قرار گرفته است. از شمال به شهر بیرجند و از جنوب به ارتفاعات باقران، کوه رچ و کوه زرد و از غرب به ارتفاعات کوه اشکسته و کتاکوه و از شرق به ارتفاعات سیاه کوه محدود می‌شود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه (سایت جامع راهنمای ایران-۱۳۸۸).

مساحت منطقه مورد مطالعه که بخشی از آبخوان جنوب دشت بیرجند و ارتفاعات محصورکننده آن می‌باشد حدود ۸۹۳ کیلومتر مربع است، که در این میان وسعت دشت حدود ۲۸۰/۵ کیلومتر مربع می‌باشد. با استفاده از جاده‌های ارتباطی بیرجند - مود - زاهدان و بیرجند-خوسف میتوان به محدوده مطالعاتی دسترسی پیدا کرد.

۱-۴- آب و هوا و اقلیم منطقه

آب و هوای منطقه مورد مطالعه متاثر از توده‌های هوایی هستند که استان خراسان جنوبی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. توده هوای قاره‌ای معتدله از شمال و شمال غرب، جریانات گرم و خشک عربستان از جنوب غرب و جریانه‌های موسمی از جنوب شرق در منطقه جریان دارند. بدین لحاظ در تابستانها بخش‌های غربی استان با تولید توده‌های هوای گرم و خشک با هسته کم فشار دائمی و در شرق استان با جریانات گرم و خشک کویری از افغانستان آب و هوای منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. علاوه بر آن در زمستانها جریانه‌های گرم و خشک سیبری از شمال و جریانه‌های مرطوب از غرب به این منطقه نفوذ می‌کنند (گزارش تمدید ممنوعیت دشت بیرجند، ۱۳۸۷).

۱-۴-۱- وضعیت بارش

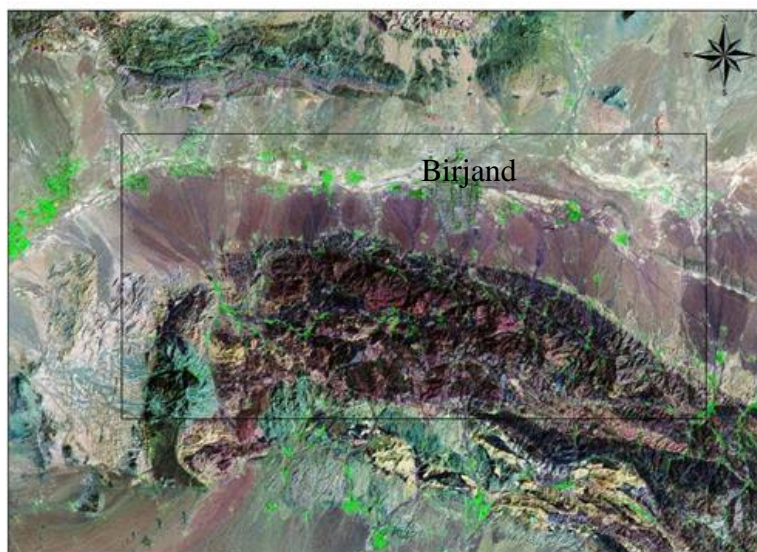
برای بررسی مقدار بارندگی سالانه در محدوده دشت بیرجند از آمار ایستگاههای هواشناسی استفاده شده است. نزولات جوی در سال ۱۳۸۷، ۱۵۶/۷ میلیمتر بدست آمده است. طبق اطلاعات موجود ۸۱/۴۳ درصد از بارندگی سالانه در فصل‌های بهار و زمستان، ۱۸/۴۳ درصد در فصل پاییز و ۰/۱۴ درصد در فصل تابستان رخ می‌دهد. با مقایسه میانگین بارش ۳۰ ساله مشاهده می‌گردد، بارندگی در سالهای اخیر کاهش یافته است (گزارش تمدید ممنوعیت دشت بیرجند، ۱۳۸۷).

۱-۴-۲- وضعیت باد

جهت وزش باد غالب در ایستگاه سینوپتیک بیرجند عمدتاً در جهت شرقی-غربی می باشد. در ماههای تیر و مرداد جهت آن شمال شرقی-جنوب غرب است. همچنین مشاهده می شود که در ماههای آبان و آذر درصد باد غالب ماهانه کمترین مقدار بوده و پس از آن به تدریج افزایش یافته و در تیر ماه به حداکثر مقدار خود می رسد. سرعت وزش باد غالب نیز در فروردین ماه حداکثر و در آبان ماه به حداقل می رسد (گزارش تمدید ممنوعیت دشت بیرجند، ۱۳۸۷).

۱-۵- ژئومورفولوژی

با توجه به مطالعات صحرایی، واحدهای مورفولوژیکی منطقه را می‌توان در ۳ گروه دسته‌بندی کرد: واحد ۱: شامل ارتفاعات بلند با قله کشیده، پرشیب و سطوح توپوگرافی خشن می‌باشد. واحد ۲: به صورت تپه ماهورها با سطوح توپوگرافی صاف و هموار بین ارتفاعات واحد ۱ و دشت قرار دارند. واحد ۳: این واحد شامل نهشته‌های کواترنری قدیمی و رسوبات عهد حاضر است که حاصل فرسایش واحدهای سنگی و حمل و جابجایی مواد در منطقه است. این واحد بخش اعظم از مساحت محدوده مورد مطالعه را می‌پوشاند (۱-۲)



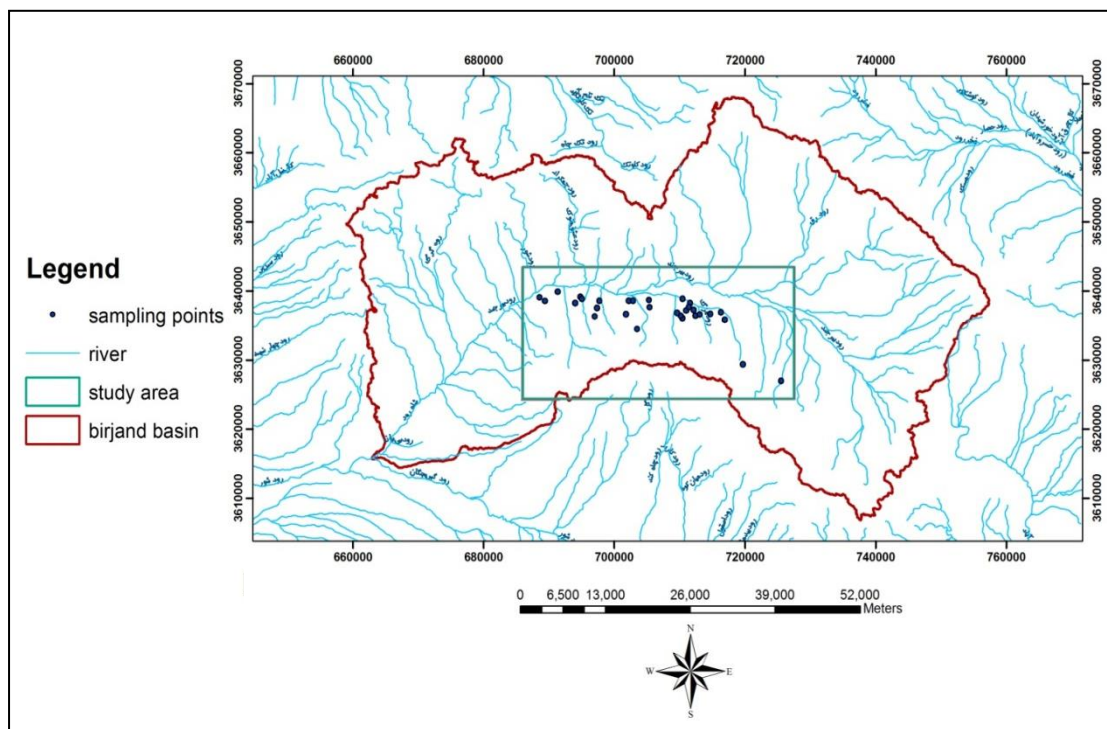
شکل ۱-۲- مورفولوژی بخش‌های مختلف جنوب دشت بیرجند-عکس هوایی

۱-۶- مطالعات هیدروژئولوژی منطقه

بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، دشت بیرجند توسط رخساره‌های نئوژن که بصورت تپه‌های باریکی به موازات ارتفاعات جنوبی حوزه از شرق به غرب کشیده شده است به دو قسمت مجزا تقسیم شده است. این دو قسمت از نظر شرایط هیدروژئولوژیکی دو آبخوان مجزا به نام‌های آبخوان بیرجند (در جنوب) و آبخوان مرک (در شمال) را تشکیل داده‌اند که منطقه مورد مطالعه قسمتی از آبخوان بیرجند می‌باشد (گزارش تمدید ممنوعیت دشت بیرجند، ۱۳۸۷).

۱-۶-۱- آبخوان بیرجند

این ناحیه از حوالی روستای مود تا خوسف به طول ۸۰ کیلومتر و به عرض متوسط ۷ کیلومتر به سمت غرب کشیده شده است و توسط رسوبات آبرفتی دانه درشت که حاصل فرسایش کوه‌های باقران می‌باشد، پوشیده شده است. آبخوان دشت بیرجند به صورت یکپارچه، از نوع آزاد و ناهمگن می‌باشد. سطح تراز آب زیرزمینی بین ۱۷۶۰ متر در شرق دشت تا ۱۲۶۰ متر در خروجی متغیر می‌باشد. عمق سطح آب زیرزمینی بیش از ۱۴۰ متر در شرق و مرکز دشت و تا کمتر از ۱۰ متر در محل خروجی (غرب دشت) متغیر می‌باشد (گزارش تمدید ممنوعیت دشت بیرجند، ۱۳۸۷). از نظر منابع آبی در کل دشت بیرجند، حدود ۲۸۸ چاه اعم از کشاورزی و شرب وجود دارد که حدود ۱۴۰ چاه در محدوده مورد مطالعه قرار می‌گیرند و از این تعداد ۲۷ چاه (کشاورزی و شرب) برای مطالعه انتخاب شدند. روند غالب آبراهه‌ها شمال - جنوب بوده و جهت جریان در بخش جنوبی دشت از جنوب به شمال و در بخش مرکزی با رودخانه اصلی هم مسیر شده و به تدریج شرقی-غربی می‌شود. شکل ۱-۳ نقشه آبراهه‌های اصلی در دشت بیرجند را در محیط GIS مشخص می‌نماید که در این تحقیق با استفاده از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند تهیه شده است.



شکل ۱-۳- نقشه آبراهه‌های اصلی - جنوب دشت بیرجند - محدوده مورد مطالعه (مشخص شده با کادر ضخیم)

۷-۱- ضرورت انجام تحقیق

بررسی آلودگی دشتهای با توجه به ارتفاعات محصورکننده آنها، موضوع بسیاری از تحقیقات در جهان می باشد که در ایران نیز در حال انجام است. کمبود منابع آب و اندک بودن نزولات جوی و نوع اقلیم منطقه که از نوع گرم و خشک می باشد، باعث شده است که منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند از اهمیت بالایی برخوردار باشد. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و واحدهای صنعتی و کشاورزی، برداشت آب زیرزمینی روز به روز افزایش یافته و همچنین بیلان منفی آبخوان دشت، افت سطح آب زیرزمینی را به دنبال داشته است. اهمیت بخش جنوبی آبخوان بیرجند که عمده آب شرب شهر بیرجند را تأمین می کند و احتمال بالای وجود آلودگی عناصر سنگین در آبخوان جنوب دشت بیرجند و تاثیرات سنگ شناسی منطقه بر آلودگی، همچنین عدم وجود اطلاعات جامع در زمینه میزان و نوع آلودگی در آبخوان، انجام این تحقیق را لازم و ضروری نمود.

۸-۱- اهداف مطالعه

هدف اصلی از انجام این پایان نامه بررسی ژئوشیمیایی آلودگی در منابع آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند است، و اهداف جزئی به قرار زیر می باشند:

- ۱- بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه (تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین).
- ۲- بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی و سنگ شناسی منطقه.
- ۳- رسم نقشه پراکنش غلظت عناصر در منابع آب زیرزمینی و رسوبات آبراهه ای منطقه.
- ۴- مطالعه ارتباط عناصر آلاینده در منابع آب جنوب آبخوان دشت بیرجند با خصوصیات ژئوشیمیایی منطقه.
- ۵- حذف کروم VI از محلول آبی با استفاده از هسته پودر شده میوه عناب گونه Ziziphus ziziphus.

۹-۱- روش انجام تحقیق

مراحل انجام این تحقیق به شرح زیر می باشد:

- ۱- مطالعات کتابخانه‌ای و اینترنتی و کسب اطلاعات کمی در مورد تحقیقات مشابه انجام شده قبلی در سطح جهانی و منطقه‌ای.
- ۲- بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرجند، توپوگرافی و عکس ماهواره‌ای و هوایی منطقه و تعیین موقعیت دقیق جاههای منطقه مورد مطالعه.
- ۳- بازدید صحرایی و پیمایش و بررسی انطباق داده‌ها و اطلاعات موجود با منطقه مورد مطالعه از نزدیک و تعیین محل‌های نمونه‌گیری آب، سنگ و رسوبات آبراهه‌ای.
- ۴- نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی و انجام آنالیزهای فیزیکوشیمیایی از قبیل آنالیز ICP-MS نمونه‌ها.
- ۵- نمونه‌برداری از سنگهای منطقه و تهیه مقاطع نازک
- ۶- نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای و گرفتن آنالیز ICP-MS از رسوبات.
- ۷- استفاده از نرم افزارهای PHREEQC , WATEVAL , Rockworks , AqQA و Excel در رسم نمودارها.
- ۸- بررسی، تجزیه و تحلیل نتایج و ارتباط خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی منطقه با کیفیت آب.
- ۹- حذف کروم VI از محلول دی کرومات پتاسیم با استفاده از هسته پودر شده عناب.
- ۱۰- بحث و بررسی نهائی و تحریر پایان‌نامه.

۱۰-۱- ساختار پایان نامه

مطالعات و تحقیقات پژوهش حاضر در قالب ۸ فصل ارائه گردیده است:

فصل اول : کلیات

فصل دوم : زمین شناسی منطقه

فصل سوم : مروری بر مطالعات پیشین

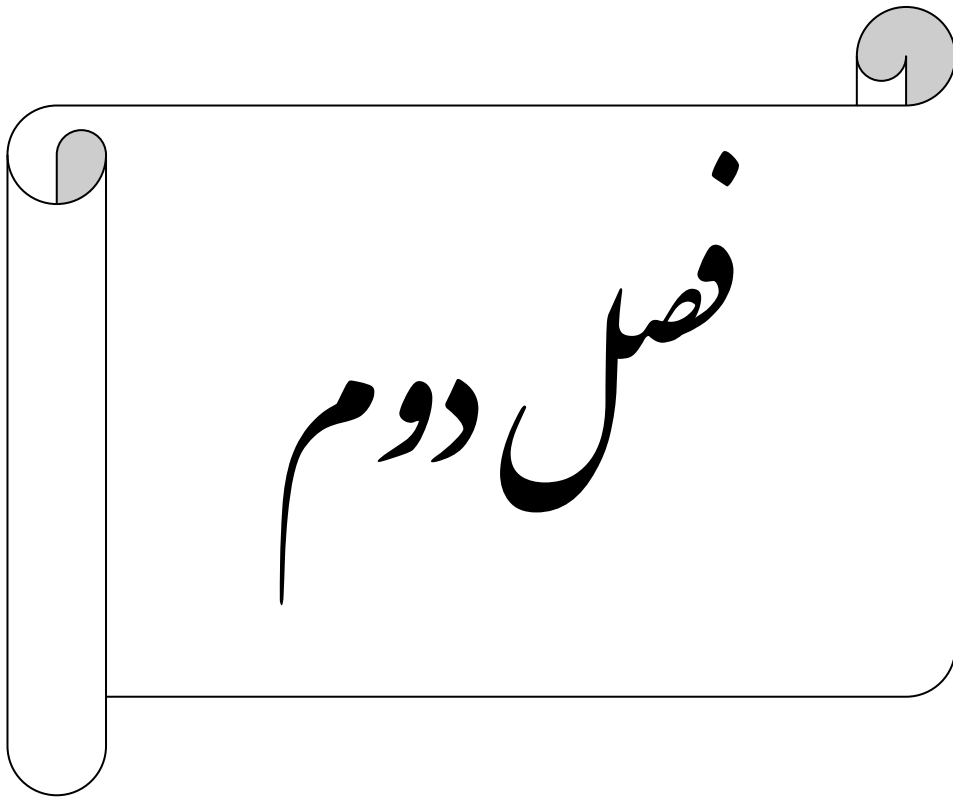
فصل چهارم : مواد و روشها

فصل پنجم : ژئوشیمی رسوبات و ارتباط آنها با سنگهای منطقه

فصل ششم : کیفیت منابع آب و ارتباط آن با ژئوشیمی منطقه

فصل هفتم : حذف کروم از محلول آبی حاوی کروم VI

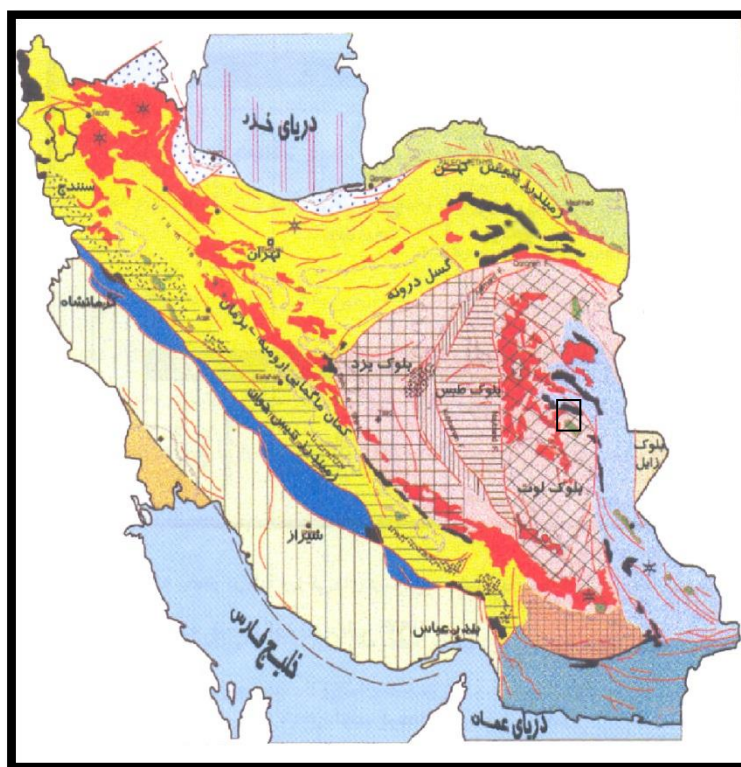
فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات



زمین شناسی منطقه

۱-۲- مقدمه

زمین‌شناسی هر منطقه می‌تواند فاکتور مهم و تاثیرگذار بر کیفیت آب آن منطقه باشد. بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی و همچنین کیفیت آبها، اطلاعات مفیدی را در جهت ارتباط و انتقال عناصر به منابع آب بازگو می‌کند. منطقه مورد مطالعه در شرق ایران و شمال حوضه فلیشی شرق ایران (زون سیستان) قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲). در این فصل زمین‌شناسی عمومی و سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه با توصیف مقاطع نازک مورد بحث و بررسی قرار گرفته و در نهایت در مورد زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک و زمین‌شناسی اقتصادی منطقه توضیحاتی داده شده است.

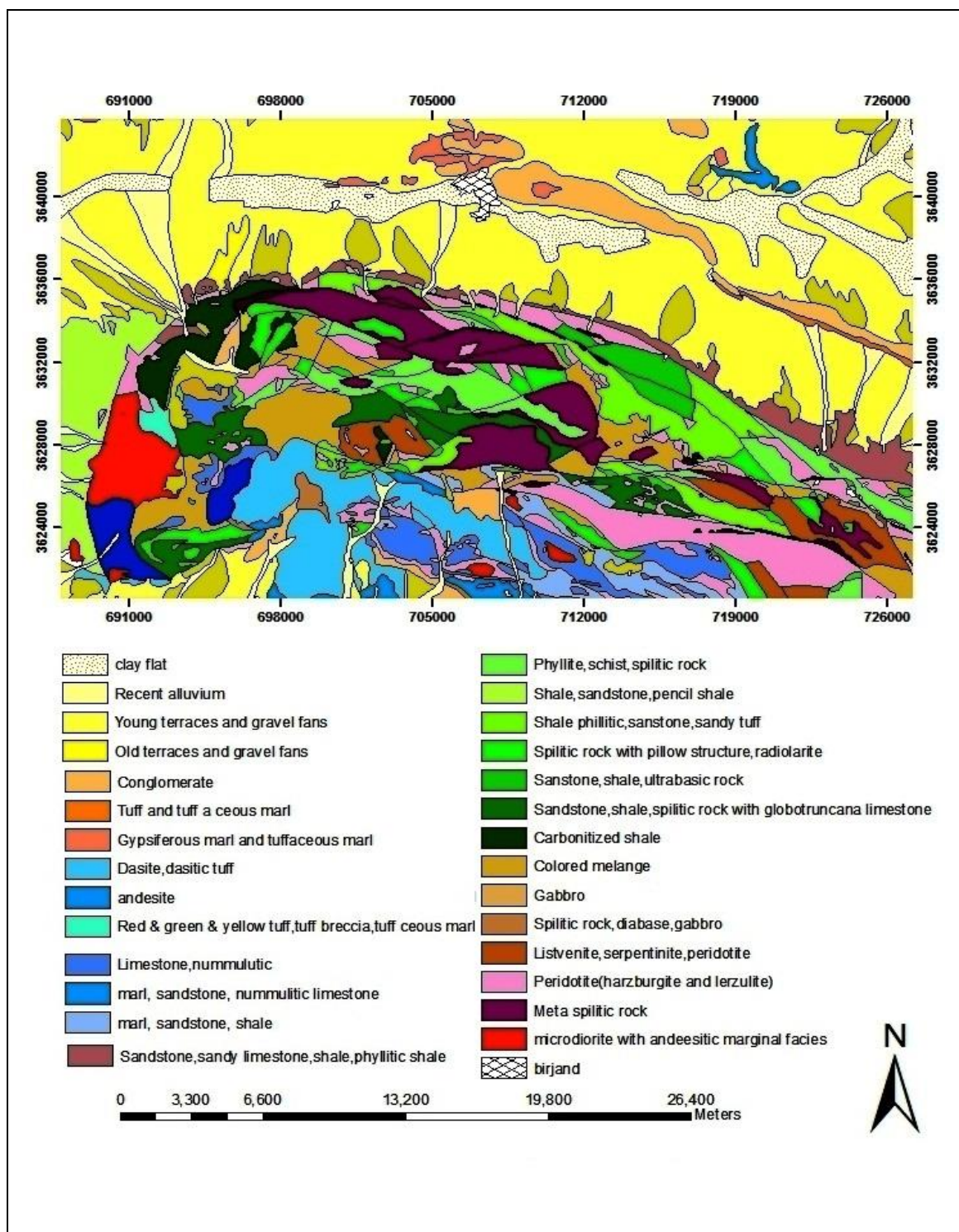


شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه (کادر مربع) در نقشه زون‌های ساختمانی ایران در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (آقناباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه‌ای

مجموعه سنگی رشته کوه باقران که در جنوب دشت بیرجند قرار می‌گیرد و تامین منابع آب قسمت جنوبی دشت بیرجند نیز از این ارتفاعات می‌باشد، شامل توالی کامل افیولیتی یا مجموعه آمیزه رنگین (افتخارنژاد، ۱۳۵۹) معرفی شده است. افیولیت‌های جنوب بیرجند از قاعده به سمت بالا شامل اولترامافیک، پهنه انتقال، گابروهای لایه‌ای، گابروهای ایزوتروپ، دایک‌های ورقه‌ای، گدازه‌های بالشی، نهشته‌های پلاژیک و پس از آن نهشته‌های فلیشی می‌باشد (امینی و همکاران، ۱۳۸۱). در انتها سنگ‌های آذرآواری جوانتر از افیولیت‌ها و نهشته‌های کواترنری در منطقه دیده می‌شوند (شکل ۲-۲). از آنجا که ضخیم‌ترین عضو سازنده توالی افیولیت بیرجند مجموعه سنگ‌های اولترامافیک و گسترده‌ترین عضو هم‌گدازه‌های بالشی (اسپیلیت‌ها و متا اسپیلیت‌ها) (زرین کوب، ۱۳۷۹) هستند، توضیحات و مطالعات سنگ‌شناسی بیشتر بر روی این دو بخش صورت گرفته است.

توده‌های اولترامافیک سرپانتینی شده حجم عظیمی از سنگ‌های منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲-۳) که در برخی از قسمت‌ها به لیستونیت تبدیل شده‌اند. لیستونیت‌زایی (Listwanitization) نتیجه دگرسانی هیدروترمال در درجه حرارت‌های متوسط (۳۰۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) توسط شورابه‌های حاوی سدیم و کلر مشتق شده از مواد جبه‌ای و تقابل با آب دریا است. محلول‌های هیدروترمال تشکیل دهنده لیستونیت‌های نوع سیلیسی، غنی از Ca و H_2O ، CO_2 ، SiO_2 بوده در حالیکه نوع کربناته فقیر از SiO_2 است. با پیشرفت دگرگونی محلول‌های غنی از CO_3^{2-} ، SO_4^{2-} ، As ، Cl ، Na ، K و B با عناصر فلزی کمپلکس تشکیل داده و در اثر صعود به بخش‌های فوقانی و نزدیک به سطح، هنگامیکه وارد محیط قلیایی و احیایی سنگ‌های کربناته شده، انباشته می‌شوند (منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶). تشخیص این زون‌ها در روی زمین به صورت زون‌های هوازدهی نارنجی-قهوه‌ای روشن که در زمینه‌ای از سرپانتینیت‌های سبز تیره تا سیاه قرار گرفته‌اند، به آسانی امکان‌پذیر است (شکل ۲-۴).

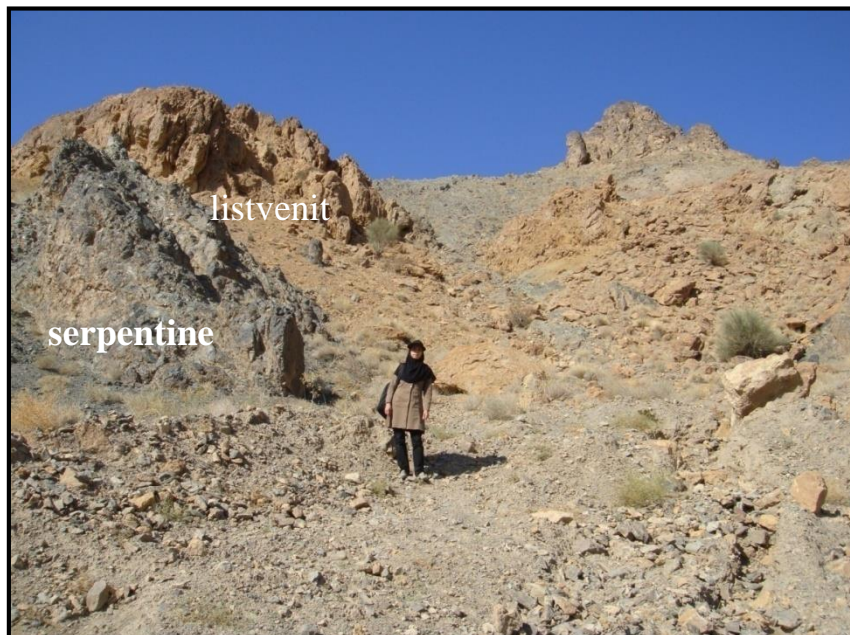


شکل ۲-۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه-برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرجند

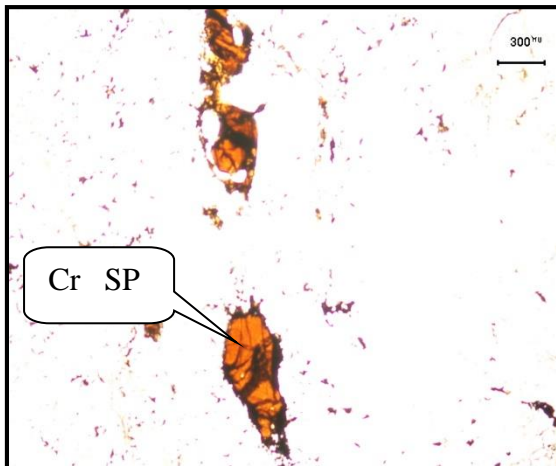
در مقاطع نازک تهیه شده از سنگهای پریدوتیتی منطقه مورد مطالعه، به شماره‌های R12 و R16 (جدول ۳-۵) کانیه‌های اولیوین، پیروکسن و بویژه کروم اسپینل به خوبی دیده می‌شوند (شکل ۲-۵، ۲-۶، ۲-۷، ۲-۸، ۲-۹، ۲-۱۰).



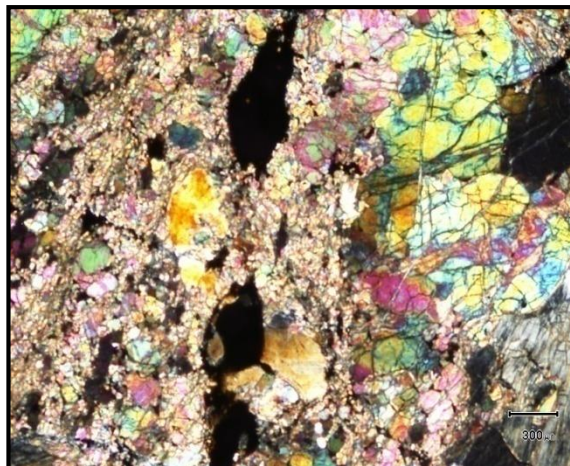
شکل ۲-۳- توده‌های سرپانتینی شده در منطقه مورد مطالعه



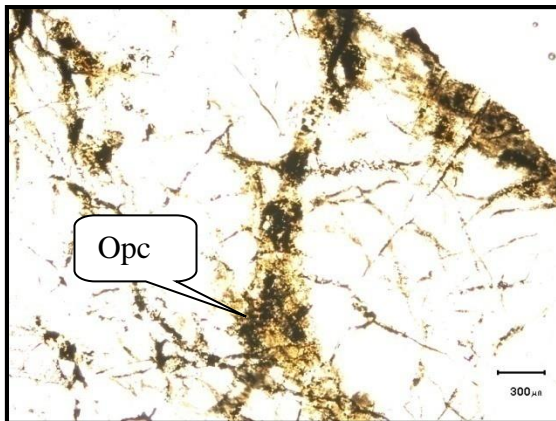
شکل ۲-۴- توده‌های سرپانتینی و لیستونیتی (ناشی از دگرسانی پریدوتیت‌ها) در منطقه مورد مطالعه



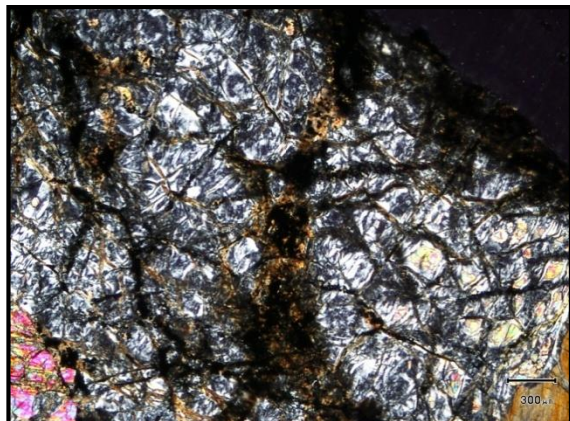
شکل ۲-۶- حضور کانی‌های اپک (کروم اسپینل) در پریدوتیت ppl، نمونه R16



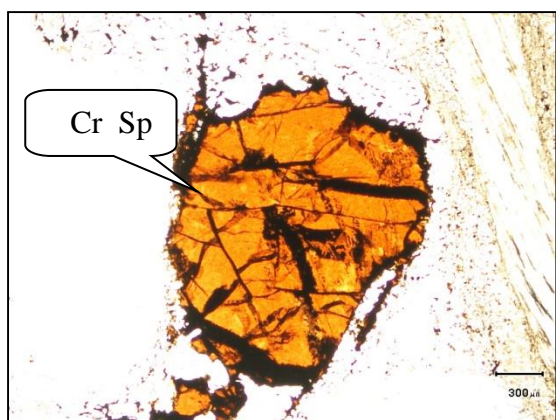
شکل ۲-۵- حضور کانیهای پیروکسن و اولیوین (درشت دانه) در پریدوتیت (XPL)، نمونه R16



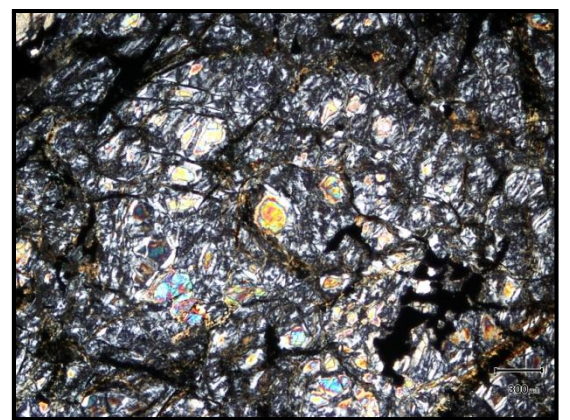
شکل ۲-۸- حضور رگه های آهن در پریدوتیت (ppl)، نمونه R12



شکل ۲-۷- سرپانتینی شدن اولیوین در پریدوتیت، نمونه R12

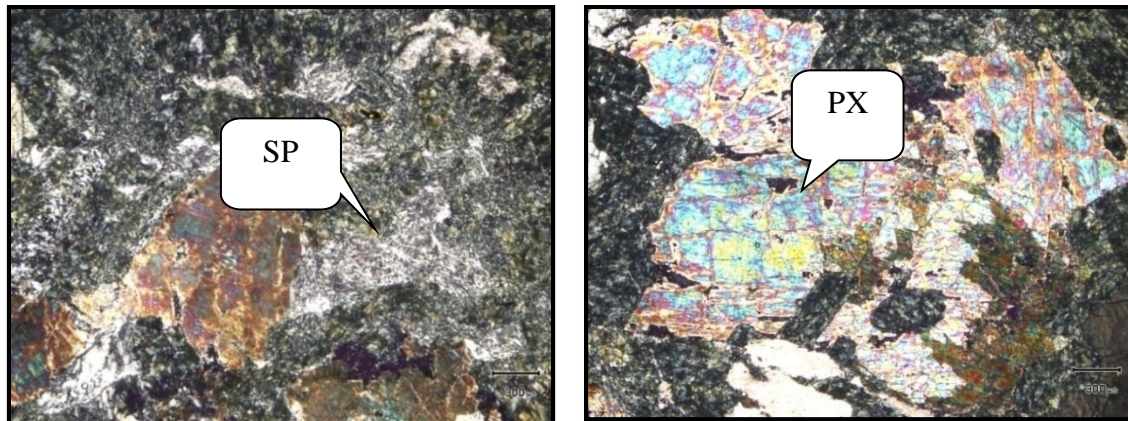


شکل ۲-۱۰- حضور کانی اپک (کروم اسپینل) در پریدوتیت (PPL)، نمونه R1



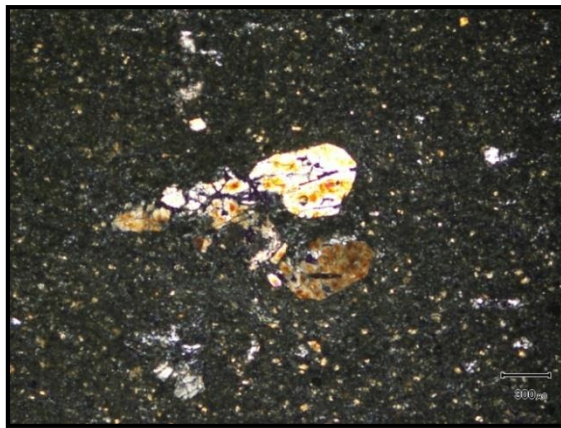
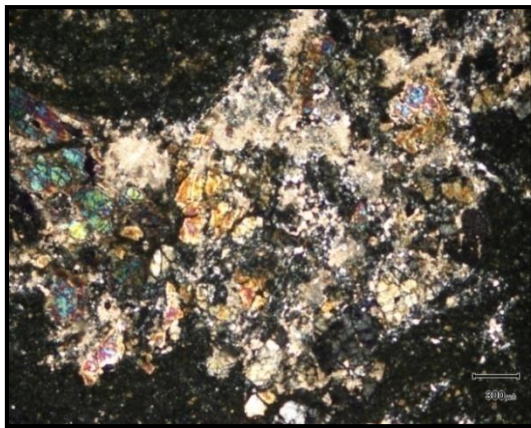
شکل ۲-۹- تجمع کانیهای پیروکسن و اولیوین در پریدوتیت (XPL)، نمونه R12

گابروهای لایه‌ای در قسمت‌هایی از منطقه در بالادست آبراهه اصلی قرار گرفته، بنابراین از این رخنمون، نمونه سنگی تهیه شد. در مقاطع نازک تهیه شده از سنگهای گابرویی منطقه مورد مطالعه، به شماره R15، کانیه‌ای، پیروکسن و سرپانتین به خوبی دیده می‌شوند (شکل ۲-۱۱ و ۲-۱۲).



شکل ۲-۱۱- گابرو، سرپانتین شدن کانیه‌ای پیروکسن در شکل ۲-۱۲- گابرو، دگرسانی سرپانتینی شدن (XPL)، نمونه R15 گابرو (XPL)، نمونه R15

گدازه‌های بازیک دارای ساخت بالشی در منطقه جنوب بیرجند، از گسترش نسبتاً زیادی برخوردار می‌باشند و شاید بتوان آنها را از نظر وسعت نسبت به سایر اجزاء افیولیت بیرجند وسیع‌ترین سازنده معرفی نمود. این واحد گدازه‌ای که به عنوان توالی خروجی مجموعه افیولیت جنوب بیرجند تلقی می‌گردد، بیشتر در دامنه شمالی کوهستان جنوب بیرجند دیده می‌شود. (زرین کوب، ۱۳۷۹). در مقاطع نازک تهیه شده از سنگهای اسپیلیتی منطقه مورد مطالعه، به شماره R6، کانیه‌ای اولیوین و پیروکسن دیده می‌شوند (شکل ۲-۱۳ و ۲-۱۴). نهشته‌های پلاژیک در بخش‌های فوقانی توالی‌های افیولیتی همراه با گدازه‌های بالشی یافت می‌شوند و شاهدی قوی مبنی بر منشا عمیق زیردریایی گدازه‌های بالشی است. لذا نهشته‌های پلاژیک فاقد عناصر بیولوژیکی نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در باب عمق حوضه بدست دهند. اما عناصر بیولوژیکی همراه با نهشته‌های پلاژیک می‌توانند در مورد عمق نهشت آنها اطلاعاتی را بدست دهند. شیل‌های رادیولردار ارغوانی، قرمز تا سبز، مادستونهای قرمز رنگ و شیل‌های ارغوانی و سنگ آهک‌های گلوبوترونکانادار کرم رنگ، از جمله نهشته‌هایی هستند که بطور خیلی محدود، بصورت تداخلی یا بین لایه‌ای با گدازه‌های بالشی، در منطقه بیرجند یافت می‌شوند. ضخامت این نهشته‌ها محدود و بندرت به بیش از یک متر می‌رسند و اکثراً با گدازه‌های بالشی به صورت تداخلی هستند یا اینکه بصورت یک لایه ادامه‌دار دیده می‌شوند (شکل ۲-۱۵).



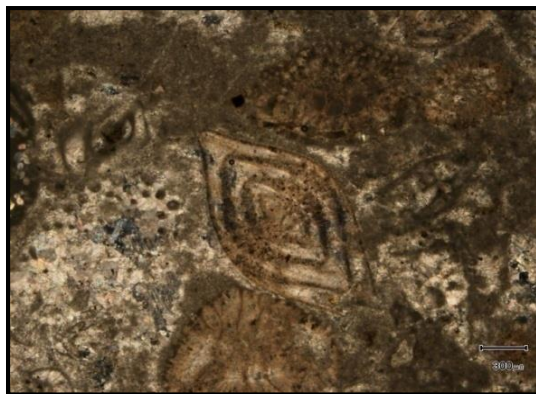
شکل ۲-۱۳- حضور کانی اولیوین با زمینه میکروگرانولار در اسپیلیت (XPL)، نمونه R6
 شکل ۲-۱۴- دگرسانی کانیهای اولیوین و پیروکسن در اسپیلیت (XPL)، نمونه R6
 در مقاطع نازک تهیه شده از سنگهای آهکی فسیل‌دار منطقه مورد مطالعه، به شماره R4 و R17، فسیل‌های آلئولینا و نومولیتس و همچنین رگه‌هایی حاوی آهن به خوبی دیده می‌شوند (شکل ۲-۱۶، ۲-۱۷، ۲-۱۸ و ۲-۱۹).



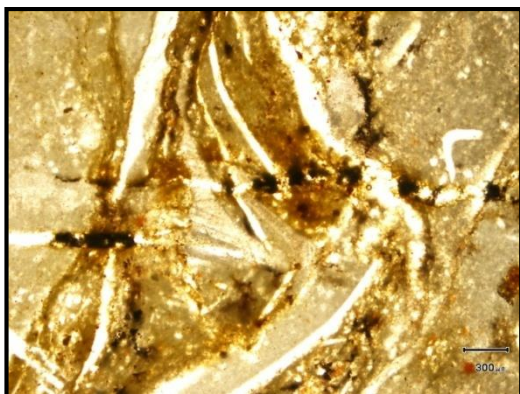
شکل ۲-۱۵- سنگ آهک فسیل‌دار در محدوده مورد مطالعه



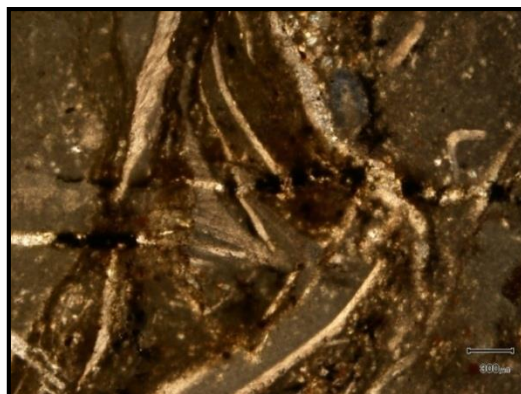
شکل ۲-۱۷- سنگ آهک فسیل دار (نومولیتس)،
XPL، نمونه R4



شکل ۲-۱۶- سنگ آهک فسیل دار (آلوتولینا)،
XPL، نمونه R4



شکل ۲-۱۹- سنگ آهک فسیل دار، ppl، نمونه
R17



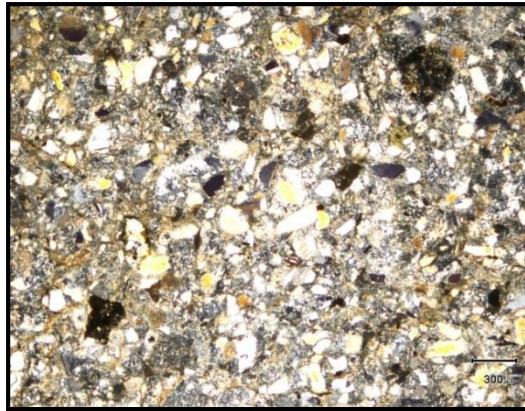
شکل ۲-۱۸- سنگ آهک فسیل دار حاوی رگه‌های
آهن، XPL، نمونه R17

مقاطع نازک تهیه شده از سنگهای ماسه‌سنگ، فیلیت و لیستونیت‌های کربناته در منطقه مورد مطالعه، به شماره R11، R9 و R1 در شکل‌های ۲-۲۰، ۲-۲۱، ۲-۲۲ و ۲-۲۳ آورده شده‌اند. در بعضی مناطق رسوبات شدیداً ماسه‌ای و فیلیت‌ها (۲-۲۴) همراه با سنگ‌های اسپیلیتی و یا سنگ‌های اولترابازیک به نسبت‌های متغیر آمیخته شده‌اند.



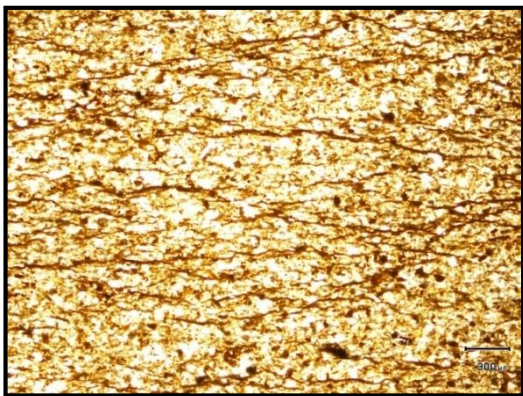
شکل ۲-۲۱- حضور رگه کربناته در لیستونیت کربناته،

XPL، نمونه R1



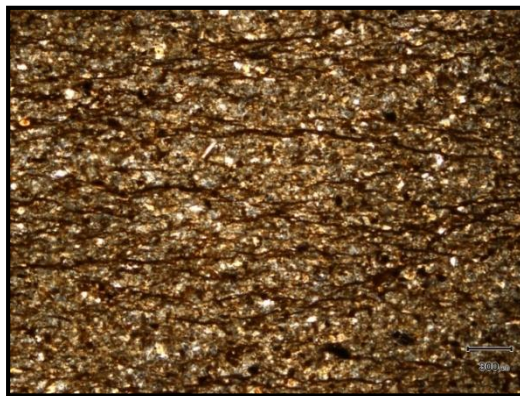
شکل ۲-۲۰- ماسه سنگ، XPL، نمونه

R11



شکل ۲-۲۳- فیلیت و حضور رگه های آهن، ppl، نمونه

R9



شکل ۲-۲۲- فیلیت (XPL)، نمونه R9



شکل ۲-۲۴- شیل‌های فلیشی بصورت لایه‌ای در محدوده مورد مطالعه

نهشته‌های رسوبی کواترنر، بصورت تراس‌های آبرفتی قدیمه و تراس‌های آبرفتی جوان در حاشیه رودخانه‌های موسمی، رسوبات مخروط افکنه و واریزه‌های دامنه کوهها دیده می‌شوند (شکل ۳-۲۵)، آبرفتهای رودخانه ای (شکل ۳-۲۶)، رسوبات جوان حاصل از فرسایش می‌باشند که توسط آبراهه‌ها در مسیر رودخانه‌ها بجا گذاشته شده اند.



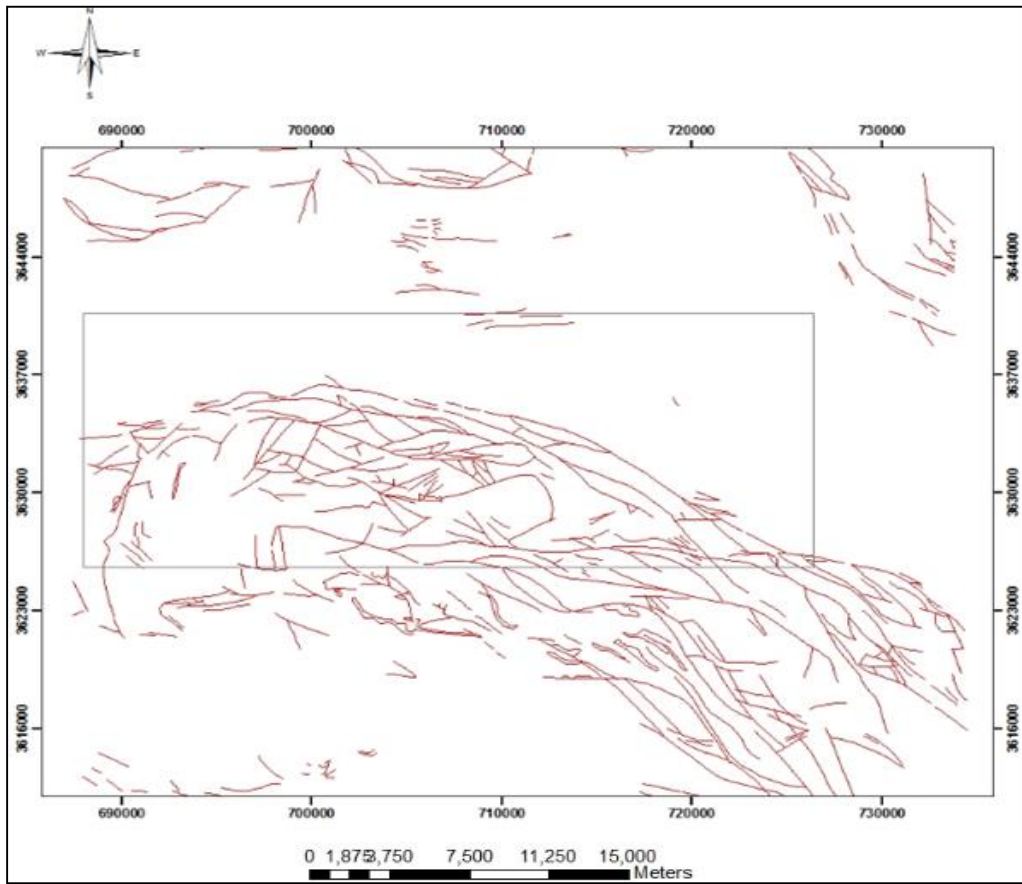
شکل ۲-۲۶- رسوبات آبرفتی جنوب دشت بیرجند
(رسوبات آبرفتی ریز دانه در حاشیه رودخانه شاهرود)



شکل ۲-۲۵- رسوبات آبرفتی جنوب دشت بیرجند
(رسوبات درشت دانه میان کوهی)

۲-۳- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

چهار روند ساختاری عمده که در ارتفاعات کوه باقران وجود دارد، گسل‌های با روند شرقی-غربی، روند شمال غرب-جنوب شرق، روند شمالی-جنوبی، روند شمال شرق-جنوب غرب می‌باشند (شکل ۳-۲۷). وجود سیستم‌های گسلی و درزه‌ای باعث تشدید فرآیندهای دگرسانی و فرسایشی می‌شود، به طوری که دره‌ها، آبراهه‌ها و رودخانه‌ها در امتداد آنها شکل گرفته‌اند. در این منطقه گسل خوردگی و شکستگی‌های پیچیده، به مراتب بیشتر از چین خوردگی‌ها دیده می‌شوند (خطیب، ۱۳۶۸) (شکل ۳-۲۸).



شکل ۲-۲۷- نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه (کادر مربع) - جنوب دشت بیرجند-برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰
بیرجند

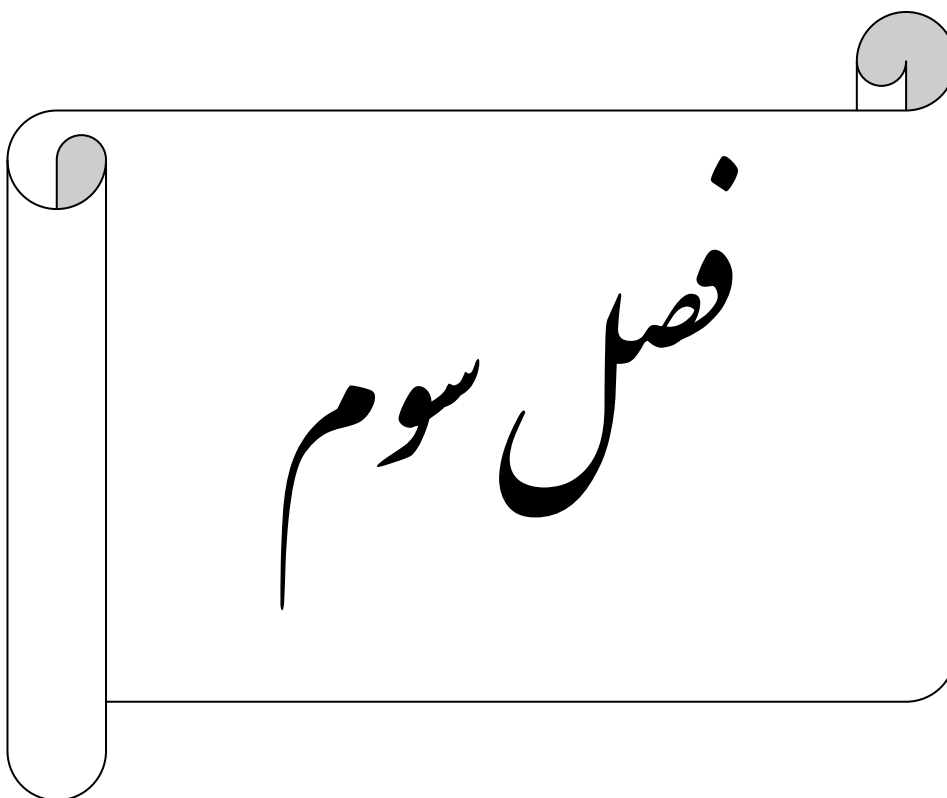


شکل ۲-۲۸- وجود درزه و شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه

۲-۴- زمین‌شناسی اقتصادی منطقه

منطقه مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی اقتصادی از پتانسیل بالایی برخوردار است. مواد معدنی که در این منطقه قابل پی‌جویی است عبارتند از: پتانسیل‌های معدنی فلزی و غیر فلزی و سنگ‌های نما و تزئینی.

کانی‌سازی فلزی در منطقه مورد مطالعه شامل کرومیت، نیکل، عناصر طلا و گروه پلاتین و مس می‌باشند. تشخیص چند توده کرومیتی در منطقه مورد مطالعه و حضور چندین معدن فعال کرومیتی در خارج از منطقه ولی در همان راستا، اهمیت کرومیت را در این منطقه آشکار می‌نماید. کرومیت‌های منطقه مورد مطالعه را می‌توان در گروه کرومیت‌های پراهن قرار داد. کانی‌سازی غیر فلزی در منطقه مورد مطالعه هم شامل آزبست و اولیوین فورستریتی می‌باشند. مواد حاصل از دگرسانی واحدهای مختلف افیولیتی، مخصوصاً دگرسانی سنگ‌های اولترامافیک، پتانسیل‌های معدنی با ارزشی را فراهم نموده است، که از بین آنها می‌توان به پتانسیل‌های معدنی همراه با لیستونیت‌ها اشاره کرد (زرین کوب، ۱۳۷۹). از جمله محصولات دگرسانی در این منطقه می‌توان به لیستونیت‌ها و منیزیت لیستونیت‌ها و دولومیت لیستونیت‌ها و هونتیت لیستونیت‌ها و لیستونیت سیلیسی اشاره کرد. علی‌رغم آشفستگی‌های تکتونیکی و ایجاد شکستگی‌ها در اجزای سازنده توالی افیولیتی، برخی از اجزای سنگی هنوز سالم می‌باشند، که به عنوان سنگ‌های تزئینی و نما در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شوند که شامل گابروهای لایه‌ای و دایک‌های دیابازی می‌باشند و در بازار سنگ به عنوان گرانیت سیاه و گرانیت سبز شناخته می‌شوند و سنگ آهک‌های نومولیت‌دار توده‌ای نیز به عنوان مرمریت قابل استفاده می‌باشند (زرین کوب، ۱۳۷۹).



مروری بر مطالعات پیشین

۳-۱- مقدمه

مطالعات انجام شده در رابطه با موضوع تحقیق، کمک زیادی در انجام هرچه بهتر آن تحقیق خواهد کرد. در این فصل ابتدا به بررسی مطالعات انجام شده در ارتباط با کیفیت آبها و سپس ارتباط آلودگی آبها با زمین‌شناسی پرداخته شده است. همچنین درباره غلظت فلزات در رسوبات و عوامل موثر در انتقال فلزات در آب و رسوبات که شامل کانه‌زایی و دگرسانی، انحلال‌پذیری، جذب و واجذب و پتانسیل یونی توضیح داده شده است. در انتها از تحقیقاتی که درباره حذف کروم از محلول آبی در ایران و جهان انجام شده، به طور مختصر مطالبی آورده شده است.

۳-۲- کیفیت آبها

سلامت انسانها در مناطق شهری و روستایی بستگی به کمیت و کیفیت آب دارد. اصولاً گسترش بهداشت در تمام دنیا با فراهم بودن آب بدون آلودگی میسر است و تصور محیط پاکیزه و بهداشتی بدون آب غیر ممکن می‌باشد. با توجه به رابطه بسیار نزدیک و تنگاتنگی که بین کیفیت آب و بیماریهای همه‌گیر در مناطق مختلف وجود دارد، سازمانهای مختلف در تمام دنیا به دنبال شناسایی دقیق پارامترهای مختلف و کیفیت منابع آب، بخصوص منابع آب آشامیدنی هستند تا به کمک یک برنامه‌ریزی مدرن و مدیریت صحیح، بهترین استفاده از منابع آب داشته باشند. پیشرفت روشها و وسایل آزمایشگاهی مرتبط با اندازه‌گیری کیفیت آب گواهی بر این ادعا است (شریعت پناهی، ۱۳۷۷).

از آنجا که جهت بررسی کیفیت آبها، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی، غلظت کاتیونها و آنیونها و همچنین غلظت عناصر و فلزات سنگین موجود در منابع آب اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، در ادامه به بررسی مطالعات انجام شده در مورد کاتیونها و آنیونها در منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف و غلظت فلزات سنگین در آب زیرزمینی پرداخته شده است.

۳-۲-۱- بررسی کاتیونها و آنیونها در منابع آب زیرزمینی

آب زیرزمینی یک منبع مهم آب شرب می‌باشد و آلودگی آن معمولاً از آب سطحی کمتر است. دشتهایی که از دسترس انسان و فعالیتهای انسانی به دور مانده‌اند، کیفیت آب آنها را شرایط زمین‌شناسی محل تعیین می‌نماید (Edmundts, 2003). نتایج بررسی کیفیت آب آشامیدنی در غرب یونان

نشان می‌دهند که در این مناطق شرایط زمین شناختی منطقه، باعث افزایش EC و pH و کلرید شده است (Karavoltsova et al, 2008). عوامل بسیاری در انتقال عناصر از سنگها به آبخوان اثرگذار می‌باشند. تبادل یونی یکی از پدیده‌های رایج موثر در افزایش و یا کاهش کاتیونها و آنیونهای موجود در آب شناخته شده است. در تحقیقی که در ارتباط با تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت گتوند انجام شد، نتایج نشان دادند که رسوبات دانه‌ریز ناشی از سازندهای مارن‌دار مانند بخش لهری، باعث ایجاد واکنش‌های تبادل یونی و افزایش یون‌های محلول در آب می‌گردند (مظفری‌زاده و چیت‌سازان، ۱۳۸۶). نوع یونها و نحوه توزیع آنها در آبهای طبیعی بستگی کامل به تشکیلات زمین شناختی و خاک منطقه دارد. فراوانترین یونهای موجود در آب شیرین یونهای کلسیم و بی‌کربنات، منیزیم، سولفات، کلرید و سدیم می‌باشند (برد، ۱۳۸۶). در تحقیقی که جهت ارزیابی کیفی آب آشامیدنی در استان تفیلا در جنوب اردن با اندازه‌گیری کاتیونها و آنیونها در آب صورت گرفت. نتایج نشان داد که نمونه‌های آب دارای مقدار بالاتر از حد مجاز کلراید، سولفات و بی‌کربنات می‌باشند (Al-Rawajfeh and Al-Shamaileh, 2007).

کلسیم معمولاً از انحلال سنگ آهک، دولومیت، سنگ گچ تولید می‌شود و پس از بی‌کربنات دومین جزء عمده بیشتر آبهای طبیعی است. منیزیم عموماً از مواد معدنی فرومنیزیمی سنگهای آذرین و کربنات منیزیم، سنگ آهک و دولومیت حاصل می‌شود. نمکهای کلسیم نسبت به نمکهای منیزیم محلول‌تر می‌باشند (سید آر و همکاران، ۱۳۸۴). کلرید آبهای طبیعی معمولاً از سنگهای رسوبی غنی از این آنیون منشاء می‌گیرد. نمکهای کلراید بسیار محلول می‌باشند و در غلظتهای بالاتر از ۲۵۰ mg/L مزه نمکی به آب می‌دهند. کیفیت آب آبخوان در قسمت‌های مختلف یک دشت ممکن است یکسان نباشد، نتایج تحقیقی که با عنوان تعیین آنیونها و کاتیونها در آب آشامیدنی رومانی انجام شد، نشان داد که بیشترین مقدار کل آنیونها و کاتیونها در قسمت شمالی منطقه به ترتیب ۱۱۳/۸۱۲ mg/L و ۱۰۵/۰۹۸ mg/L و کمترین مقدار کل آنیونها در شرق منطقه ۱۶/۹ mg/L و کمترین مقدار کل کاتیونها در غرب منطقه ۳۵/۳۸ mg/L می‌باشد (Calisevici et al, 2009). معمولاً افزایش غلظت کاتیونها و آنیونها در منابع آب با افزایش EC و TDS همراه است. بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت کاشان نشان می‌دهد که مقدار کلر در اکثر نقاط دشت همبستگی خوبی با EC داشته و غلظت کلر تمام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کاشان، کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و مقدار بی‌کربنات

در قسمت‌های غربی و مناطق تغذیه دشت زیاد و در بخش‌های شرقی کم می‌باشد (حیدری، ۱۳۸۸). در تحقیقی دیگر که در مورد ارزیابی میزان آلودگی در آب آشامیدنی روستاهای شمال شاهرود انجام شد، معلوم ساخت که غلظت یون سولفات در روستاهای علی آباد و قهج سفلی به ترتیب به ۴۹۹ و ۴۵۱ میلی گرم بر لیتر و غلظت یون سدیم به ترتیب به ۳۷۹ و ۵۲۹ میلی گرم بر لیتر در این روستاها می‌رسد. TDS آب این روستاها ۱۳۲۰ و ۱۳۸۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد که بالاتر از حد مجاز است (دهرآزما و همکاران، ۱۳۸۸).

کیفیت آب آشامیدنی در غنا توسط محققین مورد بررسی قرار گرفت، که نشان داد آلاینده‌های غیر آلی در ۳۸٪ از چاهها در غنا، غلظت بالا دارند. مشکلات اساسی در کدورت بالا، pH پایین، غلظت بالای نیترات، فلئور، آلومینیم و کلر و در بعضی مناطق بالا بودن غلظت عناصر As, Pb, B و U شناخته شد (Helfrid et al, 2010).

نتایج تحقیقی که در ایران در مورد کیفیت آب آشامیدنی مخازن چاه نیمه زابل انجام شده است، نشان می‌دهد که کیفیت آب مخازن به لحاظ شرب، با توجه به نمودار شولر در طبقه بندی قابل قبول جای دارد (همایون نژاد و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین بررسی و ارزیابی کیفیت آب مخازن چاه نیمه زابل به لحاظ کشاورزی (با تکیه بر نمودارهای شولر و ویلکوکس) نشان می‌دهند که با توجه به نمودار ویلکوکس، آنها در طبقه C3S1 که معرف کیفیت متوسط است قرار دارند (همایون نژاد و همکاران، ۱۳۸۸).

۳-۲-۲- بررسی غلظت فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی

در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی و مهم در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی یا تجمع غلظت فلزات سنگین به سبب عدم تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد (Liaghati and Preda, 2003) که در طبیعت به فراوانی یافت می‌شوند و طی فرآیندهای متعدد ژئوشیمیایی وارد چرخه آب می‌گردند. فلزات سنگین نیز می‌توانند منشاء‌های مختلفی از جمله منشاء طبیعی، فاضلاب‌های شهری، فاضلاب‌های ناشی از صنایع و فعالیت‌های معدن کاری داشته باشند.

میزان آلودگی آبهای زیرزمینی جنوب رفسنجان به فلزات سنگین کروم و نیکل طی تحقیقی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بعضی مناطق غلظت این عناصر بالاتر از حد مجاز آشامیدنی

می باشد. میزان کروم در بخش شرقی شهر رفسنجان بالاتر از حد مجاز بوده که علت آن را می توان ورود فاضلابهای شهری و فاضلاب ناشی از صنایع موجود در منطقه دانست. میزان نیکل در قسمت میانی دشت بالاتر از حد مجاز بوده که ناشی از هوازدگی سنگهای آتشفشانی سولفیدی کوههای سرچشمه در جنوب منطقه بوده که فعالیت معدن کاری (معدن سرچشمه) تقویت کننده آن می باشد. ورود فاضلابهای صنعتی حاوی نیکل در محدوده غربی شهر یکی دیگر از منابع آلاینده محسوب می شود. (خواجه پور و همکاران، ۱۳۸۷).

آلودگی آبهای زیرزمینی به فلزات سنگین در دشت مختاران (جنوب بیرجند) طی تحقیقی ارزیابی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت As بین ۰/۹ تا ۱۳/۷ ppb، B بین ۱۴۵ تا ۲۹۱۰ ppb، Ba بین ۱۰/۹ تا ۷۹/۸۵ ppb، Cr بین ۰/۵ تا ۱۰۸/۱ ppb، Cu بین ۲/۹ تا ۲۰/۶ ppb، و Pb بین ۱ تا ۱۳/۴ ppb در منابع آب زیرزمینی منطقه می باشند. همچنین غلظتهای عناصر Cr و As در بعضی از چاهها بیشتر از حد استاندارد می باشند. محققین دلیل این تغییرات را تأثیر آلتراسیون بر کیفیت منابع آب منطقه می دانند (ثوابی و همکاران، ۱۳۸۹).

تحقیقی در مورد بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی شهر زاهدان به فلزات سنگین جیوه، سرب و کبالت و منشاء احتمالی آنها صورت گرفت. نتایج حاصل نشان می دهند که حداقل غلظت جیوه در چاههای نمونه برداری ۰/۳۹ ppb و بیشترین غلظت آن ۲/۳۲ ppb است، که در بعضی نقاط بیش از حد استاندارد می باشد. همچنین حداکثر غلظت سرب ۱/۴۷ ppm و کمترین غلظت این عنصر ۰/۲۰۴ ppm است. غلظت سرب و کبالت در تمام آبهای منطقه بیشتر از حد استاندارد می باشند. منشاء آلودگی در شرایط زمین شناسی منطقه و کانسارزایی این فلزات سنگین در منطقه تشخیص داده شد (سالک و همکاران، ۱۳۸۵). بررسی غلظت فلزات سنگین در بعضی از دشتهای کشور نشان می دهد که آب آنها از نظر فلزات سنگین در حد مناسب می باشد.

غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی در طی دو سال و در شهر اردبیل مورد بررسی قرار گرفت. غلظت فلزات سنگین (Zn و Cd, Cu, Cr, Ni, Fe, Mn, Pb) از ده منبع در دو فصل کم آبی و پر آبی در طی دو سال ۸۴-۸۵ اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد که در تمام نمونهها، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در حد استاندارد بودند. غلظت فلزات Fe, Mn, Zn, Pb و Ni در تمام نمونهها

کمتر از حد استاندارد و غلظت Cu, Cr و Cd در حد استاندارد قرار داشتند. لذا می‌توان گفت که منابع آب آشامیدنی شهر اردبیل در معرض آلودگی به فلزات سنگین نبودند (عالیقدر و همکاران، ۱۳۸۶). مطالعه ای در مورد آلودگی آب زیرزمینی به فلزات سنگین (Cr, Pb, Fe و Mn) در دشت‌های اندیمشک و شوش در قسمت جنوبی ایران، انجام شد. نتایج معلوم ساختند که غلظت Cr و Fe زیر حد استاندارد می‌باشد. محتوای Mn و Pb در ۴۰/۵ درصد از چاه‌ها مقدار ۷/۱ میلی‌گرم در لیتر که بالاتر از حد استاندارد WHO است، اندازه‌گیری گردید. محتوای Fe در آب زیرزمینی در قسمت شمالی دشت بیشتر از قسمت جنوبی دشت و مقدار Mn و Pb در قسمت جنوبی بیشتر از قسمت شمالی دشت برآورد شد (Babaei et al, 2006).

۳-۲-۳- ارتباط کیفیت آب زیرزمینی با شرایط زمین شناسی

آگاهی از شرایط زمین شناسی پیش شرط ضروری برای درک، تفسیر و ارزیابی آلودگی در منابع آب زیرزمینی هر منطقه و اعمال محدودیت‌های قانونی می‌باشد. واکنش‌های طبیعی بین آب و سنگ منجر به تنوع گسترده‌ای در ترکیب معدنی آب‌های زیرزمینی می‌شوند. تاکنون تحقیقات بسیاری در ارتباط با بررسی تاثیر شرایط زمین شناسی بر کیفیت منابع آب در جهان و ایران صورت پذیرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

تحقیقی در مورد کیفیت نمونه‌های آب در Nando و اطراف در حوضه Anambra، جنوب شرق نیجریه انجام شد. غلظت یون Mg^{+2} پایین و مقدار آن برای استفاده انسان مناسب و مقدار Na^{+} و K^{+} بالا تشخیص داده شد. سدیم از منابع طبیعی شامل کربنات‌ها و هوازگی فلدسپارها (آلبیت) و کانی‌های رسی، حاصل گردیده. مقدار بالای پتاسیم از فلدسپارها (ارتوکلاز و میکروکلین)، فلدسپاتوئید و بعضی میکاها و کانی‌های رسی وارد آب‌های زیرزمینی شده‌اند. غلظت کلر در منطقه اساساً پایین است (Spears and Reeves, 1975). محققین معمولاً منبع اصلی کلر در آب‌های زیرزمینی را تبخیر می‌دانند (Hem, 1970) و آب بارانی که تحت تاثیر تبخیر و تعرق قرار بگیرد، می‌تواند منبع کلر در آب زیرزمینی منطقه باشد (Egbunike, 2007).

بررسی‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی آب زیرزمینی در حوزه Independence، مکزیکو نشان می‌دهند که آب‌های زیرزمینی در آبخوان با شوری کم و به طور عمده سیلیسی-کلسیتی هستند. واکنش‌های

اصلی که در آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده‌اند شامل، انحلال گاز CO_2 ، انحلال کربنات و هوازدگی آلبیت و رسوب کائولینیت و کلسدونی می‌باشند. بررسی ایزوتوپی آب زیرزمینی کمک کرد تا شش منطقه هیدروشیمیایی و منابع تغذیه مشخص شوند (Mahlknecht et al, 2006).

نتایج حاصل از بررسی تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت گتوند نشان می‌دهند که مقدار TDS و سولفات از قسمت شمال و نیز غربی دشت به سمت مرکز و شرق دشت (رود کارون) افزایش می‌یابد. نحوه گسترش رخساره‌های هیدروشیمیایی در دشت نشان‌دهنده تکامل آنیونی در دشت می‌باشد، به طوری که تیپ آب از نوع بی‌کربناته، در مرزهای شمالی و غربی دشت به تیپ کلراته در مجاورت رود کارون (مرز شرقی دشت) تکامل می‌یابد. با توجه به جهت جریان عمده آب زیرزمینی که از بخش‌های شمالی و شرقی دشت به سمت مرکز و مرز شرقی آن می‌باشد و به رود کارون می‌ریزد، می‌توان نتیجه گرفت که روند تکامل آنیونی و نیز افزایش املاح و شوری آب زیرزمینی از جهت جریان و مدت زمان مجاورت آب با مواد آبخوان تبعیت می‌نماید. سازند گچساران و لایه‌های ژپس و هالیت‌دار این سازند بیشترین تاثیر را بر میزان شوری و مقدار مواد محلول آب زیرزمینی دشت گتوند گذاشته‌اند (مظفری زاده و چیت‌سازان، ۱۳۸۶).

۳-۳- بررسی غلظت فلزات در رسوبات

تجمع فلزات سنگین در خاک علاوه بر اثراتی که بر خاک دارند، می‌تواند از طریق انتقال به آب‌های زیرزمینی موجب آلودگی آب‌ها و از طریق جذب توسط گیاه وارد زنجیره غذایی انسان و دام شده و مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی متعددی را به دنبال داشته باشد. فلزات سنگین در رسوبات می‌توانند همانند آب، منشاء طبیعی یا غیر طبیعی (ناشی از معادن، پساب، فاضلاب و...) داشته باشد. رسوبات منطقه از هوازدگی سنگها حاصل می‌شوند، لذا ترکیب آنها نیز متأثر از زمین‌شناسی منطقه خواهد بود. در بیشتر مناطق که رسوبات آلوده به فلزات سنگین می‌باشند، آب زیرزمینی نیز آلوده خواهد بود. تحقیقی که در مورد غلظت آرسنیک در رسوبات حوضه آبریز دیواندره انجام شده است، نشان می‌دهد تمام نمونه‌های رسوبات برداشت شده از حوضه آبریز دیواندره آلوده به آرسنیک بوده و آلودگی موجود از نوع ژئوتونیک می‌باشد. دگرسانی‌های لیمونیتی، هماتیتی و کائولینیتی از عوامل ایجاد

ناهنجاری آرسنیک در منطقه شناخته شد. از طرف دیگر حضور این عنصر در آب منطقه نیز متاثر از عوامل زمین شناسی تشخیص داده شد (قدیمی و همکاران، ۱۳۸۹).

توزیع فلزات سنگین در رسوبات دشت ساحلی منطقه جنوب شرق کوئینزلند، استرالیا بررسی شد. غلظت فلزات سنگین (Al, Cr, V, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Mn) و مقدار کل کربن و گوگرد اندازه‌گیری گردید. در منطقه ذکر شده مقدار کل فلزات سنگین به جزء منگنز بالاتر از حد استاندارد بود. ترکیب شیمیایی و کانی شناسی نمونه‌های غنی شده از هر دو منشاء طبیعی و انسانی ورودی به حوضه آبریز نشان می‌دهند که فرایندهای طبیعی در تمرکز فلزات سنگین غالب می‌باشند (Liaghati and Preda, 2003).

تحقیقی در مورد بررسی پراکنش سرب در محدوده کوه بی بی شهربانو (جنوب شرق تهران) با تکیه بر مسائل زیست محیطی و زمین پزشکی صورت گرفت. نتایج حاصل از آنالیز ICP نشان می‌دهد که میانگین فراوانی این عنصر در منطقه ۳۷۵/۶ ppm است، که بیشینه مقدار این عنصر ۳۴۴۲/۹ ppm و کمترین مقدار آن ۷۴ ppm می‌باشد. بر اساس اندیس تجمع زمین (Geoaccumulation Index) رسوبات منطقه از نظر آلودگی سرب در رده خیلی شدید تا شدیداً آلوده قرار گرفتند. محاسبه فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor) نیز نشان می‌دهد که منشاء سرب ناشی از فعالیت‌های بشری است (شهادی و همکاران، ۱۳۸۷). برای ارزیابی میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین معمولاً از فاکتور جمعی زمین استفاده می‌شود. در تحقیقی که در مورد آلودگی فلزات سنگین در رودخانه Po واقع در ایتالیا انجام شد، محققین از روش شاخص تجمع زمین استفاده کردند. محاسبه شاخص آلودگی در این تحقیق نشان داد که، این منطقه دارای آلودگی متوسط Cd و آلودگی کم تا متوسط Pb و Zn می‌باشد (Farkas et al, 2006).

۳-۴- عوامل مؤثر در انتقال فلزات سنگین در آب و رسوبات

فرسایش یکی از منابع آلوده کننده آب از منشا طبیعی و غیر متمرکز یونها و از عوامل آ زادکننده عناصر از سنگ‌ها است. عوامل بسیاری در انتقال، آزادسازی، جذب و واجذب فلزات در آب و خاک نقش دارند که در ادامه به برخی از آنها پرداخته شده است.

۳-۴-۱- کانه زایی و دگرسانی

کانه زایی و دگرسانی فرآیندی طبیعی است که تغییرات ترکیبی و کانی شناسی مهمی در سنگ‌های اولیه بوجود آورده و باعث آزاد سازی، تمرکز و تخلیه برخی از عناصر و یون‌ها می‌شود. لذا در چنین مناطقی، گسترش و پراکندگی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در منابع آب متفاوت بوده و آلودگی‌های طبیعی شدیدی را بوجود می‌آورند. زون قره داغ طارم بعنوان یک زون متالوژن (دارای مناطق کانه زایی و دگرسان شده وسیع) مطرح بوده است. عناصر و یون‌های آزاد شده از سنگ و مناطق آلترا نهایتاً در خاک و آب تجمع پیدا کرده و با قرار گرفتن در محل‌های نفوذ ریشه گیاهان و یا آشامیدن آب آلوده توسط دام و انسان وارد چرخه زیستی گردیده‌اند (طلایی و پیروان، ۱۳۸۶). ارزیابی کیفیت آبهای زیر زمینی منطقه فیروز آباد شاهرود از دیدگاه زیست محیطی نشان داد که ترکیب سنگ شناسی افیولیت‌ها در کیفیت آب‌های منطقه تاثیر منفی داشته است (حاجی زاده و همکاران، ۱۳۸۵).

ارزیابی کیفیت و غلظت عناصر سنگین (سرب و آرسنیک) در آب قنات بیدستان (جنوب بیرجند) نشان داد آب قنات بیدستان به شدت تحت تاثیر واحد دگرسانی بالا دست خود قرار گرفته است. واحد آرژیلیکی غنی از سولفات عامل اصلی ازدیاد سولفات ($1057/2 \text{ mg/L}$) و سدیم ($662/4 \text{ mg/L}$) و متعاقب آن EC ($3520 \mu\text{S/cm}$) و TDS (2360 mg/L) در آب است. همچنین به دلیل احتمال زیاد همراهی زونهای آلونیتی با ذخایر طلا و فراوانی عناصر سرب (113 ppb)، آهن (380 ppm) و آرسنیک (50 ppb) لذا دگرسانی را می‌توان دلیل اصلی ازدیاد این عناصر در آب قنات بیدستان دانست (ثوابی و همکاران، ۱۳۸۸).

۳-۴-۲- انحلال پذیری

طی فرآیند انحلال، عناصر می‌توانند از کانیهای اولیه خارج شده و طی واکنشهای متوالی، تشکیل کانیهای ثانویه را در رگه و رگچه‌ها و شکستگیها در نواحی دگرسان شده در پی داشته باشند (Turpault et al, 1992). 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.

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 McCleskey, 2006). pH محیط از جمله عوامل مهم در انحلال‌پذیری عناصر می‌باشد که در حین ادامه نتایج این تحقیق در مورد تاثیر این پارامتر در انحلال‌پذیری هر عنصر تجزیه و تحلیل صورت خواهد گرفت.

۳-۴-۳- جذب و واجذب

بسیاری از یونها از طریق فرآیندهای جذب سطحی از آبهای طبیعی جدا می‌شوند. کانی‌های رسی و به‌خصوص مونت‌موریلونیت ظرفیت جذب سطحی بالایی دارند. بسیاری از یونهای کمپلکس (برای مثال کمپلکس‌های حاوی آرسنیک و مونت‌موریلونیت) و یونهای فلزات سنگین نیز جذب سطحی گردیده و بوسیله کلئیدهای طبیعی از محلول خارج می‌شوند (هیو آر و رولینسون، ۱۳۸۴). 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). pH خاک برحلالیت و حالت‌های مختلف عناصر و در نتیجه جذب آنها اثر بسزایی می‌گذارد. به طور مثال با افزایش pH، میزان کروم جذب شده بر روی سطح خاک افزایش می‌یابد و در pH بیشتر از ۵/۵ بصورت هیدروکسید کروم سطح ذرات خاک رسوب می‌کند. در حالی که با کاهش pH، تمایل کروم به جذب توسط بارهای منفی افزایش می‌یابد. (سلماسی، ۱۳۸۶).

۳-۴-۴- پتانسیل یونی

پتانسیل یونی هر عنصر در رسوبگذاری و در تمام فرآیندهای کانی‌ساز در محیط‌های آبگین نقش مهمی ایفا می‌کند. با استناد به پتانسیل یونی می‌توان توضیحی برای رفتار مشابه عناصر متفاوت ارائه نمود. عناصری که پتانسیل یونی پایینی دارند، مانند Na، Ca و Mg در ضمن فرآیندهای هوازدگی، انتقال به صورت محلول باقی می‌مانند. عناصر دارای پتانسیل یونی حد وسط Fe، Al، Mn و Be به

وسیله فرآیندهای هیدرولیز رسوب کرده و عناصری که بیشترین پتانسیل یونی را دارند مانند S.P, B. تشکیل آنیونهای کمپلکس قابل حل را می‌دهند. آهن در حالت دو ظرفیتی به صورت محلول و پایدار است، بنابراین، پیش از آن که آهن بتواند رسوب کند باید اکسیده شده و به حالت فریک که از پتانسیل بسیار بالاتری برخوردار است درآید. منگنز نیز به همین شکل و به صورت یونهای منگان محلول پایداری را تشکیل می‌دهد و به صورت یونهای چهار ظرفیتی آبدار رسوب می‌کند (میسون و کارلتون، ۱۳۷۳).

۳-۵- حذف کروم

امروزه حضور فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی به دلیل انحلال پایین و ماندگاری آنها در آبها، باعث آلودگی محیط زیست و به خطر افتادن سلامتی انسانها و دام می‌شوند. جهت حذف کروم از محلولهای آبی تا کنون روشهای مختلفی در ایران و جهان انجام شده است. روشهای بیولوژیکی به دلیل سادگی و کم هزینه بودن و اخیرا مورد استفاده بیشتری قرار گرفته‌اند. از آنجا که کروم شش ظرفیتی برای انسان و محیط زیست عامل خطر زا و آلاینده محسوب می‌شود. به بررسی مطالعات و تحقیقات انجام شده بر روی حذف کروم VI از محلولهای آبی با استفاده از مواد بیولوژیکی پرداخته شده است. تحقیقاتی در مورد حذف کروم VI از محلولهای آبی با استفاده از پوست گردو (Wang et al, 2008) و پوسته فندق (Koby, 2003) انجام شده‌اند. اثرات ۵ فاکتور (pH، زمان تماس، غلظت ماده جذب شده و جاذب و دما) در میزان حذف کروم مورد بررسی قرار گرفتند. از دی کرومات پتاسیم به عنوان ماده جذب شونده استفاده شد. بیشترین حذف کروم در pH=1 صورت گرفت، به طوریکه ۹۳٪ حذف کروم توسط پوست گردو و پوسته فندق در این pH بدست آمد.

۳-۶- مطالعات انجام گرفته در منطقه مورد مطالعه

۳-۶-۱- زمین شناسی

- شرکت ملی نفت ایران در سال (۱۹۵۹) نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین شناسی ایران را تهیه کرد. که ویژگی‌های زمین شناسی خاور ایران نیز در این نقشه منتشر شد.
- نتایج بررسی زمین شناسی پهنه لوت و خاور ایران توسط سازمان زمین شناسی در سال (۱۹۷۲) منتشر شد.
- بررسی ویژگی‌های زمین شناسی بخش شمالی کمربند خاور ایران توسط سازمان زمین شناسی کشور تحت عنوان "بررسی مقدماتی زمین شناسی لوت مرکزی و خاور ایران" در سال ۱۳۵۲ منتشر شد که در آن افتخار نژاد و دیگران مدل فرگشت زمین شناختی را برای خاور ایران با تکیه بر انگاره زمین ساخت ورقه ای ارائه دادند و از آن منطقه به عنوان فلیش و کالرد ملانژ یاد کرده اند.
- گزارش شماره ۵۱ سازمان زمین شناسی ایران مقاله ای در ارتباط با جایگاه زمین ساختی افیولیت‌های جنوب بیرجند است که توسط اوهانیان (۱۳۵۲) ارائه گردیده است.
- افتخارنژاد (۱۳۶۵) در گزارش شماره ۵۷ سازمان زمین شناسی ایران تحت عنوان "پروژه خاور ایران" گزارش شماره ۱ بخش جنوب پهنه سیستان و بلوچستان را مورد بررسی قرار داد و در سال (۱۳۶۶) نیز نقشه زمین شناسی بیرجند توسط نامبرده از طرف سازمان زمین شناسی ایران منتشر شد.
- نقشه‌های زمین شناسی خوسف با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ توسط افتخارنژاد در سال ۱۳۶۵ و بیرجند با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ توسط افتخارنژاد در سال (۱۳۶۶) از سوی سازمان زمین شناسی انتشار یافت.
- خطیب در سال (۱۳۶۸) تحلیل ساختارهای کوههای جنوب بیرجند را موضوع رساله فوق لیسانس خود انتخاب کرده و در آن به تحلیل ساختاری کوههای جنوب بیرجند پرداخته است.

- ابراهیمی در سال (۱۳۷۸) به بررسی کانسارهای کرومیت شرق ایران با خاستگاه زمین شناسی و پتانسیل صنعتی آنها پرداخته است، قبل از این نیز اشتوکلین و همکاران در سال ۱۳۵۲، در گزارش ۲۲ سازمان زمین شناسی کشور، به مواد معدنی خاور ایران اشاراتی داشته‌اند.
- زرین کوب در سال (۱۳۷۹) در رساله دکتری خود تحت عنوان "پترولوژی ژئوشیمی مجموعه‌های افیولیت جنوب بیرجند" به بررسی مجموعه افیولیت جنوب بیرجند پرداخته است.
- زرین کوب و خطیب در سال (۱۳۸۱) مقاله ای با عنوان "یک توالی کامل افیولیتی در جنوب بیرجند، خاور ایران" را در مجله علوم دانشگاه تهران به چاپ رساندند.
- زرین کوب و خطیب در سال (۱۳۸۱) به بررسی " جایگاه سنگ شناختی کانسارهای کرومیت در افیولیت ملانژهای جنوب شرق ایران (بیرجند - گزیک)" پرداختند.
- زرین کوب در سال (۱۳۸۴) پروژه‌ای را تحت عنوان "پی جویی کرومیت در افیولیت ملانژهای جنوب شرق خراسان (بیرجند-گزیک)" انجام داده است.

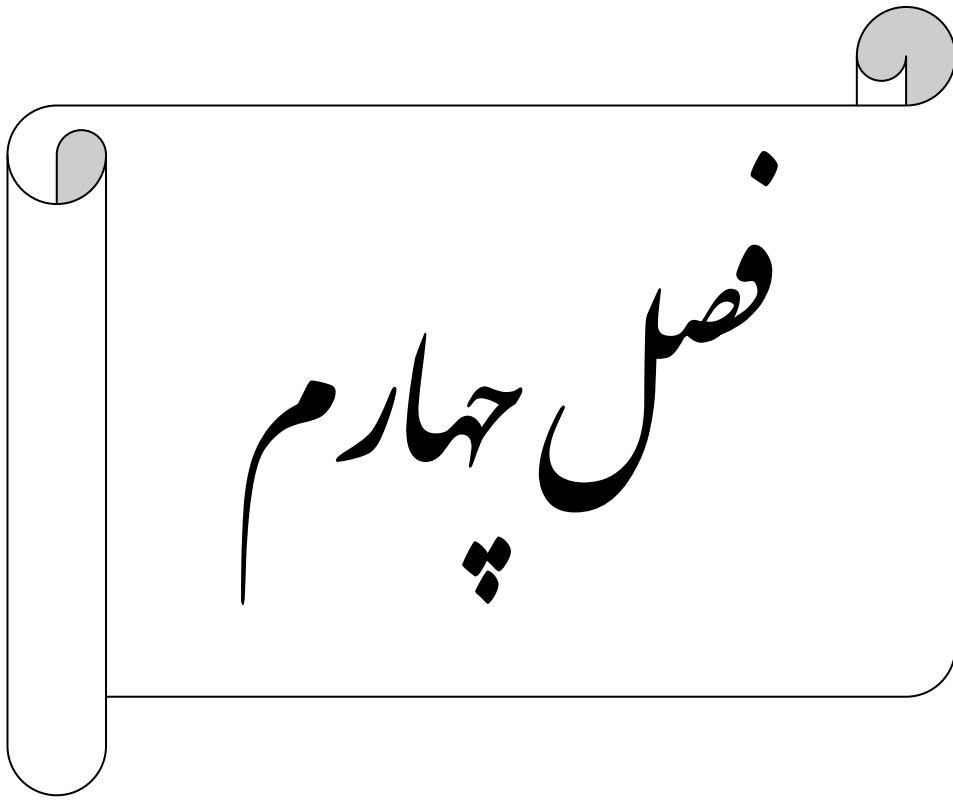
۳-۶-۲- هیدروژئوشیمی

- باریک بین در سال ۱۳۷۶ به بررسی وضعیت کیفی و کمی کروم در منابع آب آشامیدنی شهر بیرجند و ارائه راه حل مناسب برای حذف آن پرداخت. آزمایشات نشان داد که ۷۲ درصد از نمونه‌های برداشت شده از آب چاه‌های مورد نظر و ۱۰۰ درصد نمونه‌های برداشت شده از شبکه آبرسانی شهر دارای غلظت کروم شش ظرفیتی بیش از حداکثر مجاز (۰/۰۵ میلی گرم در لیتر) بوده‌اند.
- ضیاء در سال ۱۳۸۳ هیدروژئولوژی آبخوان دشت بیرجند و تاثیرات طرح‌های تغذیه مصنوعی بر آن را بررسی کرده است.
- تحقیقی در مورد پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی با استفاده از شبکه مصنوعی در دشت بیرجند انجام گرفت. نتایج به دست آمده موید این مطلب بود که این شبکه‌ها قادر به پیش‌بینی سطح آب تا ۱۲ ماه آینده می‌باشند (محتشم و همکاران، ۱۳۸۸).
- مقاله ای تحت عنوان " بررسی آلاینده‌های زیست‌محیطی غیرصنعتی بر روی آبهای زیرزمینی دشت بیرجند" توسط کاردان مقدم و همکاران در سال (۱۳۸۹) به چاپ رسیده است. در این مطالعه بررسی

منابع آلاینده غیر صنعتی در دشت بیرجند و بیشتر اطراف شهر بیرجند انجام شده است و میزان آلاینده‌های ناشی از فاضلاب شهری و روستایی و زباله‌های شهری و روستایی، منابع آلودگی مراکز خدماتی و آلودگی غیرصنعتی بررسی شد. میزان حجم فاضلاب خانگی شهری و روستایی در دشت بیرجند به ترتیب ۱۶۹۸۴ و ۲۴۰۷ متر مکعب در روز می‌باشد.

- کاردان مقدم و همکاران در سال (۱۳۸۹) تحقیقی دیگر با نام "شناسایی مناطق آسیب‌پذیر به آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص Drastic در محیط GIS مطالعه موردی: دشت بیرجند-خراسان جنوبی" را به انجام رسانده‌اند. در این مطالعه با استفاده از هفت پارامتر محیطی که برای نشان دادن وضعیت آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند مورد مطالعه قرار گرفت، نقشه‌های مدل Drastic تهیه و با استفاده از این نقشه‌ها شاخص آسیب‌پذیری محاسبه گردید. نتایج شاخص Drastic در این تحقیق بین ۶۰ بدون خطر آلودگی تا ۱۵۳ آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد.

- پایان‌نامه‌ای با عنوان "ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند" توسط شیخ وانلو در سال (۱۳۸۵) انجام شد. در این تحقیق نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت بیرجند در مقابل آلودگی با استفاده از مدل‌های GODS و DRASTIC در محیط GIS تهیه شد. مقایسه نتایج حاصل از دو مدل نشان می‌دهد که مدل DRASTIC آسیب‌پذیری آبخوان را کمتر از مدل GODS برآورد می‌کند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری حاصل از دو مدل، آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان بیرجند در سه گروه آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد ارزیابی شده است. لازم به ذکر می‌باشد که تا به حال تحقیق جامعی در مورد کیفیت منابع آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند از نظر غلظت فلزات سنگین و ارتباط آن با شرایط زمین‌شناسی و ژئوشیمی منطقه صورت نپذیرفته است.



مواد و روش‌ها

۴-۱- کلیات

در این تحقیق جهت بررسی ژئوشیمیایی آلودگی در منابع آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند، نمونه-برداری از چاه‌های محدوده مورد مطالعه به صورت انتخابی در دو نوبت شامل پایان فصل تر (اردیبهشت ماه) و پایان فصل خشک (مهر ماه) سال ۱۳۸۹ صورت گرفت. نمونه‌برداری رسوب و سنگ نیز در اواخر مرداد ماه سال ۱۳۸۹ از محل‌های تعیین شده انجام گرفت. در این فصل به نحوه تعیین محل‌های نمونه‌برداری و نحوه نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی، رسوب و سنگ، طریقه آماده سازی آنها و روش‌های آنالیز صورت گرفته از نمونه‌های آب، سنگ و رسوب پرداخته شده است.

۴-۲- نمونه برداری

با توجه به هدف تحقیق و وسعت منطقه تعداد نمونه‌ها مشخص گردید. در این تحقیق بعد از جمع‌آوری اطلاعات درباره چاه‌های در حال بهره‌برداری در جنوب دشت بیرجند اعم از شرب و کشاورزی، نمونه‌برداری از کل چاه‌های شرب در محدوده مورد مطالعه و تعدادی از چاه‌های کشاورزی صورت گرفت. سعی شد که محل‌های نمونه‌برداری با پراکندگی یکنواخت و فواصل یکسان انتخاب شوند. نمونه‌برداری در سال ۱۳۸۹ به صورت دوره‌ای، در پایان دو فصل خشک و تر برای منابع آبی (اردیبهشت ماه و مهرماه) و یک دوره نمونه‌برداری رسوب و سنگ انجام گردید.

۴-۲-۱- نمونه‌برداری آب

در محدوده مورد مطالعه حدود ۱۴۰ منبع آبی وجود دارد. معیارهایی که بر اساس آنها نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی صورت گرفت شامل موارد زیر می‌باشند:

- نمونه‌برداری بر اساس پراکندگی یکنواخت چاه‌ها در دشت، با فواصل یکسان و تقریباً در یک مسیر به صورت عمودی از ارتفاعات به سمت دشت تا رودخانه اصلی دشت بیرجند (رودخانه شاهرود) و تقریباً به فاصله ۳ کیلومتری از یکدیگر در طول دشت با هدف بررسی تاثیر سازندهای زمین شناسی بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی صورت پذیرفت.
- نمونه‌برداری بر اساس اهمیت و موارد استفاده منبع آب در محدوده مورد مطالعه انجام گرفت. تقریباً یک سوم از چاه‌هایی که در محدوده مورد مطالعه قرار دارند، برای نمونه برداری انتخاب شدند

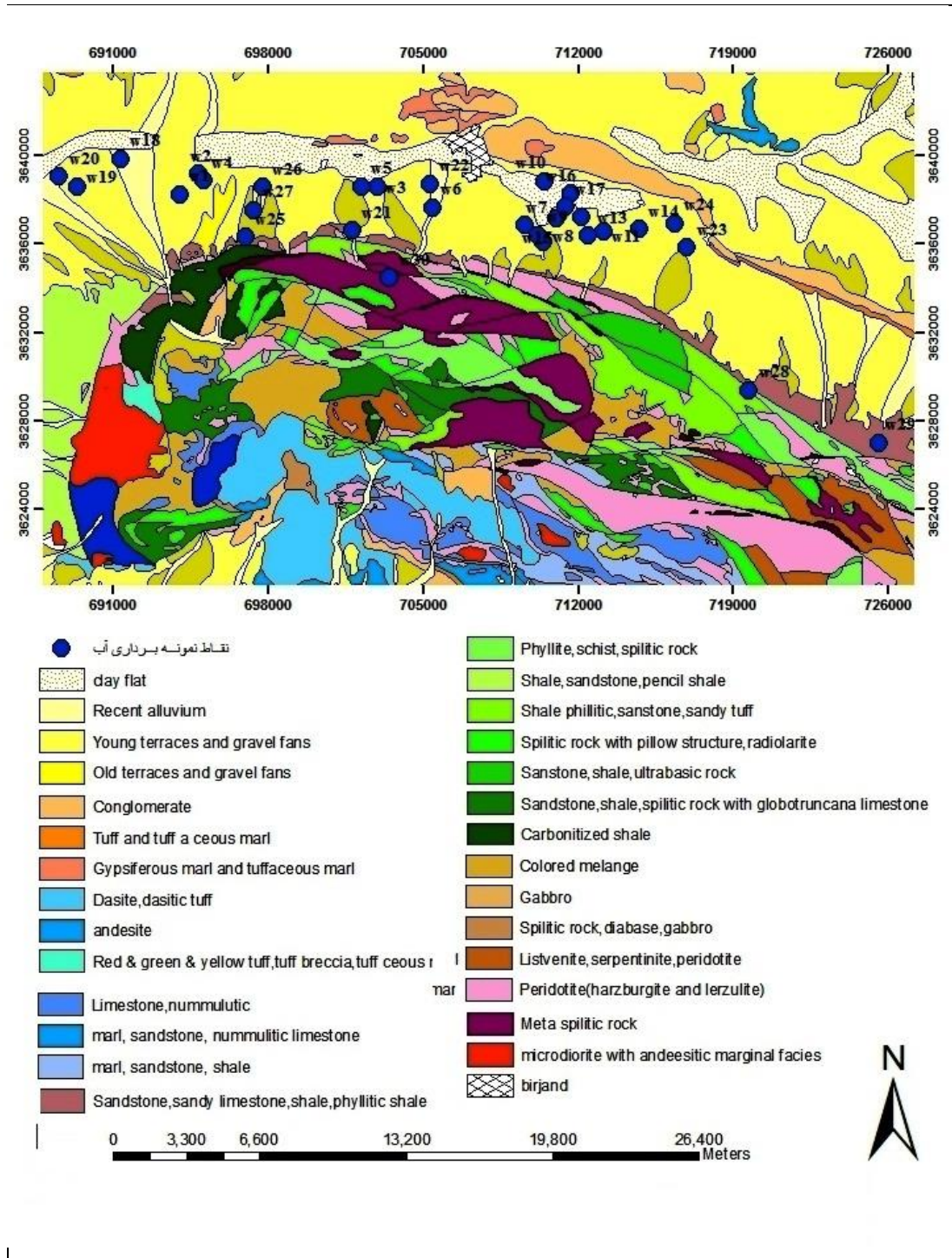
به طوریکه این چاهها نماینده نحوه توزیع عناصر در دشت و نشان دهنده کیفیت آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند هستند.

قبل از برداشت هر نمونه آب، ظروف توسط آب همان منبع ۳ بار شسته شدند. مجموعاً از ۲۷ چاه ۲ قنات و یک چشمه نمونه برداری صورت گرفت. از هر منبع آبی دو نمونه یکی جهت آنالیز کاتیون و آنیون های اصلی و دیگری آنالیز ICP-MS برداشت شد. محل های نمونه برداری از منابع آب در شکل ۱-۴ و موقعیت محل های نمونه برداری در جدول ۱-۴ آورده شده است.

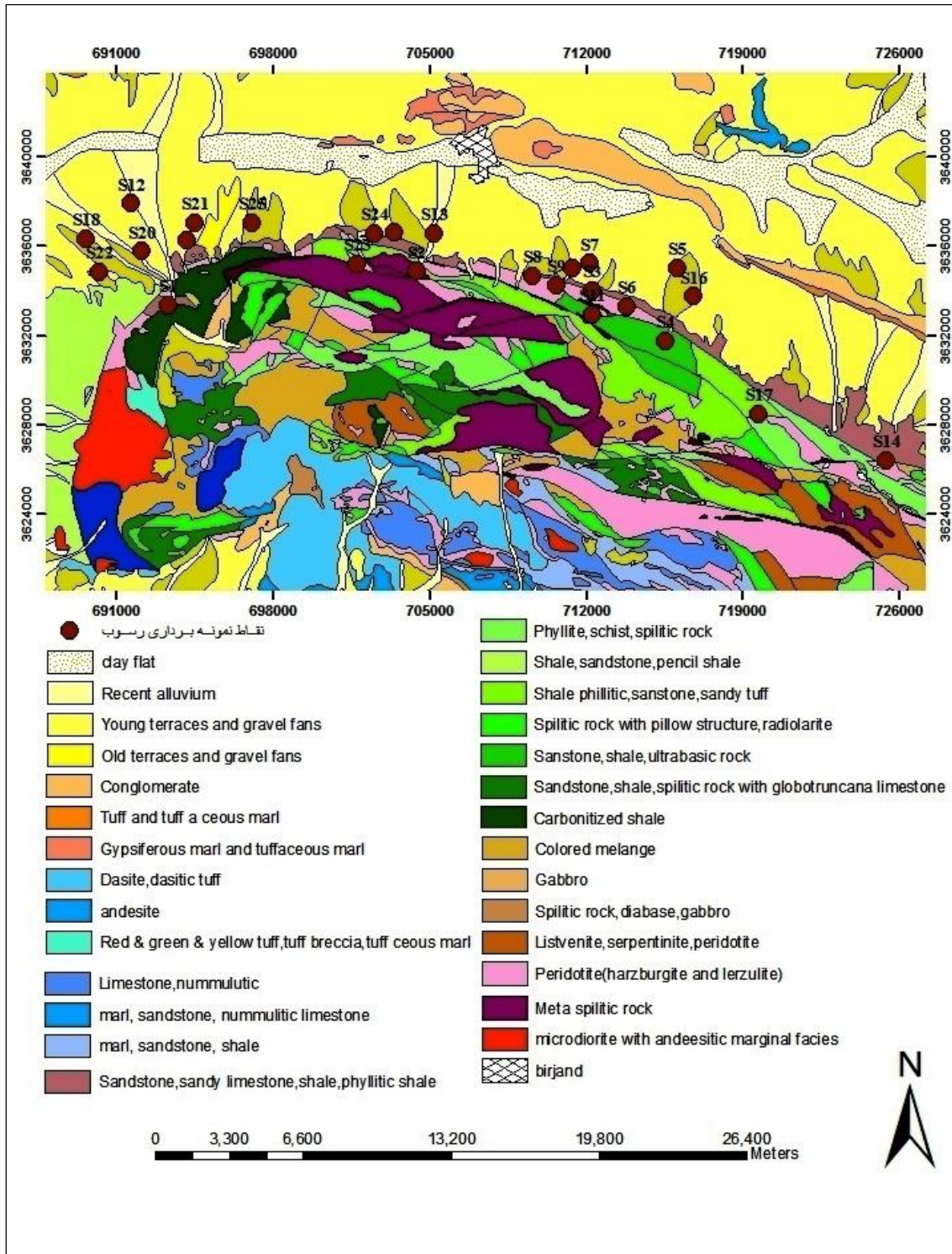
۲-۲-۴- نمونه برداری رسوب و سنگ

جهت بررسی ارتباط کیفیت و آلودگی منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه با ژئوشیمی منطقه از رسوبات آبراهه های اصلی منتهی به چاهها و منابع آبی دیگر به تعداد ۲۵ نمونه از عمق ۳۰-۱۰ سانتی متر و از وسط آبراهه برداشت شدند. مختصات نقاط نمونه برداری شده از رسوبات و محل های نمونه برداری در جدول ۲-۴ و شکل ۲-۴ آورده شده است.

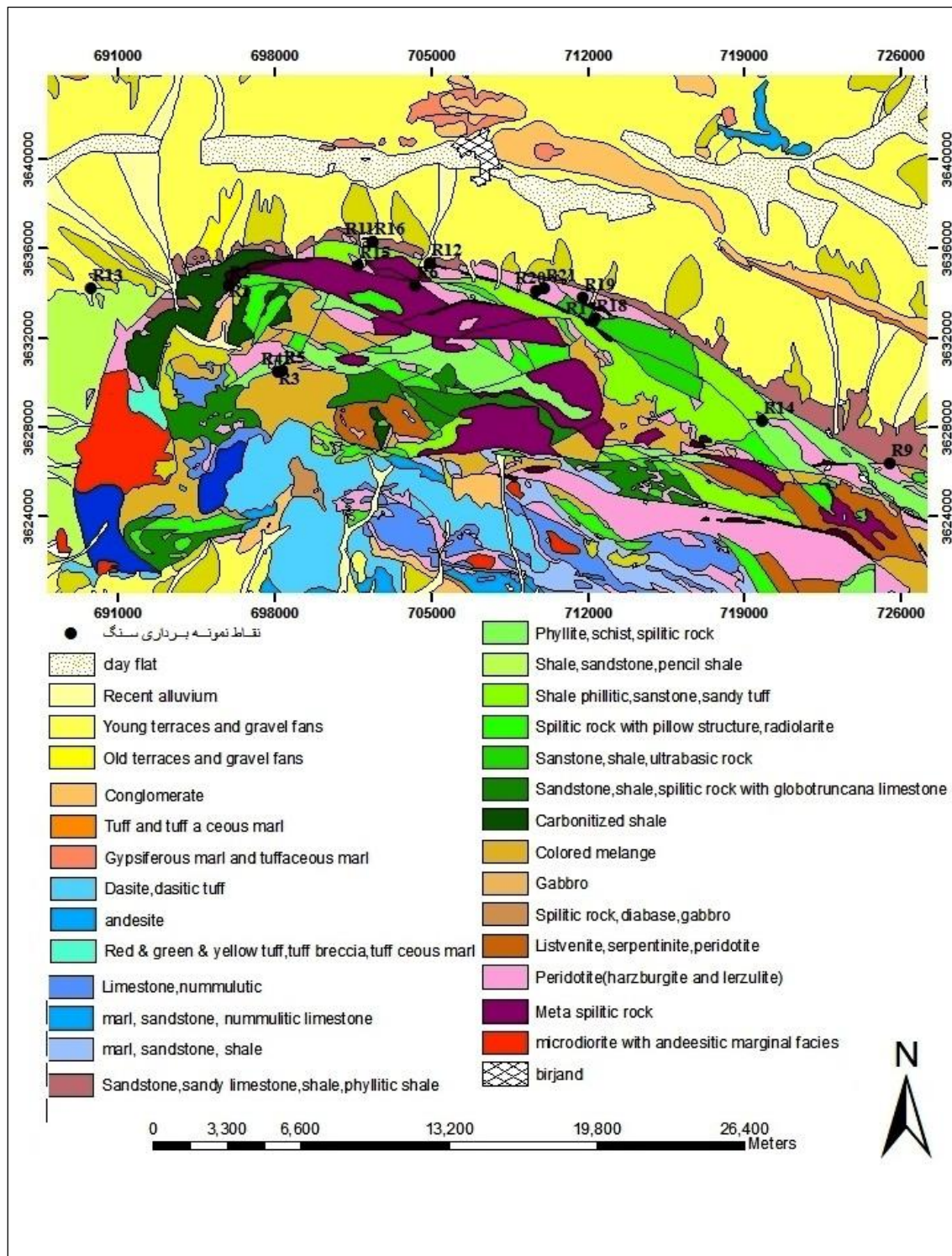
با توجه به نقش سنگ های منطقه در تولید رسوبات آبراهه ای و در نهایت تأثیر آنها بر کیفیت منابع آب زیرزمینی، بعد از بررسی های زمین شناسی و بازدید صحرایی از سازندهای مختلف زمین شناسی مرتبط با چاه های آب زیرزمینی و قنات ها و چشمه مورد نظر، ۱۸ نمونه سنگی برداشت گردید. بعد از تهیه مقاطع نازک از نمونه های مورد نظر، کانی های تشکیل دهنده سنگ ها به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفت. در جدول ۳-۴ مختصات نقاط نمونه برداری شده از سنگها و در شکل ۳-۴ موقعیت نمونه های سنگی برداشت شده، آورده شده است.



شکل ۴-۱- محل‌های نمونه‌برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۲- محل‌های نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه ای در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۳- محل‌های نمونه‌برداری سنگ در محدوده مورد مطالعه

جدول ۴-۱- مشخصات محللهای نمونه برداری شده از منابع آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند

مختصات نمونه برداری		نوع منبع	نام منبع آبی	شماره منبع
Y	X			
3638208	694047	چاه	۶ رکات	w1
3639141	694863	چاه	۵ رکات	w2
3638571	702916	چاه	۱۰ رکات	w3
3638836	695082	چاه	۸ رکات	w4
3638571	702222	چاه	۹ رکات	w5
3637634	705413	چاه	۱۱ رکات	w6
3636823	709614	چاه	۱۰ علی آباد	w7
3636061	710445	چاه	۶ علی آباد	w8
3636382	710213	چاه	۷ علی آباد	w9
3638830	710498	چاه	۱۲ علی آباد	w10
3636556	713129	چاه	۱۳ علی آباد	w11
3637223	712148	چاه	۸ علی آباد	w12
3636358	712449	چاه	۱۱ علی آباد	w13
3636653	714737	چاه	۱۴ علی آباد	w14
3637129	711006	چاه	اداره راه	w15
3638249	711652	چاه	بوستان مهدیه	w16
3637660	711456	چاه	برزگانی	w17
3639834	691350	چاه	محمدیه	w18
3638540	689396	چاه	آموزش کشاورزی ۱	w19
3639028	688600	چاه	آموزش کشاورزی ۲	w20
3636588	701790	چاه	چهکند	w21
3638678	705317	چاه	پارک جنگلی	w22
3635822	716926	چاه	بجد	w23
3636915	716355	چاه	حاجی آباد	w24
3636295	697016	چاه	پورشمسپان	w25
3638554	697775	چاه	شمس آباد	w26
3637525	697376	چاه	شمس آبادی	w27
3629355	719716	قنات	بوشاد	w28
3626997	725574	قنات	نصرآباد	w29
3634440	703504	چشمه	بند عمرشاه	w30

جدول ۴-۲- موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری از رسوبات منطقه مورد مطالعه

مختصات نمونه برداری		شماره نمونه
Y	X	
3633344	693309	S1
3634871	704434	S2
3634000	712253	S3
3631763	715523	S4
3635004	716059	S5
3633282	713821	S6
3635226	712125	S7
3634641	709609	S8
3634249	710650	S9
3634977	711384	S10
3632932	712250	S11
3637901	691669	S12
3636576	705175	S13
3626405	725386	S14
3636590	703447	S15
3633732	716757	S16
3628499	719720	S17
3636339	689648	S18
3636278	694148	S19
3635753	692161	S20
3637050	694502	S21
3634821	690265	S22
3635179	701782	S23
3636562	702512	S24
3637031	697052	S25

جدول ۴-۳- موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	سنگ نمونه‌شماره	
695984	695984	698167	698167	698369	704325	725529	702419	704974	X	برداری نمونه قاط مختصات
3634370	3634370	3630479	3630479	3630535	3634354	3626421	3636308	3635343	Y	
R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	سنگ نمونه‌شماره	
689826	719816	701768	702419	712245	712315	711800	709685	710061	X	برداری نمونه قاط مختصات
3634235	3628310	3635247	3636308	3632750	3632891	3633794	3634137	3634235	Y	

۴-۳- آنالیز نمونه‌ها**۴-۳-۱- تعیین pH آب**

جهت جلوگیری از هر گونه تغییر، pH نمونه‌های آب برداشت شده توسط pH متر صحرایی با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ در محل ثبت گردید.

۴-۳-۲- تعیین pH رسوبات

pH نمونه‌های رسوب با استفاده از روش استاندارد METHOD 9045 EPA sw-846 در آزمایشگاه اندازه‌گیری و تعیین گردید. بر طبق این روش مقداری از پودر همگن رسوب که بعد از آماده سازی از الک شماره ۶۰ عبور داده شده است، همراه با آب مقطر (به نسبت ۱ به ۱) در بشر ریخته شده و به مدت ۳۰ دقیقه توسط دستگاه استیرر مخلوط می‌گردد و بعد از یک ساعت ماندن، سپس pH عصاره مخلوط شده توسط pH متر اندازه‌گیری گردید.

۴-۳-۳- تعیین EC آب

برای سنجش هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری، از دستگاه EC متر صحرایی مدل (Jenway) استفاده شد.

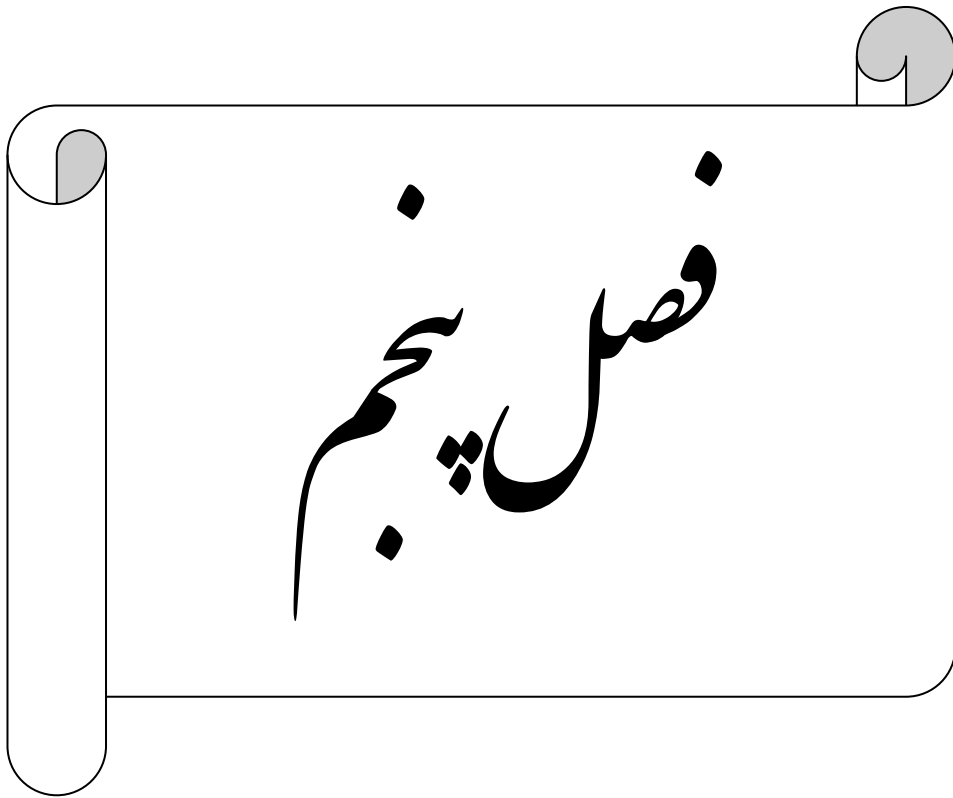
۴-۳-۴- تعیین برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب

نمونه‌های آب برداشت شده از منابع آب جهت آنالیز کاتیون‌ها (K^+ و Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+) و آنیون‌ها (Cl^- و HCO_3^- , CO_3^{-2} , SO_4^{-2}) و TSS و TDS و سختی موقت و سختی کل به آزمایشگاه آب، خاک و گیاه، شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کاوش آب شرق خراسان جنوبی ارسال شدند.

۴-۳-۵- آنالیز ICP-MS منابع آب و رسوبات

نمونه‌های آب گرفته شده از منابع آبی که به وسیله اسید نیتریک به pH=3 رسیده بودند و نمونه‌های رسوبات آبراه‌های عبور داده شده از مش ۶۰ جهت آنالیز به روش ICP-MS از طریق شرکت کانساران بینالود مشهد به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شدند. با استفاده از این روش غلظت ۷۲ عنصر در نمونه‌های آب و ۳۲ عنصر در نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری گردید. با توجه به غلظت عناصر، اولویت-

های زیست‌محیطی و سنگ‌شناسی، تعدادی از عناصر جهت بحث و تجزیه و تحلیل کیفیت منابع آب و خاک انتخاب گردیدند.



ژئوشیمی رسوبات و ارتباط آنها با سنگهای
منطقه

۵-۱- مقدمه

در بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر، حالتها و رفتارهای مختلف عناصر در سنگها و کانیها و رسوبات مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند. غلظت عناصر در رسوبات آبراهه‌ای منطقه جهت بررسی‌های ژئوشیمیایی با روش ICP اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۵-۱ آورده شده است. در این فصل به بررسی ژئوشیمیایی عناصر موجود در رسوبات آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. در این راستا با بررسی همبستگی عناصر با یکدیگر و نحوه توزیع و پراکنش عناصر در رسوبات آبراهه‌ای منطقه و محاسبه ضرایب و فاکتورهای مختلف، خصوصیات ژئوشیمیایی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

۵-۲- بررسی همبستگی عناصر در رسوبات آبراهه‌ای منطقه

همبستگی بین عناصر نشان دهنده رفتار ژئوشیمیایی مشترک بین آنها می‌باشد. همبستگی بین عناصر در رسوبات آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه در جدول ۵-۲ آورده شده است. نتایج بدست آمده از بررسی همبستگی عناصر نشان می‌دهند که Pb با Zn (+۰/۹۵۹)، Ag (+۰/۸۷۳) و Cu (+۰/۹۶۳) همبستگی مثبت بالایی را نشان می‌دهد. این امر را می‌توان به حضور لیستونیت‌های کربناته در منطقه مورد مطالعه که از دگرسانی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده به وجود می‌آیند و می‌توانند حاوی عناصر فلزی از جمله Cu، Zn، Pb، Ag باشند (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴) نسبت داد. نحوه توزیع و پراکنش این عناصر بر روی نقشه زمین شناسی نیز این همبستگی و پراکنش یکسان آنها را به خوبی نشان می‌دهد. همبستگی مثبت Ni با Cr (+۰/۹۳۴) نشان از منشاء مشترک این عناصر در سنگهای اولترامافیکی می‌باشد، به طوری که هوازدگی سنگ‌های افیولیتی به ویژه سنگ‌های سرپانتینی شده، خاک‌ها و رسوباتی با غلظت‌های بالایی از Cr و دیگر عناصر سنگین از قبیل Ni ایجاد می‌کنند.

همچنین Ba با Na (+۰/۶۹۷) همبستگی مثبت را نشان می‌دهد. تنها عنصر دارای اندازه یونی قابل مقایسه با باریم، پتاسیم است. بنابراین Ba بیشتر در بیوتیت و فلدسپار پتاسیم دار یافت می‌شود. باریم همچنین در پلاژیوکلاز و هورنبلند نیز می‌تواند جای گیرد (میسون و کارلتون، ۱۳۷۳). از آنجا که سدیم با پتاسیم همبستگی دارد، در نتیجه باریم با پتاسیم نیز همبستگی نشان می‌دهد.

همبستگی مثبت K با Na (+۰/۷۲۲) نیز به دلیل حضور لیستونیت‌ها در منطقه که حاوی K_2O و Na_2O بوده، می‌باشد، که مقدار آنها در این سنگها خیلی کم گزارش شده است (زرین کوب و

همکاران، ۱۳۸۴). همچنین همبستگی مثبت این دو عنصر می‌تواند دلیلی بر منشاء مشترک این عناصر و رفتار ژئوشیمیایی نسبتاً مشابه آنها باشد، به طوری که نقشه پراکنش این دو عنصر نیز شباهت بسیار زیادی به یکدیگر داشته و همبستگی بالای این دو عنصر را تایید می‌نماید (شکل ۵-۱۵ و ۵-۱۶).

همبستگی مثبت و بالای Mg با Ni (+۰/۹۷۱) و Cr (+۰/۹۷۶) نیز نشان از جانشینی گسترده این فلزات در کانیه‌های اولیوین و پیروکسنها دارد که با توجه به حضور فراوان این کانیه‌ها در سنگهای پریدوتیتی، رسوبات منطقه نیز از غلظت بالای این عناصر برخوردار بوده و نقشه پراکنش این عناصر نیز از یکدیگر تبعیت می‌کنند (شکل ۵-۷، ۵-۱۰ و ۵-۱۴) که موید همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی آنها با یکدیگر می‌باشد. As با Ba (+۰/۷۱۵) همبستگی مثبت نشان می‌دهد که حضور آرسنیک و باریم در لیستونیت‌های کربناته، می‌تواند تاییدی بر منشاء مشترک آنها باشد. ماهیت ژئوشیمیایی مشابه آلومینیم و آهن باعث همبستگی مثبت (+۰/۶۹۲) این دو عنصر گردیده است.

جدول ۵-۱- غلظت عناصر در نمونه‌های رسوب جنوب دشت بیرجند

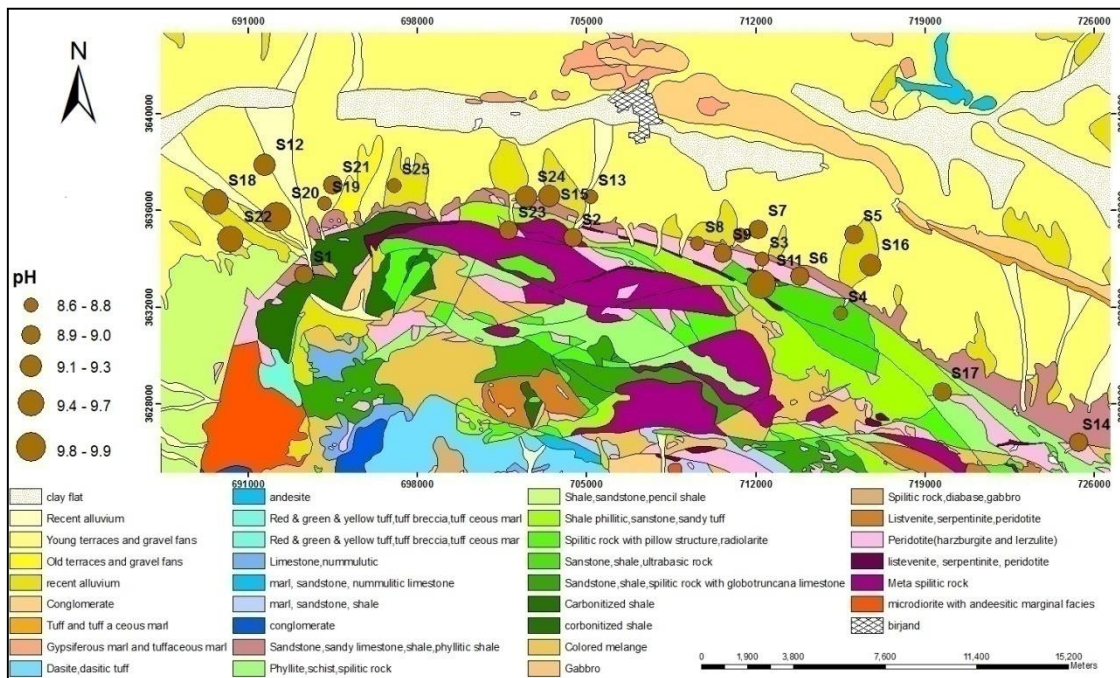
pH	%						ppm										رسوب‌های نمونه
	Mg	Ca	Fe	K	Na	Al	Ga	Ba	Cr	Au	As	Ni	Ag	Zn	pb	Cu	
9	8.00	4.80	3.80	0.07	0.060	1.90	4.0	48	424.8	0.001	6.9	565	0.14	221.0	34.70	481.50	S1
9	7.10	3.40	3.80	0.05	0.010	2.90	4.4	20.8	451.0	0.008	3.8	535	0.23	475.4	61.00	1120.40	S2
8.8	6.80	4.00	3.30	0.07	0.010	1.90	4.0	32.3	413.2	0.001	5.8	513	0.18	239.0	24.50	413.70	S3
8.7	9.70	2.50	3.50	0.07	0.007	1.70	3.2	26	566.4	0.007	5.7	814	0.16	282.0	42.50	662.60	S4
9	6.20	4.00	3.50	0.16	0.011	1.70	3.8	64.2	400.0	0.008	6.5	501	0.08	102.7	18.60	139.00	S5
9	7.20	2.40	3.60	0.10	0.008	1.50	4.0	39.4	455.0	0.004	8.2	658	0.05	116.0	21.40	179.40	S6
8.9	6.50	3.70	3.70	0.13	0.009	2.60	4.6	43.6	453.7	0.017	5.6	507	0.08	83.0	11.80	105.30	S7
8.7	6.50	3.80	3.10	0.15	0.015	1.40	3.6	76	377.0	0.018	7.0	554	0.04	72.6	13.60	78.60	S8
9	8.00	2.70	3.40	0.13	0.008	1.70	3.5	42.2	492.0	0.067	8.2	748	0.04	80.0	15.40	100.30	S9
8.8	3.70	4.10	3.60	0.34	0.016	3.00	6.0	89.8	180.0	0.008	8.1	221	0.07	104.0	18.20	129.60	S10
9.9	6.90	3.30	3.50	0.07	0.011	2.00	4.5	42.2	413.5	0.161	6.7	482	0.07	143.0	21.30	250.00	S11
9.3	5.80	5.50	3.40	0.14	0.021	1.90	4.0	81.5	325.2	0.008	8.0	470	0.08	180.3	30.70	366.00	S12
8.7	8.60	4.00	4.00	0.07	0.008	2.50	4.4	24.4	557.0	0.006	3.9	635	0.08	136.8	21.10	281.60	S13
8.9	7.40	4.00	3.20	0.06	0.013	1.50	3.2	26.2	435.3	0.005	5.9	627	0.08	175.4	24.80	344.30	S14
9.2	7.60	4.80	3.80	0.05	0.009	3.00	4.3	26.3	486.0	0.004	4.4	585	0.07	134.8	18.50	283.00	S15
9.3	7.90	5.00	3.60	0.10	0.008	1.60	3.4	56.5	501.4	0.004	8.0	672	0.02	66.0	11.70	73.80	S16
9	6.30	2.40	3.50	0.10	0.009	1.60	4.0	40.3	373.5	0.009	7.7	527	0.06	122.0	20.30	172.20	S17
9.5	5.20	4.00	3.80	0.14	0.012	1.60	3.8	71.8	312.0	0.003	14.5	417	0.08	147.2	25.00	249.60	S18
8.7	5.00	5.60	3.80	0.10	0.013	1.70	4.4	113.3	269.2	0.007	9.9	359	0.06	126.5	22.30	193.30	S19
9.9	6.60	4.40	3.40	0.14	0.014	1.70	4.0	69.2	386.2	0.006	7.8	556	0.06	120.5	18.20	211.40	S20
9	4.00	5.70	3.50	0.15	0.012	2.00	4.3	110.7	229.0	0.004	12.7	304	0.09	156.7	23.80	253.30	S21
9.7	4.60	3.80	3.50	0.08	0.011	1.60	3.7	69.8	296.7	0.003	11.1	359	0.07	187.6	33.60	366.80	S22
8.9	3.00	5.50	3.50	0.09	0.021	2.60	5.5	54.2	169.0	0.007	5.8	152	0.07	154.6	22.40	308.00	S23
9.2	5.00	5.50	4.40	0.09	0.010	3.00	5.2	35	335.0	0.005	5.2	325	0.07	188.5	25.80	385.60	S24
8.6	4.50	4.80	3.50	0.10	0.011	2.00	4.8	50.3	275.0	0.006	8.4	297	0.08	186.7	27.20	347.60	S25

جدول ۵-۲- همبستگی عناصر در رسوبات منطقه مورد مطالعه (مقادیر بالاتر از ۰/۶ ضخیم شده‌اند)

	Cu	pb	Zn	Ag	Ni	As	Au	Cr	Ba	Ga	Al	Na	K	Fe	Ca	Mg	pH
Cu	1																
pb	0.963	1															
Zn	0.991	0.959	1														
Ag	0.932	0.873	0.961	1													
Ni	0.078	0.033	0.027	0.011	1												
As	-0.334	-0.145	-0.282	-0.305	-0.321	1											
Au	-0.145	-0.157	-0.148	-0.121	0.116	-0.061	1										
Cr	0.167	0.072	0.109	0.089	0.935	-0.507	0.149	1									
Ba	-0.409	-0.262	-0.368	-0.327	-0.533	0.716	-0.123	-0.696	1								
Ga	-0.003	-0.049	0.014	0.066	-0.767	-0.149	0.002	-0.611	0.175	1							
Al	0.051	-0.047	0.058	0.054	-0.500	-0.474	-0.119	-0.252	-0.163	0.871	1						
Na	0.051	0.099	0.046	0.054	-0.416	0.086	-0.119	-0.500	0.368	0.293	0.293	1					
K	0.250	-0.368	-0.423	-0.318	-0.379	0.346	-0.094	-0.502	0.599	0.406	0.182	0.201	1				
Fe	0.250	0.111	0.192	0.138	0.078	-0.589	0.041	0.349	-0.633	0.385	0.692	-0.331	-0.333	1			
Ca	-0.070	-0.100	-0.073	-0.134	-0.591	0.148	-0.295	-0.527	0.494	0.377	0.289	0.312	0.067	0.263	1		
Mg	0.194	0.117	0.137	0.225	0.971	-0.468	0.143	0.968	-0.627	-0.646	-0.222	-0.018	-0.462	-0.027	-0.519	1	
pH	-0.071	-0.037	-0.084	-0.215	-0.019	0.286	0.403	-0.023	0.079	-0.133	-0.126	-0.011	-0.077	0.026	0.013	-0.048	1

۳-۵- بررسی تغییرات pH در نمونه‌های رسوب

در محدوده مورد مطالعه مقدار pH رسوبات در بازه ۸/۶-۹/۹ می‌باشد، که این امر نشان‌دهنده حاکمیت محیط قلیایی در رسوبات می‌باشد. یکی از دلایلی که می‌توان قلیایی بودن محیط رسوبی منطقه را به وسیله آن تفسیر کرد این است که پدیده لیستونیتی شدن ناشی از سنگ‌های پریدوتیتی سرپانتینی شده معمولاً در محدوده pH بالا (حدود ۸ تا ۱۰) اتفاق می‌افتد. نقشه پراکنش pH (شکل ۱-۵) نشان می‌دهد که با حضور لیستونیت‌ها در غرب منطقه، مقدار pH نیز در رسوبات این قسمت بیشتر می‌شود.



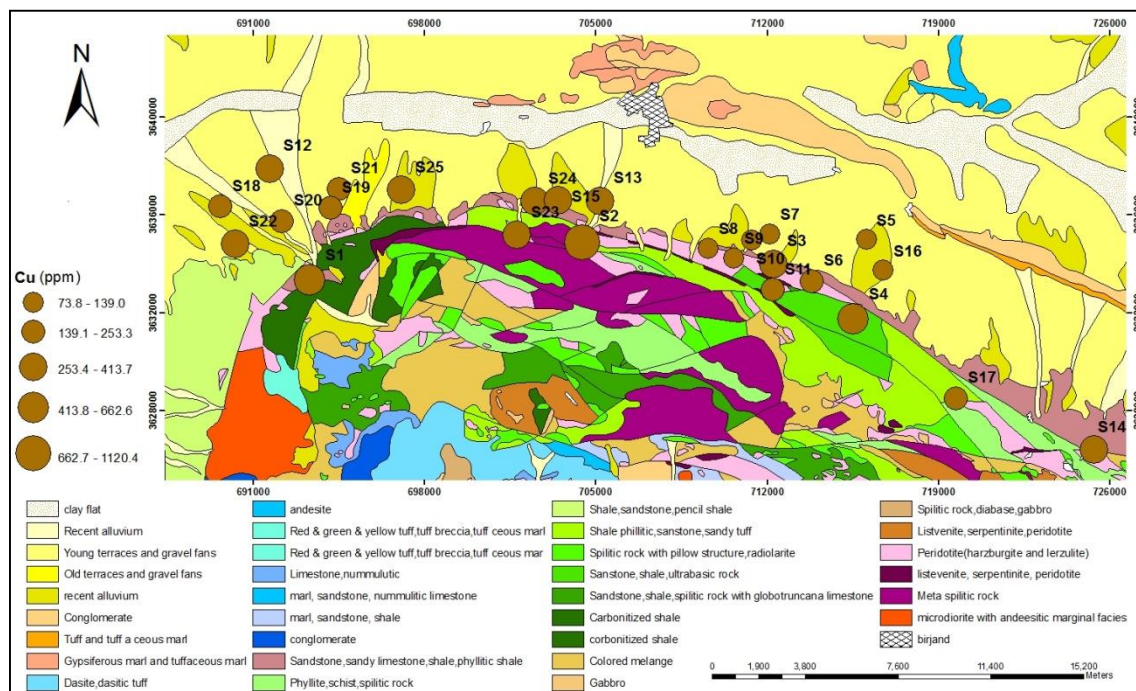
شکل ۱-۵- پراکنش pH در نمونه‌های رسوب

۴-۵- بررسی غلظت عناصر در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱- مس

از نظر ماهیت ژئوشیمیایی، مس جزء عناصر کالکوفیل می‌باشد و بیشتر به صورت سولفیدی یافت می‌شود (میسون و کارلتون، ۱۳۷۳). در منطقه مورد مطالعه کانیه‌های کربناته مس‌دار (مالاکیت و

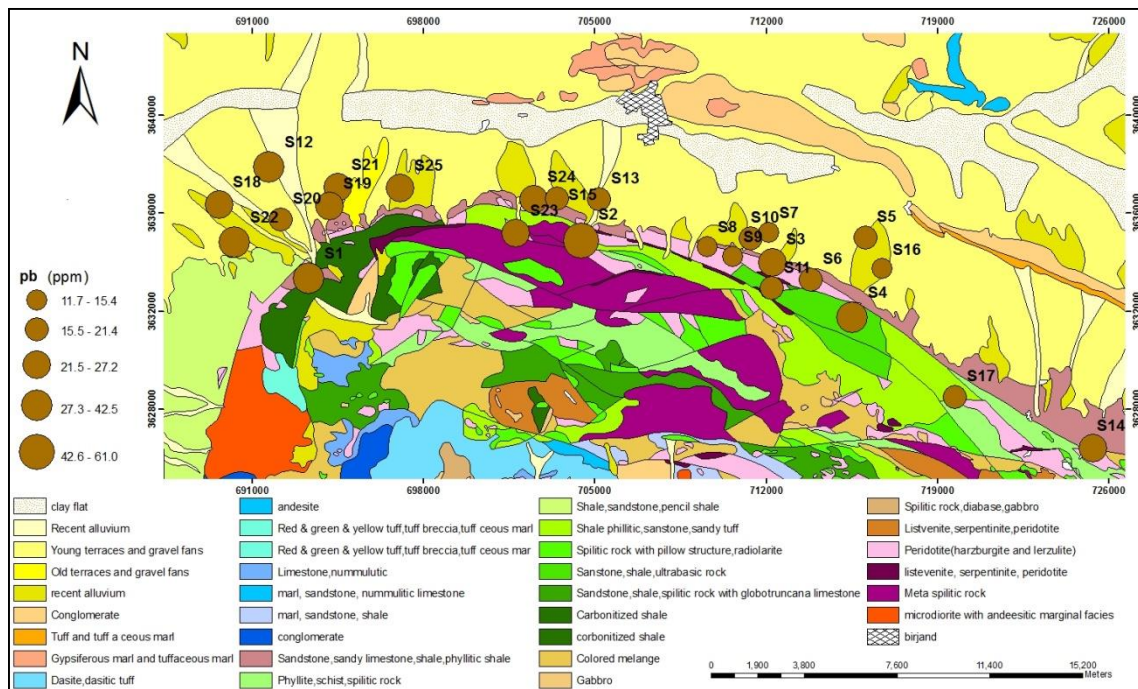
آزوریت) و سولفات مس در لیستونیتها وجود دارند. نتایج XRD و مطالعات میکروسکوپی نشان دهنده حضور مالاکیت در لیستونیتهای کربناتی منطقه می باشد (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به شکل ۲-۵ که پراکنش غلظت مس بر روی نقشه زمین شناسی را نشان می دهد، بیشترین غلظت مس در نمونه های S2 (۱۱۲۰ ppm) و S4 (۶۶۲ ppm) نزدیک ارتفاعات دیده می شود.



شکل ۲-۵- پراکنش غلظت عنصر Cu در نمونه های رسوب

۲-۴-۵- سرب

از جمله عناصر معدنی که همراه افیولیتها یافت می شود، می توان به عنصر سرب اشاره کرد (شهاب-پور، ۱۳۸۲). لیستونیتی شدن سنگهای پریدوتیتی سرپانتینی شده معمولاً با کانی زایی عناصری از جمله سرب همراه می باشد (Moritz, et al, 1990). با توجه به وجود لیستونیتها در منطقه و حضور عنصر سرب در رسوبات که در محدوده ۱۱/۷-۶۱ ppm قرار دارد، لیستونیتها را می توان منشأ سرب در رسوبات دانست. شکل ۲-۵ پراکنش عنصر سرب را در نقشه زمین شناسی نشان می دهد که روند این پراکنش تقریباً شبیه به پراکنش مس در منطقه می باشد.

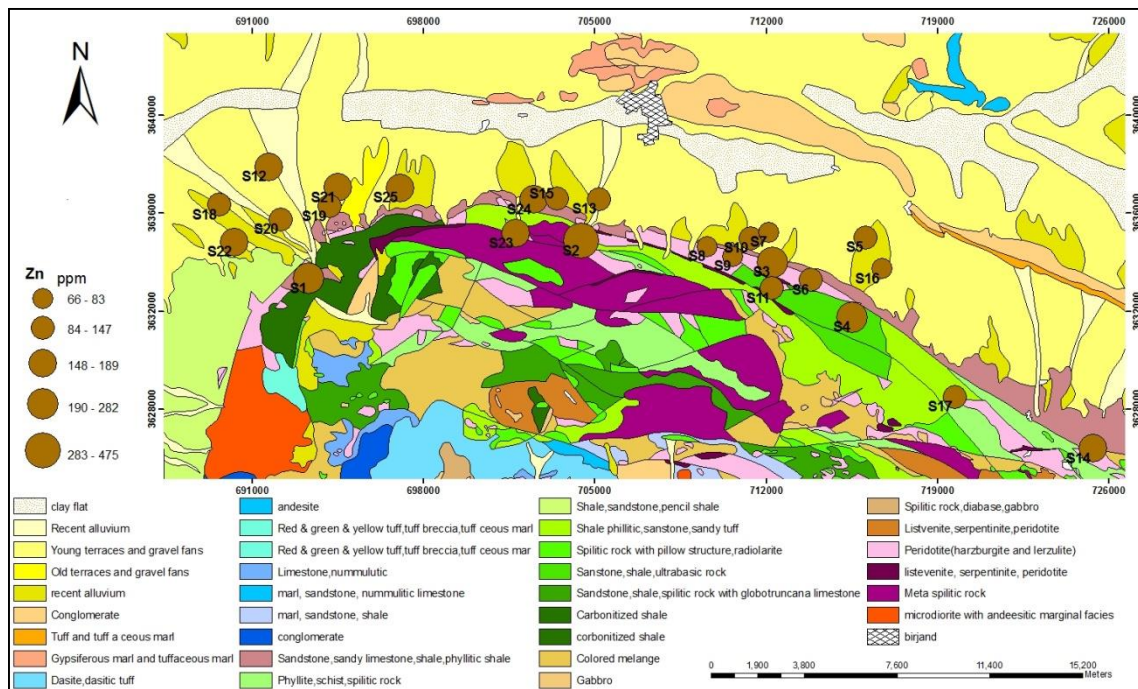


شکل ۳-۵- پراکنش غلظت عنصر Pb در نمونه‌های رسوب

علاوه بر آن همبستگی بالای این دو عنصر (جدول ۲-۵) را می‌توان دلیلی دیگر بر هم منشاء بودن آنها دانست.

۳-۴-۵- روی

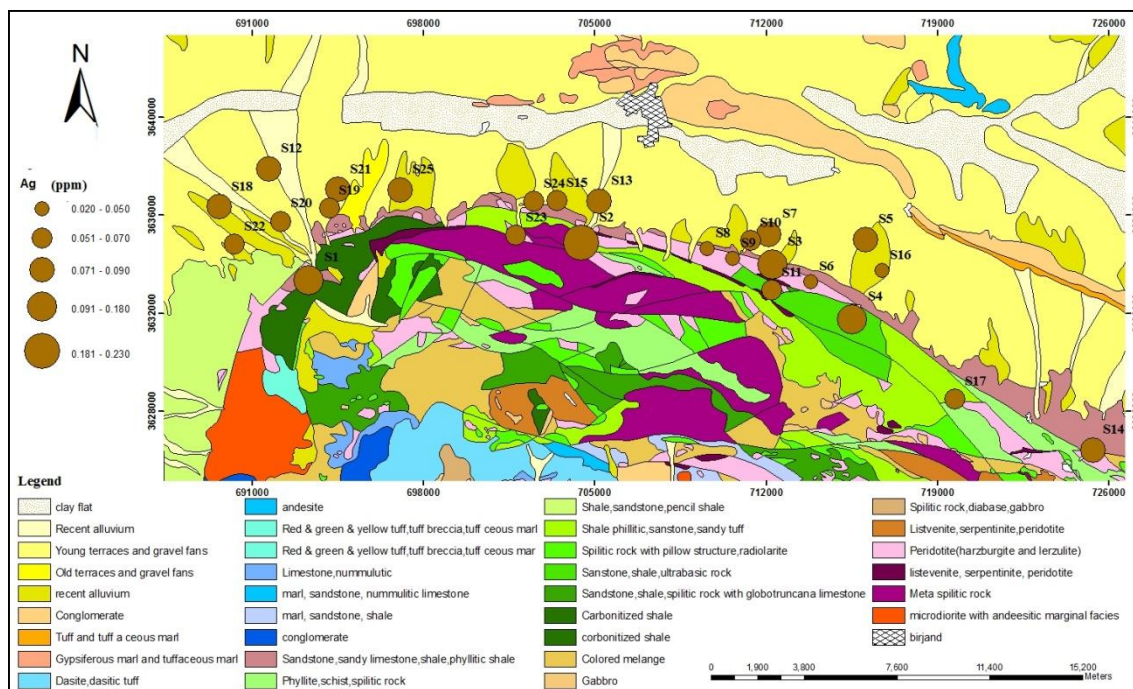
شکل ۴-۵ پراکنش غلظت عنصر روی را بر روی نقشه زمین شناسی منطقه نشان می‌دهد. مقایسه این پراکنش با پراکنش عناصر مس (۲-۵) و سرب (شکل ۳-۵)، شباهتی در نحوه پراکنش این سه عنصر را نشان می‌دهد. از آنجا که بین مس و روی نیز همبستگی بالایی وجود دارد (جدول ۲-۵) لذا این احتمال وجود خواهد داشت که منشاء عنصر روی در منطقه با مس و سرب یکی بوده و این عناصر از لیستونیتها و اسپیلیت‌های (بازالت‌های سدیم‌دار) منطقه نشأت گرفته باشند. نمونه S2 با بیشترین مقدار Zn (۴۷۵/۵ ppm) در آبراهه منتهی به اسپیلیت‌ها قرار دارد.



شکل ۴-۵- پراکنش غلظت عنصر Zn در نمونه‌های رسوب

۴-۴-۵- نقره

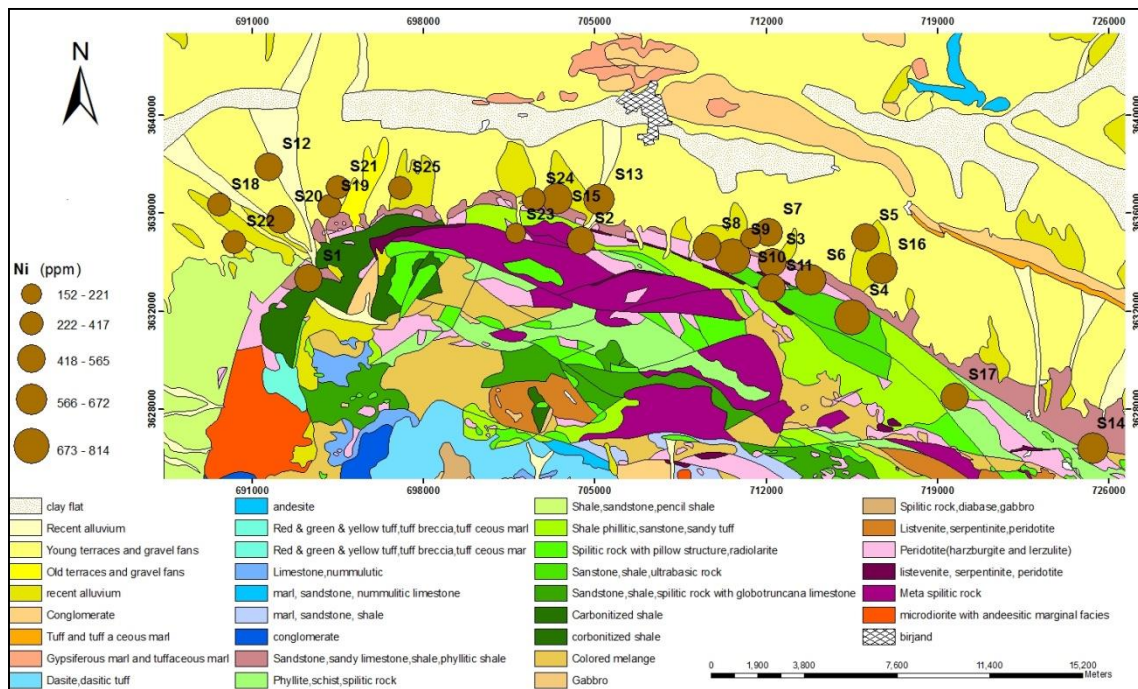
ویژگی ژئوشیمیایی نقره شبیه به مس بوده اما مقدار آن در پوسته زمین بسیار کمتر از مس می‌باشد (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). پراکنش غلظت عنصر نقره در شکل ۵-۵ نیز شباهت بسیاری به پراکنش مس (۲-۵) دارد. همبستگی بالای نقره با مس (جدول ۵-۲) نیز نشان از هم منشاء بودن این دو عنصر دارد ولی فراوانی نقره نسبت به مس بسیار کمتر و در حد بین ۰/۰۲-۰/۲۳ ppm می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که لیستونیت‌های منطقه مورد مطالعه منشاء نقره در رسوبات منطقه می‌باشند و از نظر مقدار نقره نسبت به مس غنی‌شدگی کمتری را نشان می‌دهند.



شکل ۵-۵- پراکنش غلظت عنصر Ag در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۵- نیکل

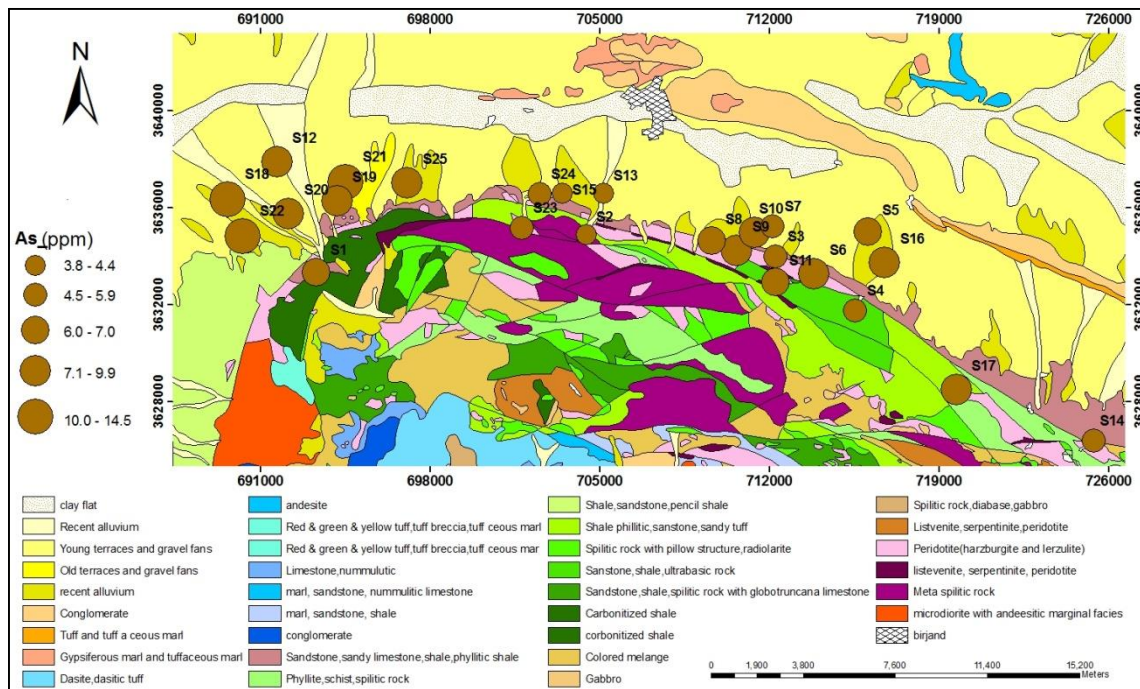
از نظر پتانسیل یونی نیکل شبیه به منیزیم می‌باشد. نسبت Ni:Mg در کانی‌های اولیوین و پیروکسینها در بیشترین حد خود است (میسون و کارلتون، ۱۳۷۳). در منطقه مورد مطالعه، سنگهای پریدوتیتی حاوی کانیهای اولیوین و پیروکسن، که در مقاطع نازک R16 و R12 (شکل‌های ۲-۷ و ۲-۵) دیده می‌شوند، منشاء و دلیل حضور عنصر نیکل در رسوبات منطقه می‌باشند. بیشترین غلظت نیکل در سنگهای اولترامافیک دیده می‌شود (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). حضور سنگهای اولترامافیک در منطقه نیز باعث حضور نیکل در رسوبات منطقه شده است. بر اساس شکل ۵-۶ بیشترین غلظت نیکل در نمونه‌های S4 (۸۱۴ppm) و S9 (۷۴۸ppm) دیده می‌شوند، که در رسوبات آبراهه‌ای منتهی به لیستونیت‌های دگرسان شده از سنگهای اولترامافیکی قرار دارند.



شکل ۵-۶- پراکنش غلظت عنصر Ni در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۶- آرسنیک

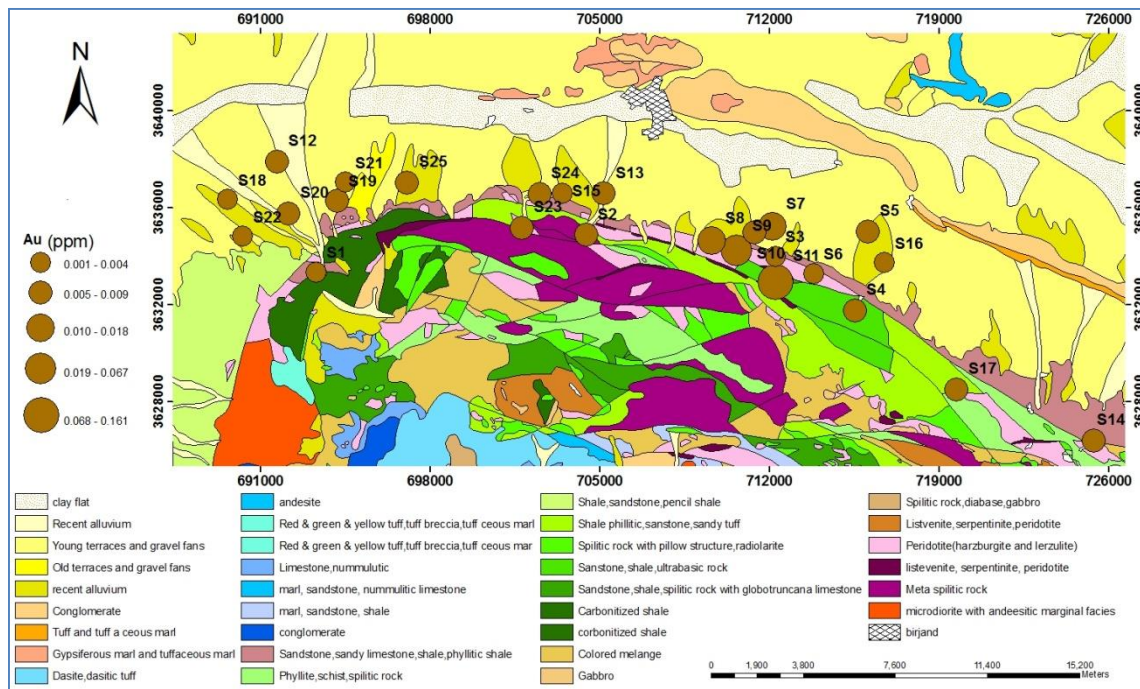
در محدوده مورد مطالعه، غلظت آرسنیک در حد بین ۳/۸-۱۴/۵ ppm قرار دارد. با توجه به شکل ۵-۷ که پراکنش غلظت آرسنیک را بر روی نقشه زمین شناسی نشان می‌دهد، بیشترین غلظت آرسنیک در نمونه‌های S18 (۱۴/۵ ppm) و S21 (۱۲/۷ ppm) دیده می‌شود که در بالادست این نقاط ماسه سنگ و سنگهای پریدوتیتی و لیستونیت‌ها که می‌توانند حاوی آرسنیک باشند حضور دارند. متوسط مقدار آرسنیک در سنگهای اولترامافیک ۰/۵-۱ ppm است (Fordyce et al, 1995). ولی غلظت آرسنیک در رسوبات منطقه خیلی بیشتر می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان اینگونه توجیه نمود که با توجه به pH رسوبات منطقه و پایین بودن انحلال پذیری آرسنیک در این pH، آرسنیک در رسوبات تجمع یافته و غلظت آن افزایش یافته است. در این pH آرسنیک به ندرت می‌تواند وارد آب زیرزمینی شود، لذا انتظار می‌رود که غلظت آن در منابع آب منطقه پایین باشد.



شکل ۵-۷- پراکنش غلظت عنصر As در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۷- طلا

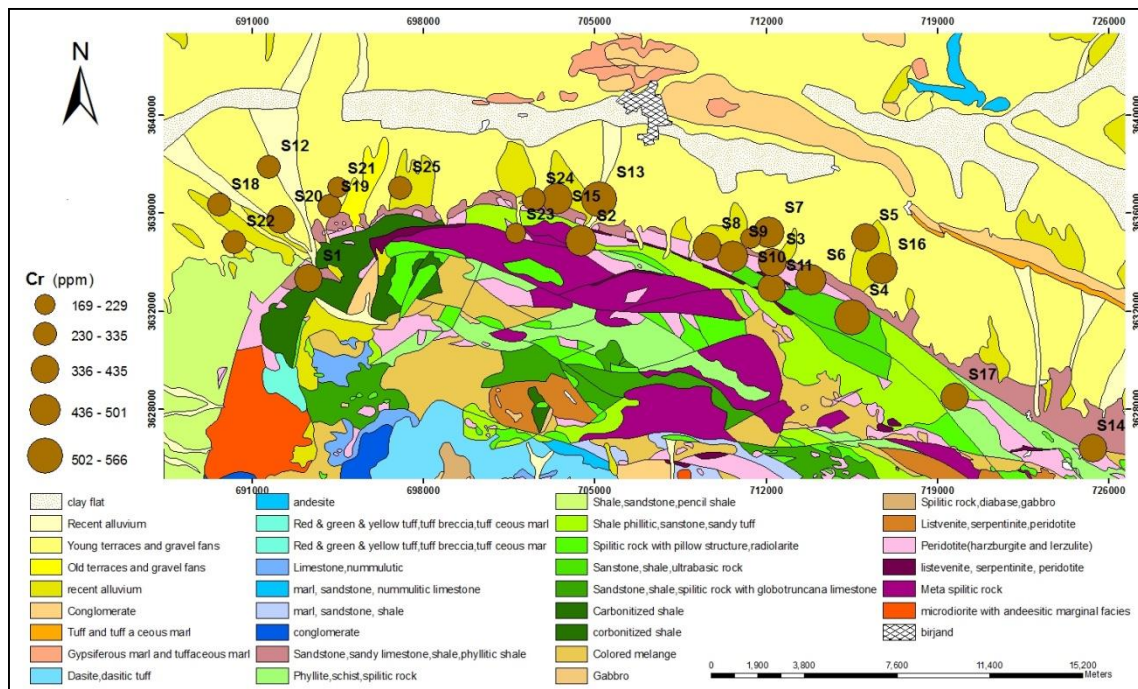
غلظت عنصر طلا در رسوبات منطقه، نسبت به دیگر عناصر از فراوانی پایینی برخوردار است و در حد بین ۰/۱۶۱ تا ۰/۰۰۱ ppm قرار دارد. پراکنش آن نیز از روند مشخصی پیروی نمی‌کند (شکل ۵-۸). فاز گرمابی در حال چرخش در مناطق سرپانتینی شده ناشی از سنگهای پریدوتیتی، مسئول فرآیند لیستونیتی شدن در دمای بالا بوده و قادر است عناصر کمیابی مثل طلا را در پهنه‌های لیستونیتی بجا بگذارد. نتایج XRD و مطالعات میکروسکوپی بر روی لیستونیت‌های کربناتی منطقه مورد مطالعه نیز نشان می‌دهند که علاوه بر کانیهای اصلی کربناتی، به طور جزئی کانیهای طلا دار مثل پیریت و آرسنوپیریت نیز در بین سنگ‌های منطقه وجود دارند (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴). حضور سنگ‌های لیستونیتی در بالادست نقاطی مانند نمونه S11 (۰/۱۶۱) و S9 (۰/۰۶۷) که بیشترین غلظت طلا در آنها دیده می‌شود منشاء لیستونیتی طلا را در رسوبات تایید می‌نماید.



شکل ۵-۸- پراکنش غلظت عنصر Au در نمونه‌های رسوب

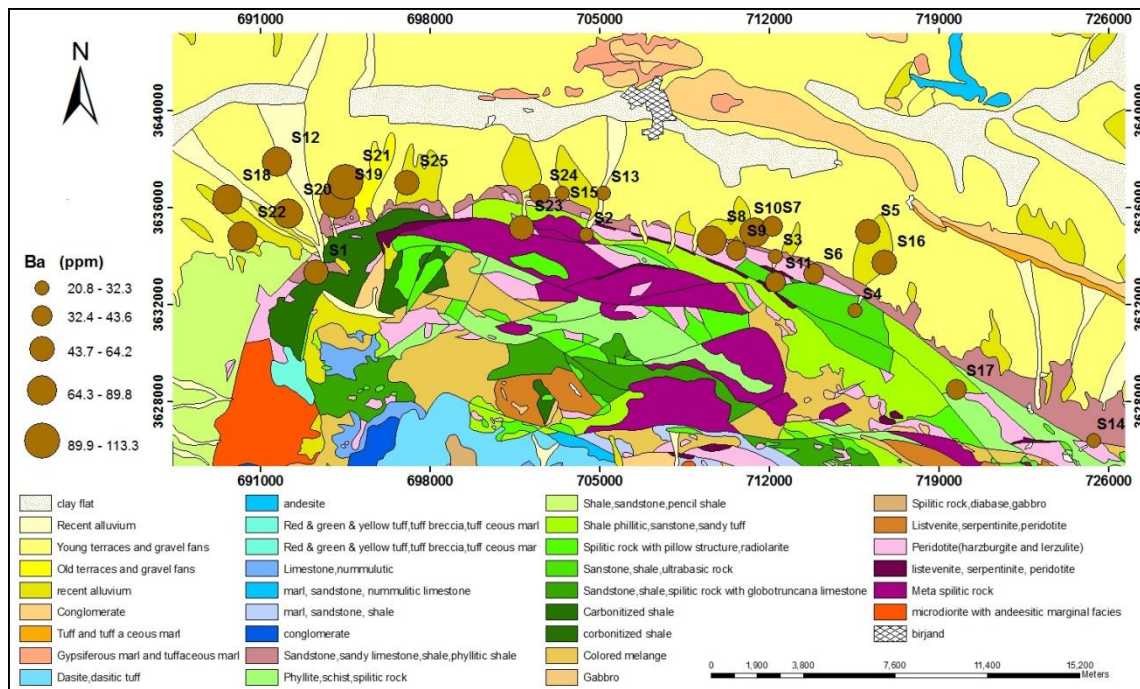
۵-۴-۸- کروم

در ماگما کروم به صورت Cr^{+3} حضور دارد. کانیهای موجود در سنگهای فوق بازیک (پیروکسن‌ها) میزبان اصلی این عنصر و کانی‌های فلدسپاتی فاقد آن می‌باشند (Merian, 1991). شعاع این یون به شعاع یون Fe^{+3} بسیار نزدیک است و به صورت کانی کرومیت ($FeCr_2O_4$) تشکیل می‌شود (میسون و کارلتون، ۱۳۷۳). کانی کروم اسپینل در مقاطع سنگی R16 (شکل ۲-۵ و ۲-۶) دیده می‌شود، که نشان دهنده حضور کروم در مجموعه افیولیتی منطقه می‌باشد. در اثر هوازدگی سنگ‌های فوق بازیک غلظت نسبتا بالایی از کروم در خاک‌های سرپانتینی دیده می‌شود (شهاب‌پور، ۱۳۸۲) (شکل ۲-۳). همچنین در سنگهای لیستونیتی کربناتی منطقه مورد مطالعه نیز کانیهای کروم اسپینل که نشان از حضور کروم دارند، گزارش شده است (زرین‌کوب، ۱۳۸۴). شکل ۵-۹ پراکنش Cr را در نمونه‌های رسوب و بر روی نقشه زمین شناسی نشان می‌دهد. غلظت Cr در رسوبات در محدوده ۵۶۶-۱۶۹ ppm قرار دارد که بیشترین غلظت در نمونه‌های S4 (۵۶۶/۴ ppm) و S13 (۵۵۷ ppm) دیده می‌شود، که حضور اسپیلیت‌ها در بالادست این نقاط، بالا بودن غلظت کروم در این رسوبات را توجیه می‌نماید.



شکل ۵-۹- پراکنش غلظت عنصر Cr در نمونه‌های رسوب

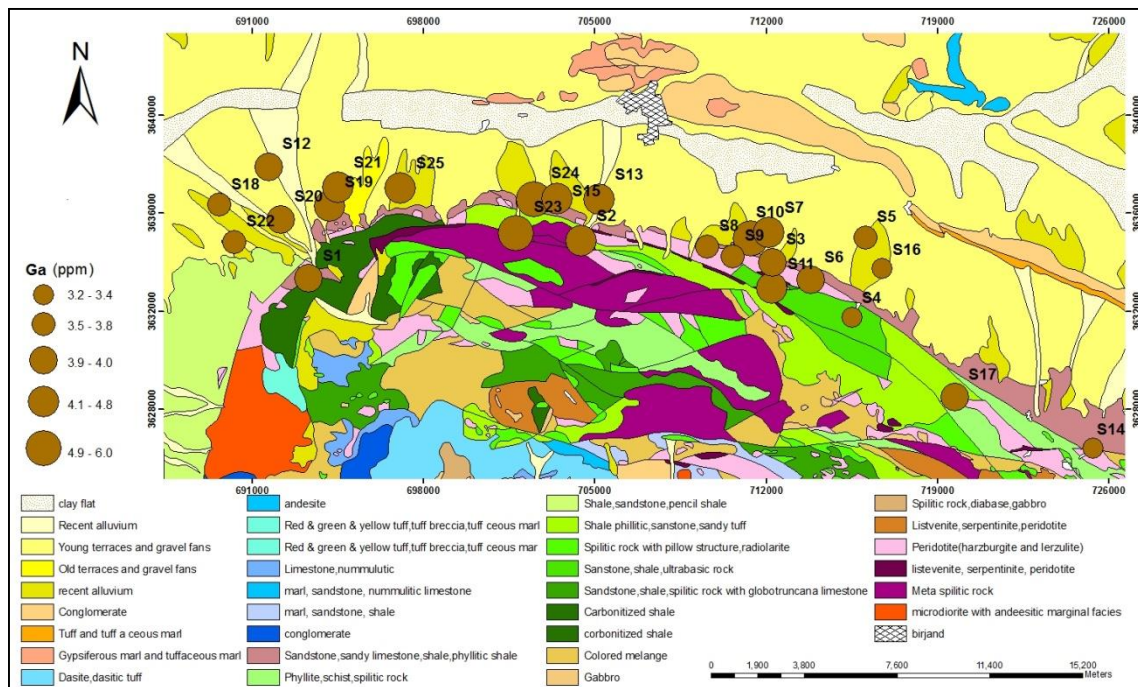
غلظت باریم در رسوبات منطقه بین ۲۰/۸-۱۱۳/۳ ppm قرار دارد. همان‌طور که در شکل ۵-۱۰ پراکنش غلظت باریم بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد بیشترین غلظت در نمونه‌های S19 (۱۱۳/۳ ppm) و S21 (۱۱۰/۷ ppm) دیده می‌شود. عنصر باریم در طول هوازگی از تحرک بالایی برخوردار است و به صورت سولفیدی یا کربناته (BaCO_3) رسوب می‌کند و معمولاً جذب رسها می‌شود (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). در منطقه مورد مطالعه با توجه به حضور لیستونیت‌های نوع کربناته و سیلیسی احتمال حضور باریم به صورت کربناته و سولفیدی می‌باشد. علاوه بر آن در غرب منطقه که غلظت باریم در رسوبات بیشتر می‌باشد نیز حضور بیشتر لیستونیت‌های کربناته در بالادست این نقاط دیده می‌شود. در ضمن روند افزایشی و کاهش غلظت باریم بر روی نقشه زمین‌شناسی شبیه به آرسنیک می‌باشد (شکل ۵-۷) که این مطلب نیز می‌تواند دلیلی بر همبستگی باریم با آرسنیک (جدول ۵-۲) و منشاء مشترک آنها باشد.



شکل ۵-۱۰- پراکنش غلظت عنصر Ba در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱۰- گالیم

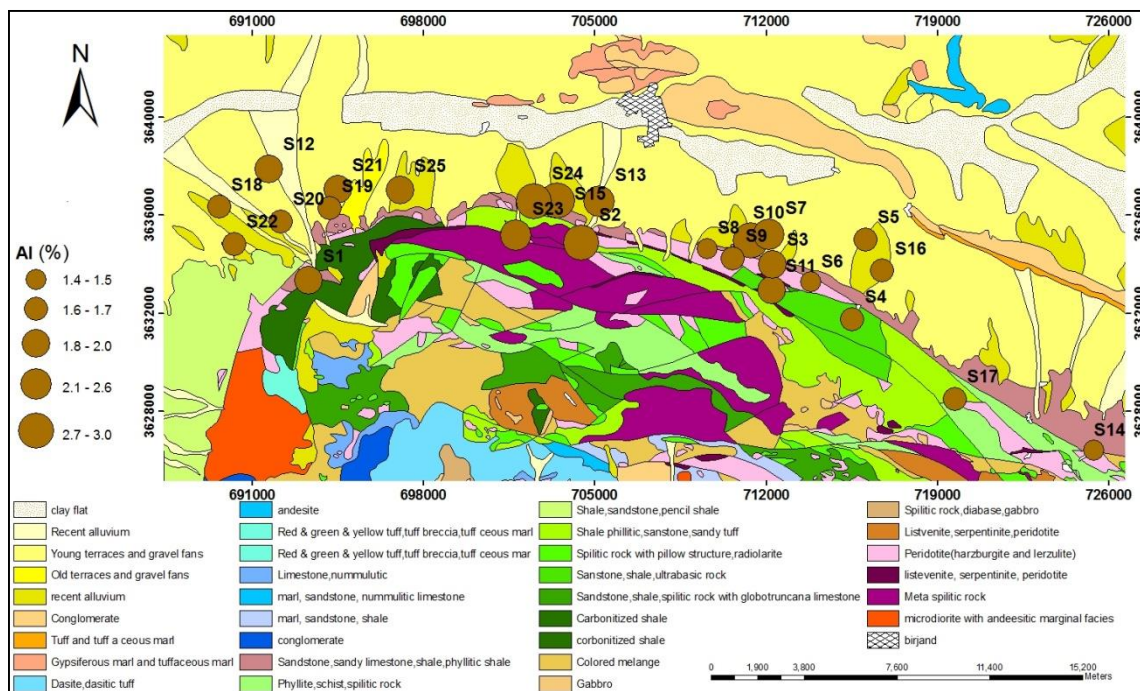
نسبت تقریباً ثابت Ga:Al در سنگ‌های آذرین، نشان از همبستگی بالای این دو عنصر دارد. گالیم بیشتر در فلدسپارها و میکاهای پگماتیت‌ها غنی‌شدگی نشان می‌دهد (میسون و کارلتون، ۱۳۷۳). با توجه به نوع سنگ‌شناسی منطقه و تحرک پایین گالیم، این عنصر در رسوبات منطقه از غلظت پایینی برخوردار است و در حد بین ۳/۲-۶ ppm وجود دارد بیشترین غلظت‌ها در نمونه‌های S10 (۶ ppm) و S23 (۵/۵ ppm)، نزدیک ارتفاعات دیده می‌شود (شکل ۵-۱۱). از آنجا که در بالادست رسوبات با گالیم بیشتر سنگ‌های اسپیلیتی فراوانی بیشتری دارند، لذا این سنگ‌ها می‌توانند به عنوان منشاء گالیم در رسوبات محسوب گردند.



شکل ۵-۱۱- پراکنش غلظت عنصر Ga در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱۱- آلومینیم

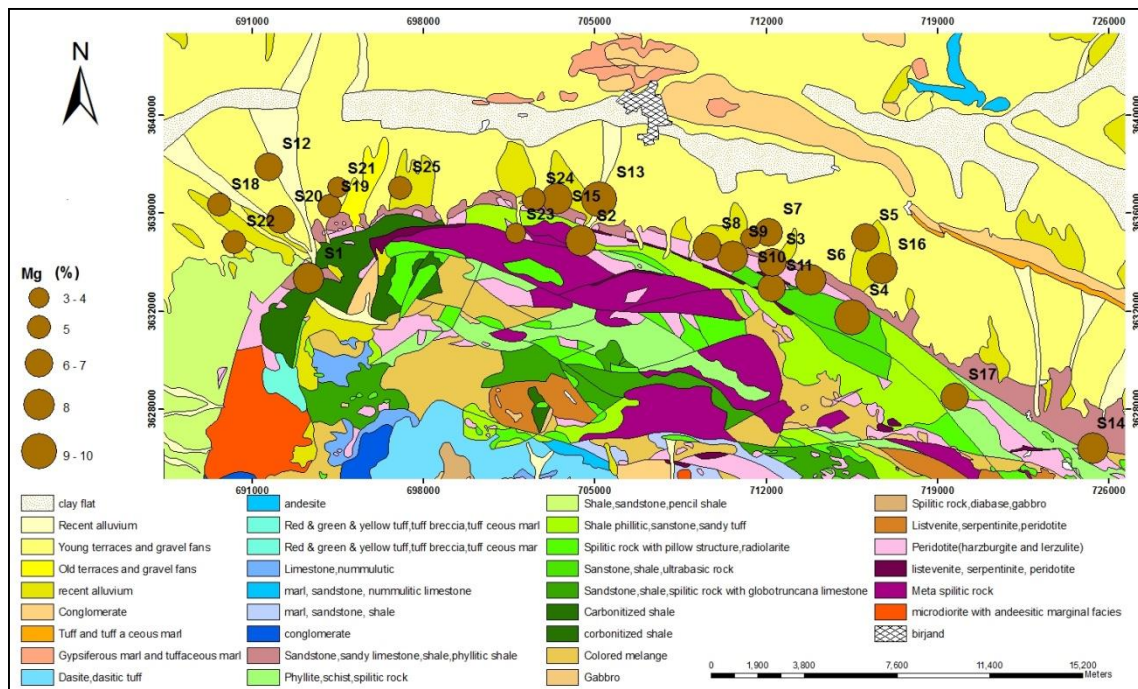
ماهیت ژئوشیمیایی آلومینیم لیتوفیل بوده و در تمامی مراحل تفریق ماگما وارد فلدسپارها و در اواخر تفریق ماگما هم وارد میکاها می‌شود. به همین دلیل آلومینیم جزء ساختار اصلی آلومینوسیلیکاتها و کانی‌های رسی که از دگرسانی آلومینوسیلیکاتها به وجود می‌آیند، می‌باشد. کانیهای حاوی Al درون پریدوتیت‌های سرپانتینی شده نسبت به دگرسانی مقاوم بوده و از تحرک پایینی برخوردار می‌باشند و همچنین طبق نتایج XRD میزان Al_2O_3 در لیستونیت‌های منطقه خیلی کم گزارش شده است (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴). به همین دلیل غلظت Al در رسوبات منطقه پایین بوده و در محدوده ۰.۳٪- ۱.۴٪ قرار دارد و با توجه به شکل ۵-۱۲ پراکنش غلظت آلومینیم در رسوبات همانند پراکنش غلظت گالیم در رسوبات (شکل ۵-۱۱) می‌باشد که نشان از همبستگی بالای این دو عنصر در رسوبات منطقه دارد (جدول ۵-۲).



شکل ۵-۱۲- پراکنش غلظت عنصر Al در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱۲- منیزیم

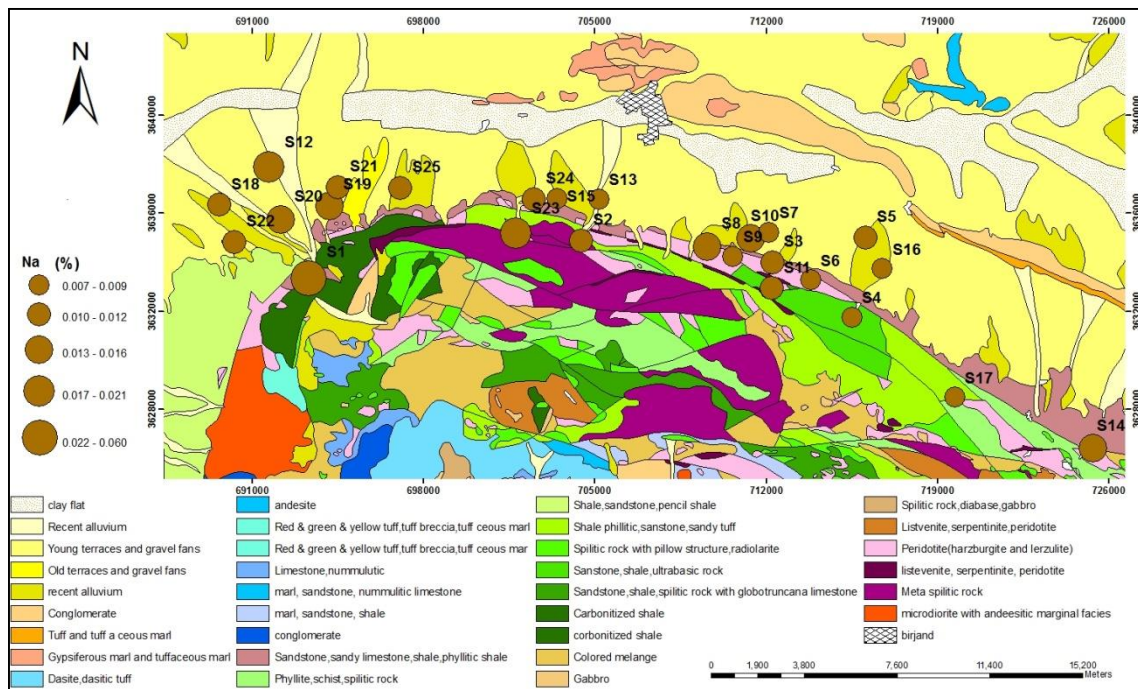
کانی‌های اولیوین (فورستريت Mg_2SiO_4) و پیروکسینها (میسون و کارلتون، ۱۳۷۳) و لیستونیت‌های کربناته (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴) در منطقه دلیل حضور بالای منیزیم در رسوبات می‌باشند. پیروکسن که از دگرسانی اولیوین تشکیل می‌شود از محتوی بالای Mg برخوردار بوده و سبز رنگ می‌باشد و لمس چرب و صابونی دارند (معین وزیری، ۱۳۷۱)، (شکل ۲-۳) و کانی تالک $(Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2)$ را تشکیل می‌دهد. از جمله کانی‌های منیزیم‌دار موجود در سنگهای منطقه می‌توان به منیزیت، هونتیت، هیدرومنیزیت و دولومیت اشاره کرد (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴). شباهت بسیار زیاد پراکنش غلظت منیزیم در رسوبات منطقه (شکل ۵-۱۳) با پراکنش عناصر کروم و نیکل، نیز نشان از همبستگی بالای این عناصر و هم منشاء بودن آنها دارد (جدول ۵-۲).



شکل ۵-۱۳- پراکنش غلظت عنصر Mg در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱۳- سدیم

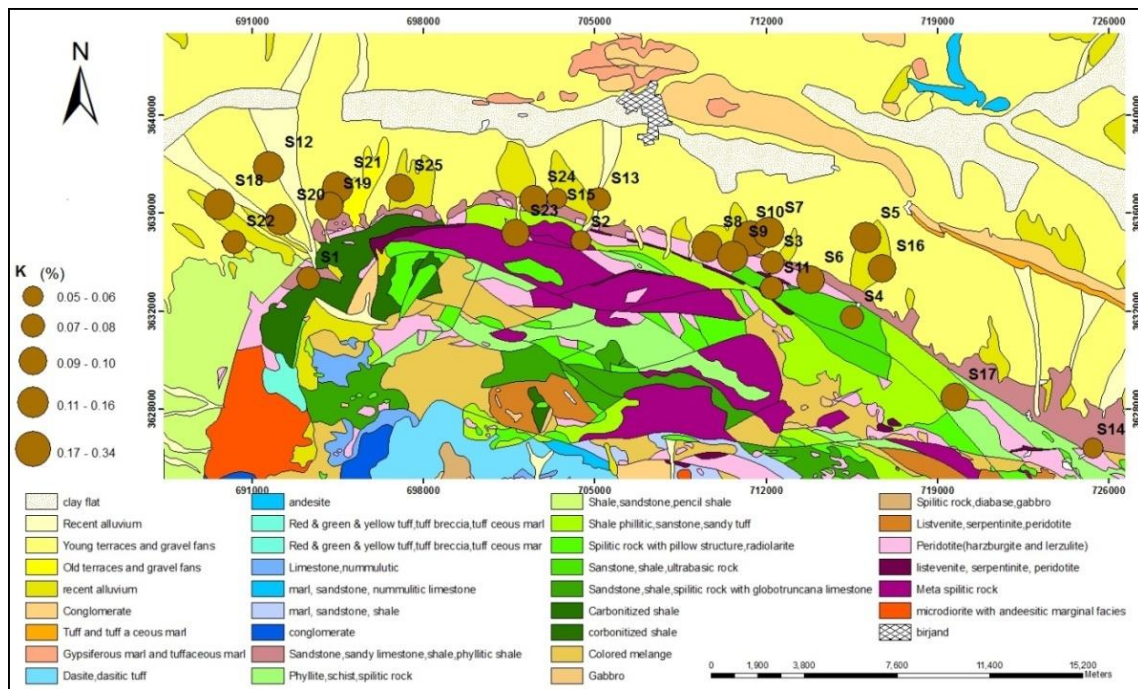
فراوانی لیستونیت‌ها در منطقه که از دگرسانی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده به وجود می‌آیند و کم بودن مقدار Na_2O در لیستونیت‌های منطقه که خود می‌تواند نشانه تهی بودن سنگ بستر لیستونیت-ها از سدیم باشد (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴) را می‌توان دلیلی بر غلظت پایین سدیم (۰/۰۶٪) در رسوبات منطقه دانست. حضور اسپیلیت‌ها که در واقع بازالت‌های سدیم‌دار می‌باشند را می‌توان عامل وجود عنصر سدیم در رسوبات دانست به طوریکه در بالادست نمونه S_{23} (۰/۰۲۱٪) در منطقه بند عمرشاه اسپیلیت‌ها به خوبی قابل رویت می‌باشند. پراکنش غلظت سدیم بر روی نقشه زمین شناسی (شکل ۵-۱۳) نیز تا حدی با پراکنش عنصر کلسیم (شکل ۵-۱۴) شباهت دارد و همبستگی این دو عنصر، این موضوع را تایید می‌نماید (جدول ۵-۲).



شکل ۵-۱۴- پراکنش غلظت عنصر Na در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱۴- پتاسیم

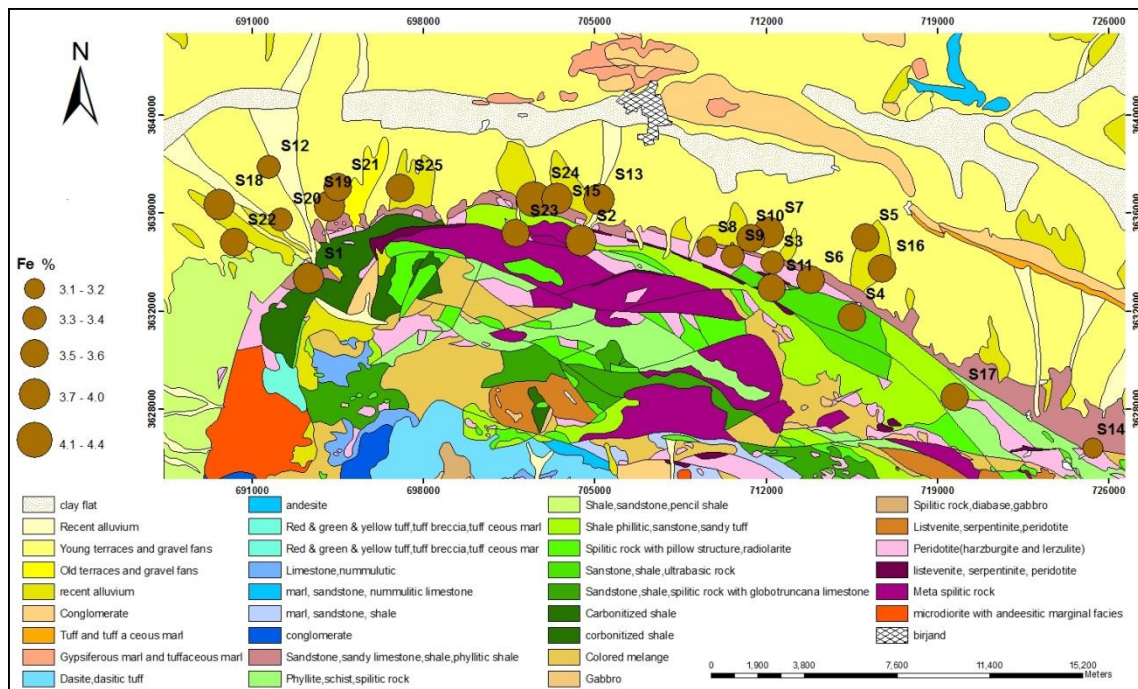
مقدار K_2O همانند Na_2O در لیستونیت‌های منطقه خیلی کم گزارش شده است (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴). غلظت پتاسیم در رسوبات منطقه پایین و در حد بین ۰/۳۴٪-۰/۰۵٪ قرار دارد. بیشترین غلظت پتاسیم در نمونه‌های S10 (۰/۳۴٪) و S8 و S12 (۰/۱۵٪) در قسمت شرقی منطقه دیده می‌شوند. (شکل ۵-۱۵) حضور لیستونیت‌های کربناته در ارتفاعات بالادست رسوبات با پتاسیم بیشتر عاملی در جهت افزایش غلظت پتاسیم در رسوبات و تجمع پتاسیم در رسوبات بوده است.



شکل ۵-۱۵- پراکنش غلظت عنصر K در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱۵- آهن

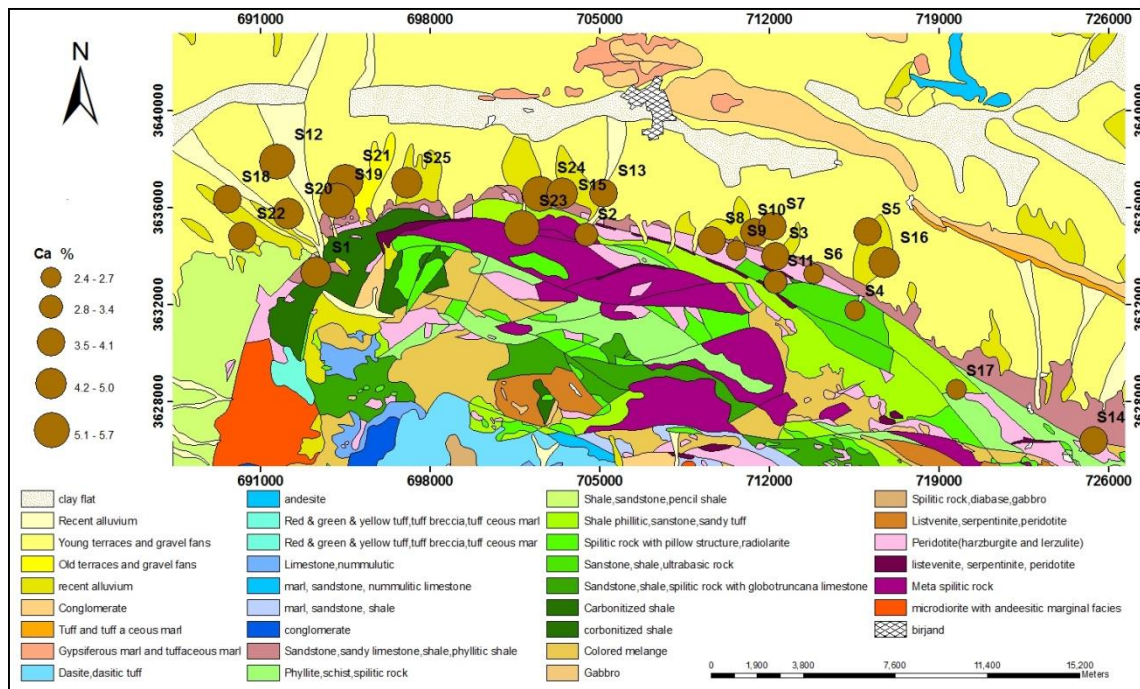
بیشترین غلظت آهن در سنگهای آذرین از نوع مافیک (۸/۷٪-۳/۷٪) گزارش شده است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). غلظت آهن در رسوبات منطقه مورد مطالعه در حد بین ۴/۴٪-۳/۱٪ دیده می‌شود. رگه‌هایی از آهن در مقاطع R9 (سنگهای فیلیتی) و R12 (سنگهای پریدوتیتی) و R20 (سنگهای آهنی فسیل‌دار) دیده شده است (شکل‌های ۲-۶، ۲-۸ و ۲-۱۰). حضور آهن در سنگ‌های پریدوتیتی را می‌توان با وجود کانی اولیوین (فایالیت با فرمول Fe_2SiO_4) مرتبط دانست. نتایج XRD و مطالعات میکروسکوپی در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده حضور کانی‌های آهن‌دار (سیدریت، لیمونیت و آنکریت) در لیستونیت‌های کربناته و سیلیسی-کربناته می‌باشند که رنگ زرد تا قهوه‌ای لیستونیت‌ها (شکل ۲-۴) نیز به دلیل حضور این کانی‌ها است (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴). نقشه پراکنش آهن (شکل ۵-۱۶) شباهت بسیار زیادی به پراکنش آلومینیم نشان می‌دهد که به دلیل همبستگی بالای آهن با آلومینیم می‌باشد.



شکل ۵-۱۶- پراکنش غلظت عنصر Fe در نمونه‌های رسوب

۵-۴-۱۶- کلسیم

لیستونیت‌های کربناته (شکل ۲-۴) و سنگ‌های آهکی (شکل ۲-۲۹) در منطقه مورد مطالعه می‌توانند منشاء کلسیم در رسوبات و سپس آب زیرزمینی باشند، به طوری که کانی کلسیت که تشکیل دهنده اصلی سنگ‌های آهکی است در بسیاری از نقاط در منطقه به صورت رگچه‌هایی باعث پرشدگی فضاهای خالی سنگها شده است. کانی‌های کلسیت، دولومیت و هونتیت (کانی حد واسط دولومیت و منیزیت با فرمول $CaMg_3(CO_3)$ و سنگ‌های لیستونیتی کربناته و لیستونیت‌های سیلیسی-کربناتی که کانی‌های کربناتی اصلی در آنها دولومیت و منیزیت است (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴)، می‌توانند به عنوان منشاء کلسیم در رسوبات در نظر گرفته شوند. با توجه به نقشه پراکنش کلسیم (شکل ۵-۱۷)، غلظت کلسیم در رسوبات نزدیک ارتفاعات غربی و مرکزی به دلیل حضور ماسه‌های آهکی و لیستونیت‌های کربناته بیشتر می‌باشد.



شکل ۵-۱۷- پراکنش غلظت عنصر Ca در نمونه‌های رسوب

۵-۵- محاسبه اندیس تجمع زمین (I_{geo}) در رسوبات منطقه

از اندیس تجمع زمین جهت بررسی شدت آلودگی رسوبات استفاده می‌شود. این اندیس توسط (Muller, 1969) ارائه شد.

$$I_{geo} = \text{Log}_2(C_n / 1.5B_n)$$

فرمول ۵-۱

در این فرمول I_{geo} ، اندیس تجمع زمین، C_n ، غلظت اندازه گیری شده عنصر در نمونه رسوب، B_n ، مقادیر غلظت زمینه عنصر در شیل و $1/5$ ، فاکتور تصحیح تاثیر لیتولوژی می‌باشد. در جدول ۵-۳ ارتباط اندیس تجمع زمین با میزان آلودگی آورده شده است.

جدول ۵-۳- ارتباط میزان اندیس زمین انباشتگی و میزان آلودگی (Muller, 1969).

میزان آلودگی	Igeo
بدون آلودگی	$I_{geo} \leq 0$
بدون آلودگی تا آلودگی متوسط	$0 \leq I_{geo} \leq 1$
آلودگی متوسط	$1 \leq I_{geo} \leq 2$
آلودگی متوسط تا شدید	$2 \leq I_{geo} \leq 3$
آلودگی شدید	$3 \leq I_{geo} \leq 4$
آلودگی شدید تا بسیار شدید	$4 \leq I_{geo} \leq 5$
آلودگی بسیار شدید	$I_{geo} \geq 5$

مقادیر اندیس تجمع زمین برای عناصر مختلف در رسوبات آبراهه‌ای منطقه محاسبه شد (جدول ۵-۴). میانگین اندیس تجمع زمین برای عناصر Cu، Ni، Cr و Mg بیشتر از صفر و برای عناصر Al، As، Ga، Fe، Au، Ag، Ba و Pb زیر صفر و منفی بدست آمد. برآورد درصد آلودگی رسوبات منطقه به عناصر مختلف بر اساس اندیس زمین انباشتگی (جدول ۵-۴) نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر میانگین اندیس تجمع در رسوبات به ترتیب مربوط به عناصر Ni، Cr، Cu، Mg، Zn، Pb، Ag، Au، Fe، Al، Ga، Ba و As (بدون آلودگی) می‌باشد. حضور بالای برخی از عناصر را می‌توان به غنی بودن سنگهای اولترامافیک و سنگهای اسپیلیتی نسبت داد. نمونه‌های رسوب با بیشترین غلظت Ni در آبراهه‌های منتهی به سنگهای اسپیلیتی بدست آمده است. عناصر Ag، Cu، Zn، Pb، Mg، Cr، Ni و Au را می‌توان به سنگهای لیستونیتی از نوع کربناتی و سیلیسی نسبت داد. کانی شناسی لیستونیت‌ها متشکل از کوارتز، تالک، کلسیت، دولومیت، آنکریت، منیزیت، سیدریت، سرپانتین و کلریت به عنوان کانی‌های اصلی و کانی‌های پیروکسن، کرومیت، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، آرسنوپیریت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در گروه کانی‌های فرعی قرار می‌گیرند (منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶) برآورد درصد آلودگی رسوبات نشان می‌دهد ۰.۷۲٪، ۰.۳۲٪، ۰.۴٪، ۰.۸٪ و ۰.۴٪ رسوبات به نیکل، مس، نقره، طلا و منیزیم دارای آلودگی متوسط تا شدید می‌باشند (جدول ۵-۵).

جدول ۵-۴ - محاسبه اندیس تجمع زمین (Igeo) در رسوبات آبراهه‌ای منطقه

نمونه شماره	Cu	Pb	Ni	As	Cr	Ba	Zn	Ag	Au	Mg	Ga	Al	Fe
S1	2.68	0.21	2.4	-1.7	1.5	-4.45	0.2	0.47	-2.44	1.68	-2.87	-2.83	-1.05
S2	3.90	1.01	2.4	-2.6	1.6	-5.66	1.3	1.61	-1.1	1.66	-2.76	-2.52	-0.97
S3	2.46	-0.29	2.3	-2.0	1.5	-5.02	0.3	0.98	-2.44	1.50	-2.87	-2.75	-1.13
S4	3.14	0.50	3.0	-2.0	1.9	-5.34	0.5	0.74	0.15	2.01	-3.22	-3.03	-1.03
S5	0.89	-0.69	2.3	-1.8	1.4	-4.03	-0.9	-0.37	-0.65	1.46	-2.98	-2.79	-1.15
S6	1.26	-0.49	2.6	-1.5	1.6	-4.74	-0.8	-0.58	-0.81	1.68	-2.94	-2.96	-1.06
S7	0.49	-1.34	2.3	-2.0	1.6	-4.59	-1.2	-0.64	1.51	1.54	-2.7	-2.29	-0.96
S8	0.07	-1.19	2.4	-1.7	1.3	-3.79	-1.4	-0.87	1.6	1.47	-3.05	-3.09	-1.22
S9	0.42	-0.96	2.8	-1.5	1.7	-4.64	-1.3	-0.87	3.4	1.82	-3.09	-3.03	-1.07
S10	0.78	-0.72	1.1	-1.5	0.3	-3.55	-0.9	-0.07	-1.1	0.63	-2.32	-2.16	-1.11
S11	1.73	-0.49	2.2	-1.7	1.5	-4.64	-0.4	0	4.74	1.48	-2.73	-2.61	-1.03
S12	2.29	0.01	2.2	-1.5	1.1	-3.69	-0.1	0.09	0.55	1.38	-2.87	-2.83	-1.20
S13	1.91	-0.51	2.6	-2.5	1.9	-5.43	-0.5	-0.14	-0.38	1.89	-2.76	-2.26	-0.86
S14	2.20	-0.31	2.6	-1.9	1.5	-5.32	-0.2	0.21	-0.26	1.72	-3.22	-3.00	-1.17
S15	1.91	-0.69	2.5	-2.4	1.7	-5.32	-0.5	-0.07	-0.58	1.76	-2.8	-2.52	-0.90
S16	-0.02	-1.37	2.7	-1.5	1.7	-4.22	-1.6	-1.83	-0.517	1.74	-3.14	-3.04	-1.11
S17	1.20	-0.56	2.3	-1.5	1.3	-4.70	-0.7	-0.32	-0.62	1.49	-2.9	-2.89	-1.03
S18	1.73	-0.26	2.0	-0.6	1.1	-3.87	-0.4	-0.14	-1.38	1.21	-2.98	-3.04	-1.14
S19	1.36	-0.45	1.8	-1.2	0.8	-3.21	-0.6	-0.27	-1.15	1.03	-2.76	-2.78	-1.18
S20	1.50	-0.72	2.4	-1.5	1.4	-3.92	-0.7	-0.22	-1.2	1.55	-2.87	-2.79	-1.08
S21	1.76	-0.35	1.5	-0.8	0.6	-3.25	-0.3	0.29	-0.81	0.80	-2.8	-2.83	-1.15
S22	2.29	0.16	1.8	-1.0	1.0	-3.91	-0.1	-0.07	-1.38	0.99	-3.01	-3.14	-1.15
S23	2.04	-0.44	0.5	-2.0	0.2	-4.28	-0.3	-0.09	-0.35	0.36	-2.44	-2.18	-1.03
S24	2.36	-0.21	1.6	-2.1	1.2	-4.91	0.0	0.019	-0.26	1.14	-2.52	-2.02	-0.80
S25	2.21	-0.14	1.5	-1.4	0.9	-4.38	-0.1	0.05	-0.38	0.85	-2.64	-2.61	-1.05
میانگین	1.70	-0.41	2.1	-1.7	1.3	-4.43	-0.4	-0.08	-0.234	1.39	-2.85	-2.72	-1.07

جدول ۵-۵ - برآورد میزان آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه بر اساس اندیس زمین انباشتگی (Igeo) بر حسب درصد

Fe	Al	Ga	Mg	Au	Ag	Zn	Ba	Cr	As	Ni	Pb	Cu	میزان آلودگی
100%	100%	100%	-	76%	64%	84%	100%	-	100%	-	80%	4%	بدون آلودگی
-	-	-	20%	8%	32%	12%	-	20%	-	4%	16%	20%	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
-	-	-	76%	8%	4%	4%	-	80%	-	24%	4%	36%	آلودگی متوسط
-	-	-	4%	8%	-	-	-	-	-	72%	-	32%	آلودگی متوسط تا شدید
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8%	آلودگی شدید
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	آلودگی شدید تا بسیار شدید
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	آلودگی بسیار شدید

۵-۶- محاسبه فاکتور غنی شدگی (EF) در رسوبات منطقه

فاکتور غنی شدگی، نشان دهنده میزان غنی شدگی عنصر در رسوب می‌باشد. با استفاده از فرمول زیرمیزان غنی شدگی عناصر در رسوبات محاسبه گردیده است (Chen et al, 2007).

$$E_f = \frac{\left[\frac{C_1}{C_{1n}}\right]}{\left[\frac{C_2}{C_{2n}}\right]} \quad \text{فرمول ۵-۲}$$

EF فاکتور غنی شدگی، C_1 غلظت عنصر در نمونه رسوب، C_{1n} غلظت عنصر مبنا در نمونه رسوب، C_2 غلظت عنصر در پوسته زمین، C_{2n} غلظت عنصر مبنا در پوسته زمین می‌باشد. در اینجا عنصر مبنا آهن (Fe) انتخاب شد. بر اساس این فاکتور، می‌توان شدت غنی شدگی رسوب به عنصر را در ۶ دسته جای داد (جدول ۵-۶).

جدول ۵-۶- بررسی غنی شدگی رسوبات (Chen et al, 2007)

E_f	$E_f < 1$	$1 < E_f < 3$	$3 < E_f < 5$	$5 < E_f < 10$	$10 < E_f < 25$	$25 < E_f < 50$	$E_f > 50$
شدت غنی شدگی رسوب	بدون غنی شدگی	غنی شدگی اندک	غنی شدگی متوسط	غنی شدگی نسبتاً شدید	غنی شدگی شدید	غنی شدگی خیلی شدید	غنی شدگی بی نهایت شدید

مقدار و میانگین غنی شدگی عناصر در رسوبات منطقه در جدول ۵-۷ و برآورد میزان غنی شدگی رسوبات منطقه بر حسب درصد در جدول ۵-۸ آورده شده است. بیشترین میانگین غنی شدگی (۱۰/۶۸) متعلق به عناصر Ni و Cu بدست آمد و این عنصر غنی شدگی شدید را در رسوبات نشان می‌دهند. عناصر Zn، Pb، Mg و Zn، Pb، Mg غنی شدگی متوسط و Cu، As، Cr و Au غنی شدگی نسبتاً شدید نشان می‌دهند. البته درصد غنی شدگی رسوبات برای Au، نشان از ۵۶٪ غنی شدگی اندک دارد، در حالیکه نمونه S11 غنی شدگی بی نهایت شدید و S9 غنی شدگی خیلی شدید نسبت به Au نشان می‌دهند. دلیل آن را می‌توان حضور لیستونیت‌ها در بالادست این نقاط دانست، که به دلیل بالا بودن عیار طلا در لیستونیت‌های طلا دار در بالادست این نقاط دانست. رسوبات نسبت به عنصر Ag غنی شدگی اندک و نسبت به عناصر Fe، Al، Ga و Ba با مقدار غنی شدگی کمتر از یک و ۱۰۰٪ بدون غنی شدگی را در رسوبات نشان می‌دهند. مقدار غنی شدگی عناصر با ضریب انباشتگی زمین روند

تقریباً مشابهی داشته و مقدار غنی‌شدگی عناصر در رسوبات نیز همانند ضریب تجمعی زمین، سنگ‌شناسی منطقه و تاثیرگذاری سنگهای اولترامافیک از جمله لیستونیت‌های دگرسان شده از پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و سنگهای اسپیلیتی را بر افزایش و کاهش غلظت و غنی‌شدگی عناصر تایید می‌کند. میانگین غنی‌شدگی کمتر از ۱۰ در رسوبات تاییدی بر منشأ زمین زاد عناصر می‌باشد.

جدول ۵-۷- محاسبه فاکتور غنی‌شدگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه

Mg	Fe	Al	Ga	Ba	Cr	Au	As	Ni	Aq	Zn	Pb	Cu	رسوب‌های نمونه
4.99	0.62	0.34	0.43	0.18	6.87	0.40	6.20	12.19	3.24	5.11	4.49	14.16	S1
4.94	0.65	0.42	0.47	0.08	7.30	3.24	3.42	11.54	5.32	10.99	7.89	31.17	S2
4.43	0.59	0.36	0.43	0.12	6.68	0.40	5.21	11.07	4.16	5.52	3.17	12.79	S3
6.30	0.63	0.29	0.35	0.10	9.16	2.83	5.12	17.56	3.70	6.52	5.50	19.49	S4
4.31	0.58	0.35	0.41	0.24	6.47	3.24	5.84	10.81	1.85	2.37	2.41	4.09	S5
5.01	0.61	0.31	0.43	0.15	7.36	1.62	7.37	14.19	1.16	2.68	2.77	5.28	S6
4.53	0.66	0.49	0.50	0.17	7.34	6.88	5.03	10.94	1.85	1.92	1.53	3.10	S7
4.34	0.55	0.28	0.39	0.29	6.10	7.28	6.29	11.95	0.92	1.68	1.76	2.31	S8
5.53	0.61	0.29	0.38	0.16	7.96	27.10	7.37	16.14	0.92	1.85	1.99	2.95	S9
2.41	0.60	0.54	0.65	0.34	2.91	3.24	7.28	4.77	1.62	2.40	2.36	3.81	S10
4.37	0.63	0.39	0.49	0.16	6.69	65.12	6.02	10.40	1.62	3.30	2.76	7.25	S11
4.05	0.56	0.34	0.43	0.31	5.26	3.24	7.19	10.14	1.85	4.17	3.97	10.77	S12
5.80	0.71	0.50	0.47	0.09	9.01	2.43	3.51	13.70	1.85	3.16	2.73	8.28	S13
5.16	0.57	0.30	0.35	0.10	7.04	2.02	5.30	13.52	1.85	4.05	3.21	10.13	S14
5.28	0.69	0.42	0.46	0.10	7.86	1.62	3.95	12.62	1.62	3.12	2.39	8.32	S15
5.20	0.60	0.29	0.37	0.22	8.11	1.62	7.19	14.50	0.46	1.53	1.51	2.25	S16
4.38	0.63	0.32	0.43	0.15	6.04	3.64	6.92	11.37	1.39	2.82	2.63	5.07	S17
3.62	0.58	0.29	0.41	0.27	5.05	1.21	13.03	9.00	1.85	3.40	3.24	7.79	S18
3.19	0.56	0.35	0.47	0.43	4.36	2.83	8.90	7.74	1.39	2.92	2.89	5.69	S19
4.58	0.61	0.35	0.43	0.26	6.25	2.43	7.01	11.99	1.39	2.78	2.36	6.22	S20
2.72	0.58	0.34	0.46	0.42	3.70	1.62	11.41	6.56	2.08	3.62	3.08	7.45	S21
3.10	0.58	0.27	0.40	0.27	4.80	1.21	9.98	7.74	1.62	4.34	4.35	10.79	S22
2.01	0.63	0.53	0.59	0.21	2.73	2.83	5.21	3.28	1.62	3.57	2.90	9.06	S23
3.44	0.74	0.59	0.56	0.13	5.42	2.02	4.67	7.01	1.62	4.36	3.34	11.34	S24
2.81	0.62	0.39	0.52	0.19	4.45	2.43	7.55	6.41	1.85	4.31	3.52	10.22	S25
4.26	0.61	0.37	0.45	0.21	6.20	6.10	6.68	10.68	1.95	3.70	3.15	8.79	شدگی غنی مانگن

جدول ۵-۸- میزان غنی‌شدگی رسوبات منطقه بر اساس فاکتور غنی‌شدگی بر حسب درصد

Fe	Al	Ga	Mg	Au	Ag	Zn	Ba	Cr	As	Ni	pb	Cu	شدت غنی‌شدگی
100%	100%	100%	-	8%	12%	-	100%	-	-	-	-	-	بدون غنی‌شدگی
-	-	-	8%	56%	76%	40%	-	4%	-	-	56%	12%	غنی‌شدگی اندک
-	-	-	60%	20%	8%	48%	-	16%	16%	8%	40%	12%	غنی‌شدگی متوسط
-	-	-	28%	12%	4%	12%	-	80%	80%	24%	4%	40%	غنی‌شدگی نسبتاً شدید
-	-	-	-	-	-	4%	-	-	4%	72%	-	32%	غنی‌شدگی شدید
-	-	-	-	4%	-	-	-	-	-	-	-	4%	غنی‌شدگی خیلی شدید
-	-	-	-	4%	-	-	-	-	-	-	-	-	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید

۵-۷- فاکتور آلودگی (C_f) در رسوبات منطقه

فاکتور آلودگی یا Contamination Factor به طریقه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_f = \frac{C_0}{C_n}$$

فرمول ۳-۵

C_f فاکتور آلودگی، C₀ میانگین غلظت عنصر در رسوب، C_n غلظت عنصر در میانگین شیل جهانی.

شدت آلودگی بر اساس مقادیر فاکتور آلودگی در جدول ۵-۹ معلوم شده است (Sat yanarayana et al, 1994).

جدول ۵-۹- توصیف مقادیر فاکتور آلودگی (Sat yanarayana et al, 1994)

C _f	C _f <1	1≤C _f <3	3≤C _f <6	۶≤C _f
شدت آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی قابل توجه	آلودگی خیلی شدید

مقادیر میانگین فاکتور آلودگی برای رسوبات منطقه در جدول (۵-۱۰) و برآورد میزان آلودگی رسوبات براساس فاکتور آلودگی به درصد در جدول (۵-۱۱) آورده شده است. میانگین فاکتور آلودگی برای عناصر pb, Zn, Ag, Cu, Cr, Au, Mg و Ni بیشتر از یک می‌باشد. آلودگی رسوبات نسبت به این عناصر در محدوده آلودگی متوسط تا آلودگی خیلی شدید قرار دارد. فاکتور آلودگی نیز نشان‌دهنده آلودگی خیلی شدید رسوبات نسبت به Ni می‌باشد که حاکی از تمرکز بالای Ni در رسوبات می‌باشد. این امر با توجه به غنی‌شدگی Ni و Cr در توالی افیولیتی، با زمین شناسی منطقه مطابقت دارد. کمترین آلودگی در رسوبات مربوط به عناصر Ba, As, Al, Fe و Ga می‌باشد. مقادیر محاسبه شده در دو شاخص اندیس تجمعی زمین و فاکتور آلودگی نتایج یکدیگر را تایید می‌کنند.

جدول ۵-۱۰ - محاسبه فاکتور آلودگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه

نمونه شماره	Cu	Pb	Ni	As	Cr	Ba	Zn	Ag	Au	Mg	Al	Fe	Ga
S1	9.62	1.73	8.07	0.46	4.24	0.06	1.7	2.08	0.27	4.79	0.21	0.72	0.07
S2	22.4	3.02	7.65	0.25	4.5	0.02	3.65	4.6	0.7	4.74	0.26	0.76	0.03
S3	8.27	1.22	7.32	0.38	4.13	0.04	1.83	2.96	0.27	4.25	0.22	0.68	0.05
S4	13.24	2.12	11.63	0.38	5.66	0.03	2.16	2.52	1.67	6.04	0.18	0.73	0.04
S5	2.77	0.93	7.16	0.43	3.99	0.09	0.79	1.16	0.95	4.14	0.21	0.67	0.09
S6	3.58	1.07	9.4	0.54	4.55	0.05	0.89	1	0.85	4.8	0.19	0.71	0.06
S7	2.1	0.59	7.25	0.37	4.53	0.06	0.63	0.96	4.3	4.35	0.3	0.77	0.06
S8	1.57	0.65	7.92	0.46	3.77	0.1	0.55	0.82	4.55	4.16	0.17	0.64	0.11
S9	2	0.77	10.68	0.54	4.91	0.06	0.61	0.82	15.9	5.3	0.18	0.71	0.06
S10	2.58	0.91	3.16	0.54	1.8	0.12	0.8	1.42	0.7	2.31	0.33	0.69	0.13
S11	4.99	1.06	6.89	0.44	4.13	0.06	1.09	1.5	40.27	4.19	0.24	0.73	0.06
S12	7.31	1.51	6.71	0.53	3.25	0.11	1.38	1.6	2.2	3.89	0.21	0.65	0.12
S13	5.63	1.05	9.07	0.26	5.57	0.03	1.05	1.36	1.15	5.57	0.31	0.82	0.03
S14	6.88	1.21	8.96	0.39	4.35	0.03	1.34	1.74	1.25	4.95	0.18	0.66	0.04
S15	5.64	0.92	8.37	0.29	4.86	0.03	1.03	1.42	1	5.07	0.26	0.8	0.04
S16	1.47	0.57	9.61	0.53	5.01	0.08	0.5	0.42	1.05	4.99	0.18	0.69	0.08
S17	3.44	1.01	7.53	0.51	3.73	0.05	0.93	1.2	0.97	4.2	0.2	0.73	0.06
S18	4.99	1.25	5.96	0.96	3.12	0.1	1.13	1.36	0.57	3.47	0.18	0.68	0.10
S19	3.86	1.1	5.13	0.66	2.69	0.16	0.97	1.24	0.67	3.06	0.21	0.65	0.16
S20	4.22	0.91	7.94	0.52	3.86	0.09	0.92	1.28	0.65	4.4	0.21	0.71	0.10
S21	5.06	1.17	4.34	0.84	2.29	0.15	1.2	1.84	0.85	2.61	0.21	0.67	0.16
S22	7.32	1.68	5.13	0.74	2.96	0.09	1.44	1.42	0.57	2.97	0.17	0.67	0.10
S23	6.15	1.1	2.17	0.38	1.69	0.07	1.18	1.4	1.17	1.92	0.33	0.73	0.08
S24	7.71	1.29	4.65	0.34	3.34	0.05	1.45	1.52	1.25	3.3	0.37	0.85	0.05
S25	6.94	1.36	4.24	0.56	2.74	0.07	1.43	1.56	1.15	2.7	0.24	0.72	0.07
میانگین	5.98	1.2	7.07	0.49	3.82	0.07	1.22	1.56	3.39	4.08	0.23	0.71	0.08
حداکثر میانگین	50	20	70	15	100	700	130	0.05	0.004	15000	80000	48200	700.00

جدول ۵-۱۱ - محاسبه فاکتور آلودگی رسوبات منطقه مورد مطالعه به درصد

آلودگی شدت	Cu	Pb	Ni	As	Cr	Ba	Zn	Ag	Au	Mg	Al	Fe	Ga
کم آلودگی	-	32%	-	100%	-	100%	40%	16%	48%	-	100%	100%	100%
متوسط آلودگی	24%	64%	4%	-	24%	-	56%	80%	36%	20%	-	-	-
توجه قلب آلودگی	36%	4%	28%	-	76%	-	4%	4%	8%	76%	-	-	-
شدید قلب آلودگی	40%	-	68%	-	-	-	-	-	8%	4%	-	-	-

۵-۹- درجه آلودگی (Cd) در رسوبات منطقه

درجه آلودگی یا Contamination Degree از مجموع فاکتورهای آلودگی عناصر در آن نمونه بدست می آید (Loska et al, 1995).

$$C_d = \sum_{i=0}^n C_f$$

فرمول ۴-۵

در این رابطه C_d درجه آلودگی و C_f فاکتور آلودگی است. در این رابطه حداکثر می توان ۸ عنصر را با هم جمع بست. جهت رفع محدودیت تعداد عناصر به کار رفته، در رابطه زیر درجه آلودگی اصلاح شده mC_d معرفی گردید (Abraham., 2005).

$$C_d = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{i=n} C_f^i$$

فرمول 5-5

جدول ۵-۱۲ - طبقه بندی آلودگی رسوبات بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده (Abrahim., 2005)

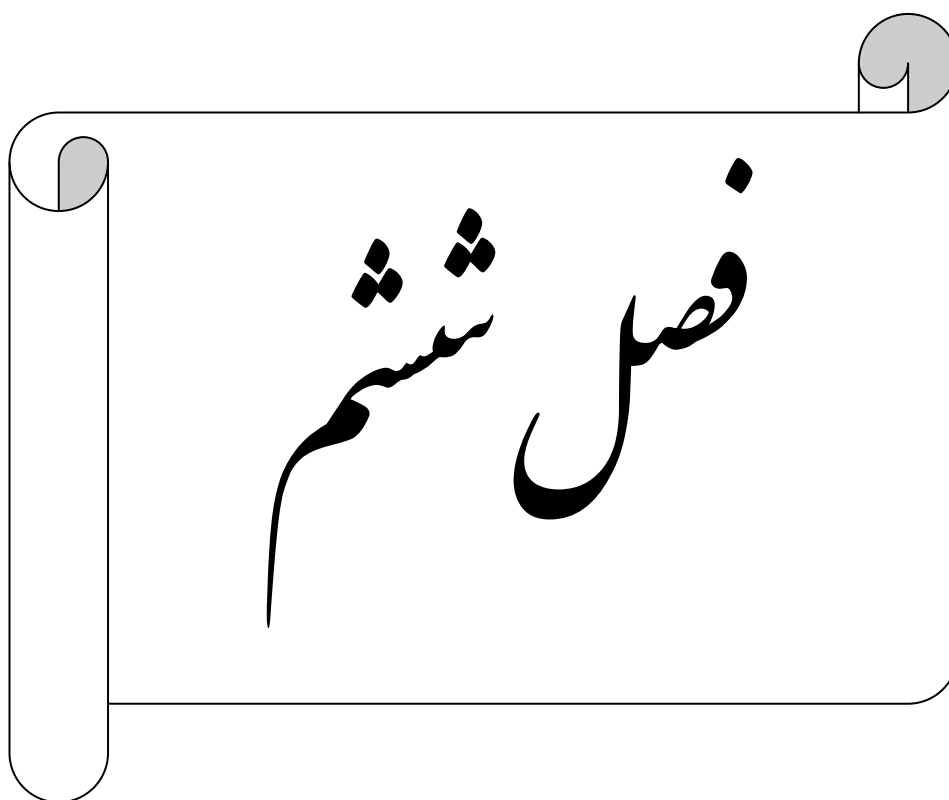
میزان آلودگی رسوبات	غیر آلوده تا آلودگی بسیار اندک	آلودگی اندک	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد	آلودگی بسیار زیاد	آلودگی فوق العاده زیاد	آلودگی بی نهایت زیاد
درجه آلودگی اصلاح شده	<1/5	1/5_2	2_4	4_8	8_16	16_32	>32

فرمول با فرمول شماره ۴-۵ مشابه است با این تفاوت که برای به دست آوردن آن بایستی مجموع فاکتور آلودگی عناصر مختلف (Cf) را بر تعداد آنها (n) تقسیم کرد. ارتباط میزان آلودگی با مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده در جدول ۵-۱۲ آورده شده است.

با توجه به جدول (۵-۱۳) ۱۲٪ از نمونه های رسوب منطقه در محدوده آلودگی متوسط، ۴۸٪ آلودگی اندک و ۴۰٪ هم در محدوده غیر آلوده تا آلودگی اندک قرار دارند. به طوریکه نمونه های S1، S2، S4 آلودگی متوسط را نشان می دهند که حاکی از غلظت بالای عناصر نیکل، مس، روی، سرب، کروم و طلا در این نمونه ها می باشد. این درجه از آلودگی در رسوبات منطقه حاکی از تمرکز بالای این عناصر در سنگهای افیولیتی منطقه از جمله لیستونیت های ناشی از پریدوتیت های سرپانتینی شده که بیشترین تاثیر را در آلودگی رسوبات داشته اند، می باشند. به طور کلی می توان گفت که بررسی های زمین شناسی منطقه، توجه به غلظت عناصر در رسوبات که از ارتفاعات بالا دست خود منشاء گرفته اند، همچنین محاسبه شاخص ها و نتایج بررسی های ژئوشیمی نشان می دهد که افیولیتها بیشترین تاثیر را در آلودگی رسوبات منطقه داشته اند.

جدول ۵-۱۳ - محاسبه درجه آلودگی اصلاح شده برای رسوبات منطقه مورد مطالعه

شماره نمونه	درجه آلودگی	توصیف درجه آلودگی
S1	2.09	آلودگی متوسط
S2	3.23	آلودگی متوسط
S3	1.85	آلودگی اندک
S4	2.82	آلودگی متوسط
S5	1.36	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S6	1.66	آلودگی اندک
S7	1.33	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S8	1.28	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S9	1.66	آلودگی اندک
S10	0.85	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S11	1.55	آلودگی اندک
S12	1.7	آلودگی اندک
S13	1.88	آلودگی اندک
S14	1.89	آلودگی اندک
S15	1.75	آلودگی اندک
S16	1.51	آلودگی اندک
S17	1.42	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S18	1.44	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S19	1.22	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S20	1.54	آلودگی اندک
S21	1.23	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S22	1.56	آلودگی اندک
S23	1.06	غیر آلوده تا آلودگی اندک
S24	1.54	آلودگی اندک
S25	1.41	غیر آلوده تا آلودگی اندک



بررسی کیفیت و هیدروشیمی منابع آب در
منطقه مورد مطالعه

۶-۱- مقدمه

در این فصل کیفیت آبها با توجه به ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه و نحوه انتقال و تمرکز عناصر در آب زیرزمینی با استفاده از شاخصها بررسی گردیده است. انتخاب عناصر بر اساس غلظت و اثرات زیست محیطی آنها و رابطه آنها با ژئوشیمی رسوبات منطقه انجام گرفته است. لذا ابتدا همبستگی عناصر در منابع آب منطقه محاسبه شده است. در بررسی کیفیت منابع آب منطقه، غلظت عناصر در پایان فصل خشک (مهرماه ۱۳۸۹) به خاطر غلظت بیشتر اغلب عناصر انتخاب و با استانداردهای WHO (۲۰۰۸) و ۱۰۵۳ ایران مقایسه و چاههای آلوده مشخص شده و پراکنش آنها بر روی نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار GIS ترسیم گردیده است. عناصر با غلظتهای بالاتر از حد استاندارد بر روی نقشه منطقه با رنگ قرمز مشخص شده و همچنین با محاسبه ضریب اشباع شدگی برخی از کانیهای مهم تشکیل دهنده عناصر با توجه به شرایط آب منطقه بوسیله نرم-افزار هیدروژئوشیمی PHREEQC (version 2.15.06)، (Parkhurst and Appelo 1994) و مقایسه آنها با نمودار Eh-pH رفتار و ماهیت ژئوشیمیایی عناصر در منابع آب تجزیه و تحلیل گردیده است. تیپ و رخساره آب تعیین شده و دیاگرامهای استیف، پایپر رسم شده اند. مقایسه غلظت عناصر در دو فصل خشک و تر نیز انجام گرفته است. در انتهای فصل نیز جهت برآورد کلی از شرایط کیفی منابع آب منطقه مورد مطالعه، شاخص فلزی (MI) برای تمامی منابع آب شده محاسبه شده است. جهت تعیین منشاء کاتیون و آنیونها نیز از نرم افزار Wateval استفاده شد. نتایج آنالیزهای انجام شده بر روی منابع آب در جداول ۶-۱، ۶-۲، ۶-۳، ۶-۷ و ۶-۸ آمده است.

۶-۲- بررسی همبستگی پارامترها در منابع آب

همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و عناصر اصلی و فرعی در نمونههای آب زیرزمینی با توجه به نتایج ذکر شده در جداول ۶-۲ و ۶-۸ محاسبه شده و نتایج در جدول ۶-۴ ارائه شده است. Pb با B (+۰/۹۴۳) همبستگی مثبت نشان می دهد. زمین شناسی منطقه و حضور بور در لیستونیت های ناشی از دگرسانی پریدوتیت های سرپانتینی شده و همچنین وجود Pb در لیستونیت ها و در نتیجه منشاء مشترک آنها و دلیل همبستگی بالای Pb با B می باشد.

همبستگی مثبت Pb با Mg (+۰/۷۱۳) در آب را می‌توان به حضور اسپیلیت‌ها و لیستونیت‌ها که حاوی Pb می‌باشند، نسبت داد.

همبستگی مثبت Mg با Ca (+۰/۶۱۴) حاکی از هم‌منشاء بودن آنها می‌باشد. لیستونیت‌های کربناتی ناشی از پریدوتیت‌های دگرسان شده و سنگ‌های آهکی در منطقه و حضور کانی‌های غنی از Ca و Mg از جمله کلسیت، دولومیت، هونتیت و منیزیت در منطقه مورد مطالعه (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴) تأییدی بر منشاء یکسان عناصر منیزیم و کلسیم در آب و ارتباط بین آنها می‌باشند.

Na با Cl (+۰/۷۱۳)، K (+۰/۷۹۲) و SO_4 (+۰/۷۳۹) همبستگی مثبت نشان می‌دهند. از آنجا که دگرسانی لیستونیت‌های کربناتی و سیلیسی به وسیله محلول‌های هیدروترمال غنی از عناصر Cl، K، SO_4^{2-} صورت می‌گیرد، حضور این عناصر را در لیستونیت‌های منطقه حضور دارند، این امر را می‌توان دلیلی بر همبستگی آنها در منابع آب دانست.

EC با TH (+۰/۷۱۰) و Ca (+۰/۷۱۰) و TH با TSS (+۰/۶۴۱) همبستگی مثبت نشان می‌دهند.

Pb با TSS (+۰/۷۹۲) یا مجموع ذرات معلق در آب همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

فصل ششم بررسی کیفیت و هیدروژیمنی منابع آب در منطقه مورد مطالعه

جدول ۶-۱- پارامترهای فیزیکوشیمیایی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در منابع آب جنوب دشت بیرجند - اردیبهشت ماه ۸۹

ردیف	TH(mg/L as CaCO3)	غلظت (mg/L)									EC	نام منبع آبی	نمونه‌نامه
		SO4	Cl	HCO3	K	Na	Mg	Ca	TSS	TDS			
25	135.4	244.6	76.85	457.6	6.647	75.87	120.3	54.11	215	1024	1670	۶ رکات	W1
26.8	391.4	482.2	120.1	390.5	14.08	234.5	94.79	84.16	778	1440	2031	۵ رکات	W2
24.7	348.1	248.2	100.9	317.3	5.865	160.9	66.84	30.06	171.3	902	1521	۱۰ رکات	W3
24	465	327.9	106.6	438	7.2	176	98	51.7	367	1208	1864	۸ رکات	W4
25	487	219.8	96.06	372.2	5.083	101.2	89.93	148.3	205.6	915	1533	۹ رکات	W5
23	356.3	216.3	72.05	347.8	6.256	94.26	66.84	32.06	253	787	1330	۱۱ رکات	W6
25	478.7	276.5	96.06	451.5	4.301	172.4	85.07	52.1	152.2	1100	1786	۱۰ علی آباد	W7
25	686.3	421.9	163.3	579.7	9.775	248.3	143.4	38.07	507	1587	2053	۶ علی آباد	W8
25	571.4	421.9	57.64	378.3	8.211	167.8	111.8	44.09	655	1235	2005	۷ علی آباد	W9
25	431.3	329.7	72.05	390.5	3.91	195.4	87.5	28.05	182	1100	1819	۱۲ علی آباد	W10
24	387.5	237.5	124.9	451.5	5.083	174.7	64.41	50.1	632	992	1605	۱۳ علی آباد	W11
24	555.1	326.2	182.5	390.5	8.211	186.2	93.57	68.13	751	1741	2001	۸ علی آباد	W12
25	477.1	251.7	120.1	494.2	7.038	197.7	75.35	54.11	342	1132	1920	۱۱ علی آباد	W13
24	545.1	287.2	52.84	396.6	5.474	108.1	105.7	44.09	101.5	736	1755	۱۴ علی آباد	W14
23.3	574.5	62.44	390	493	7.82	218.4	88.71	84.16	584	1350	2015	اداره راه	W15
24	504.8	129.7	340.3	451.5	8.993	218.4	91.14	50.1	236.7	1263	2015	بوستان مهدیه	W16
22.4	648.7	115.3	620.4	433.2	10.17	315	127.6	50.1	234	1728	2078	برزگانی	W17
24.5	1186.5	374.6	1110	335.6	11.73	471.3	223.6	106.2	415	2854	4066	محمدیه	W18
24	632.7	230.6	347.4	427.1	7.82	202.3	130	38.07	109.4	1382	2022	آموزش کشاورزی ۱	W19
24.6	276.7	72.05	219.8	384.4	3.006	188.5	38.89	48.09	319.2	896	1550	آموزش کشاورزی ۲	W20
22	431	131.2	86.46	360	4.301	57.47	89.93	26.05	141.5	728	1165	چپکند	W21
22.4	632.7	124.9	390	280.7	5.083	200	97.22	28.05	208	1164	1907	پارک جنگلی	W22
19	319	205.6	115.3	433.2	5.474	200	43.75	56.11	365	979	1611	بجد	W23
19.9	431.3	72.05	606.2	482	11.73	301.2	138.5	34.07	145.7	1696	2071	حاجی آباد	W24
20	498	657.36	61.25	353.8	0.391	18.39	108.14	96.19	163	928	1450	پورشمسیان	W25
23	496	266.9	227.8	404.8	9.7	185.6	98	57.63	135	1223	1857	شمس آباد	W26
19	435	535.06	73.5	268.4	1.955	133.34	66.83	96.19	152	930	1450	شمس آبادی	W27
17	351.2	72.05	113.44	347	5.86	78.17	60.74	38.7	76.1	665	1158	بوشاد	W28
16	393.7	57.64	152.43	347	6.45	52.88	69.25	44	187.4	723	1214	نصرآباد	W29
16.9	178.5	57.64	173.7	122	1.17	82.77	36.44	12.24	73.4	460	778	عمشاه بند	W30

فصل ششم بررسی کیفیت و هیدروژیسی منابع آب در منطقه مورد مطالعه

جدول ۶-۲- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در منابع آبی جنوب دشت بیرجند-مهر ماه ۸۹

دب	TH(mg/L as CaCO ₃)	غلظت (mg/L)								μs/cm		نام منبع آبی	شماره منبع
		SO ₄	Cl	HCO ₃	K	Na	Mg	Ca	TSS	TDS	EC		
27	545	216.1	390	408.8	0.782	183.9	125.2	78.15	436	1004.8	1766	۶ رکات	w1
26.9	635	192.1	202.1	311.2	0.391	96.56	91.14	80.16	629	1491.2	2051	۵ رکات	w2
25	375	38.43	223.4	414.9	0.391	151.7	52.26	60.12	253	921.6	1592	۱۰ رکات	w3
25	710	52.84	248.2	396.6	0.391	128.7	80.21	48.09	751	1420.8	2038	۸ رکات	w4
25	450	96.06	216.3	384.4	0.391	158.6	46.18	74.14	287	934.4	1638	۹ رکات	w5
22	365	62.44	219.8	494.2	0.391	188.5	58.33	52.1	197.4	889.6	1423	۱۱ رکات	w6
27	547	43.23	273	561.4	0.782	186.2	81.42	60.12	395	980.4	1778	۱۰ علی آباد	w7
24	845	177.7	439.6	549.2	1.173	188.5	150.7	90.18	365	1606.4	2071	۶ علی آباد	w8
24	645	182.5	368.7	311.2	0.782	147.1	109.4	78.15	311.9	1235.2	2022	۷ علی آباد	w9
26	450	134.5	234	439.3	0.391	48.28	166.5	16.03	314	1132.8	1963	۱۲ علی آباد	w10
25	725	134.5	234	439.3	0.391	48.28	166.5	16.03	455	1004.8	1768	۱۳ علی آباد	w11
24	325	201.7	347.4	366.1	0.782	310.4	36.46	70.14	425	1280	2019	چاه ۸ علی آباد	w12
25	485	115.3	382.9	274.6	0.391	200	60.76	90.18	367	1139.2	2004	۱۱ علی آباد	w13
24	725	86.46	531.8	396.6	0.782	243.7	115.4	64.12	501.5	1062.4	1855	۱۴ علی آباد	w14
24	555	182.5	372.3	414.9	0.782	262.1	71.7	76.15	761	1267.2	2018	اداره راه	w15
24	485	278.6	549.5	378.3	0.782	347.1	94.79	92.18	595	1350.4	2059	بوستان مهدیه	w16
22	620	235.4	1035	286.8	1.173	381.6	178.6	150.3	834	1760	3000	برزگانی	w17
24	1110	105.7	265.9	238	0.391	103.5	76.56	56.11	815.2	243.2	5007	محمدیه	w18
25	455	24.02	226.9	451.5	0.391	163.2	29.17	96.19	373.4	870.4	1870	آموزش کشاورزی ۱	w19
24	360	38.43	361.6	457.6	0.391	179.3	122.7	12.02	189	915.2	1540	آموزش کشاورزی ۲	w20
26	325	96.06	375.8	549.2	0.391	200	92.36	70.14	246.1	761.6	1318	چپکند	w21
27	535	336.2	361.3	530.8	1.173	439.1	61.98	48.09	215	1184	2006	پارک جنگلی	w22
23.8	370	91.26	159.5	640.7	0.391	124.1	54.69	40.08	203.6	998.4	1706	بجد	w23
20.5	375	28.82	230.4	451.5	0.391	80.46	91.14	70.14	307	1702.4	2085	حاجی آباد	w24
25	550	365	400.6	482	1.173	409.2	72.91	60.12	237.4	928	2073	پورشمسیان	w25
25	410	81.65	166.6	274.6	0.391	55.18	60.76	70.14	293	940.8	1643	شمس آباد	w26
25	450	81.65	322.6	238	0.391	149.4	51.04	80.16	466.5	1715.2	1618	شمس آبادی	w27
17.5	480	14.41	70.91	317.3	0.391	34.48	20.66	86.17	208.4	704	1272	پوشاد	w28
16.5	425	105.7	120.5	274.6	0.391	34.48	81.42	56.11	336.1	697.6	1245	نصرآباد	w29
21	300	14.41	70.91	317.3	0.391	34.48	20.66	86.17	92.5	480	1946	بند عمرشاه	w30

جدول ۶-۳- مقدار pH در منابع آب جنوب دشت بیرجند- پایان فصل تر و پایان فصل خشک

pH		نام منبع آبی	منبع شماره
ماه مهر	ماه اردیبهشت		
7	7.4	۶ رکات	W1
7.5	7.6	۵ رکات	W2
7.2	7.5	۱۰ رکات	W3
7.5	7.5	۸ رکات	W4
7.4	7.5	۹ رکات	W5
7.2	7.5	۱۱ رکات	W6
7.5	7.5	۱۰ علی آباد	W7
7	7.4	۶ علی آباد	W8
7.3	7.6	۷ علی آباد	W9
7.5	7.4	۱۲ علی آباد	W10
7.3	7.5	۱۳ علی آباد	W11
7.2	7.4	۸ علی آباد	W12
7.3	7.5	۱۱ علی آباد	W13
7	7.9	۱۴ علی آباد	W14
7.8	7.4	اداره راه	W15
7.5	7.3	بوستان مهدیه	W16
7.7	7.5	برزگانی	W17
7	7.2	محمدیه	W18
7.4	7.3	مرکز آموزش کشاورزی ۱	W19
8.2	7.5	مرکز آموزش کشاورزی ۲	W20
7.9	7.5	چپکند	W21
8	7.5	پارک جنگلی	W22
7.7	7.3	بجد	W23
7.7	7.6	حاجی آباد	W24
7.4	7.7	پورشمسیان	W25
7.5	7.4	شمس آباد	W26
7.2	7.7	شمس آبادی	W27
8	8.4	بوشاد	W28
7.6	8.15	نصرآباد	W29
7	7.3	بند عمرشاه	W30

بررسی کیفیت و هیدروژی منبغ آب در منطقه مورد مطالعه

جدول ۶-۴- همبستگی عناصر و پارامترها در نمونه‌های آب (مقادیر بالاتر از ۰/۶ ضخیم شده‌اند)

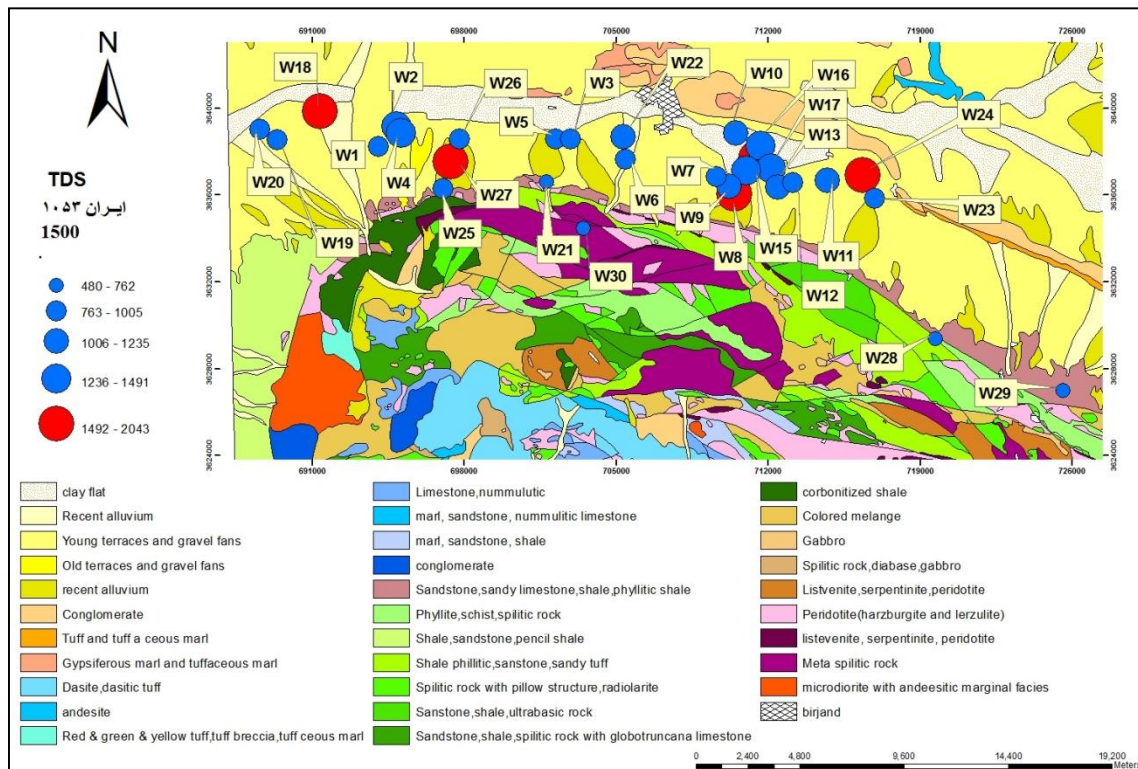
	Al	As	B	Ba	Br	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Si	Zn	Ca	Cl	K	Mg	Na	HCO3	SO4	PH	EC	TH	TDS	TSS
Al	1																							
As	-0.222	1																						
B	0.093	-0.089	1																					
Ba	0.33	0.19	0.593	1																				
Br	0.0982	0.358	0.233	0.353	1																			
Cr	0.137	0.093	0.223	-0.104	0.792	1																		
Cu	0.362	-0.061	-0.071	0.304	0.204	0.137	1																	
Fe	0.093	0.295	-0.102	0.5	0.116	0.142	-0.061	1																
Ni	0.171	-0.16	0.423	-0.017	0.358	0.193	0.376	-0.107	1															
Pb	0.593	0.231	0.943	0.005	0.138	0.223	0.257	-0.131	0.193	1														
Si	0.193	-0.009	-0.115	0.39	0.093	0.376	0.304	-0.38	0.178	0.257	1													
Zn	0.39	0.312	0.146	0.499	0.279	0.19	-0.131	0.116	-0.002	0.041	-0.38	1												
Ca	-0.135	0.273	0.039	0.416	0.337	0.304	0.233	0.506	0.335	0.141	0.019	0.019	1											
Cl	-0.185	0.213	0.593	0.061	-0.087	0.445	0.193	-0.104	0.41	0.083	-0.181	-0.138	0.184	1										
K	0.015	0.07	-0.02	-0.009	0.196	0.083	0.031	0.312	-0.107	0.322	0.243	0.081	0.352	0.41	1									
Mg	-0.294	-0.012	0.038	0.059	0.146	0.202	0.153	-0.135	0.083	0.713	-0.376	0.252	0.614	0.564	0.322	1								
Na	0.138	0.102	0.038	-0.051	0.101	0.416	0.28	0.352	0.238	0.243	0.229	0.23	-0.283	0.713	0.792	-0.376	1							
HCO3	0.069	-0.375	0.042	-0.135	-0.161	0.143	-0.087	-0.158	0.196	0.295	0.252	-0.002	-0.38	0.71	0.229	0.115	0.129	1						
SO4	0.0494	-0.178	0.027	0.415	0.649	0.112	0.265	0.025	0.448	0.322	0.387	-0.158	0.307	0.297	0.375	0.197	0.739	0.252	1					
PH	0.089	-0.178	0.06	-0.013	0.113	-0.104	0.0008	0.083	0.059	0.202	-0.044	-0.283	0.141	0.019	0.023	-0.002	0.141	-0.309	0.235	1				
EC	-0.159	0.0498	0.027	0.035	0.333	0.015	0.063	0.173	0.115	0.101	0.28	-0.036	0.71	-0.181	0.184	0.178	0.041	-0.181	0.308	-0.35	1			
TH	-0.03	-0.018	0.212	0.415	0.3	0.206	0.129	0.045	0.375	0.129	0.143	-0.158	0.178	0.023	0.081	0.41	0.322	0.019	0.235	0.081	0.71	1		
TDS	0.166	0.448	0.204	-0.135	0.649	0.325	0.035	0.327	0.564	0.197	-0.309	0.0008	0.307	0.041	0.3469	0.375	0.197	-0.376	0.308	-0.138	-0.094	0.023	1	
TSS	0.008	0.247	0.322	0.118	0.552	0.112	0.16	0.323	0.336	0.792	0.16	-0.35	0.173	0.297	0.019	0.336	0.197	-0.376	0.235	-0.138	0.614	0.641	0.346	1

۳-۶- بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در منابع آب منطقه

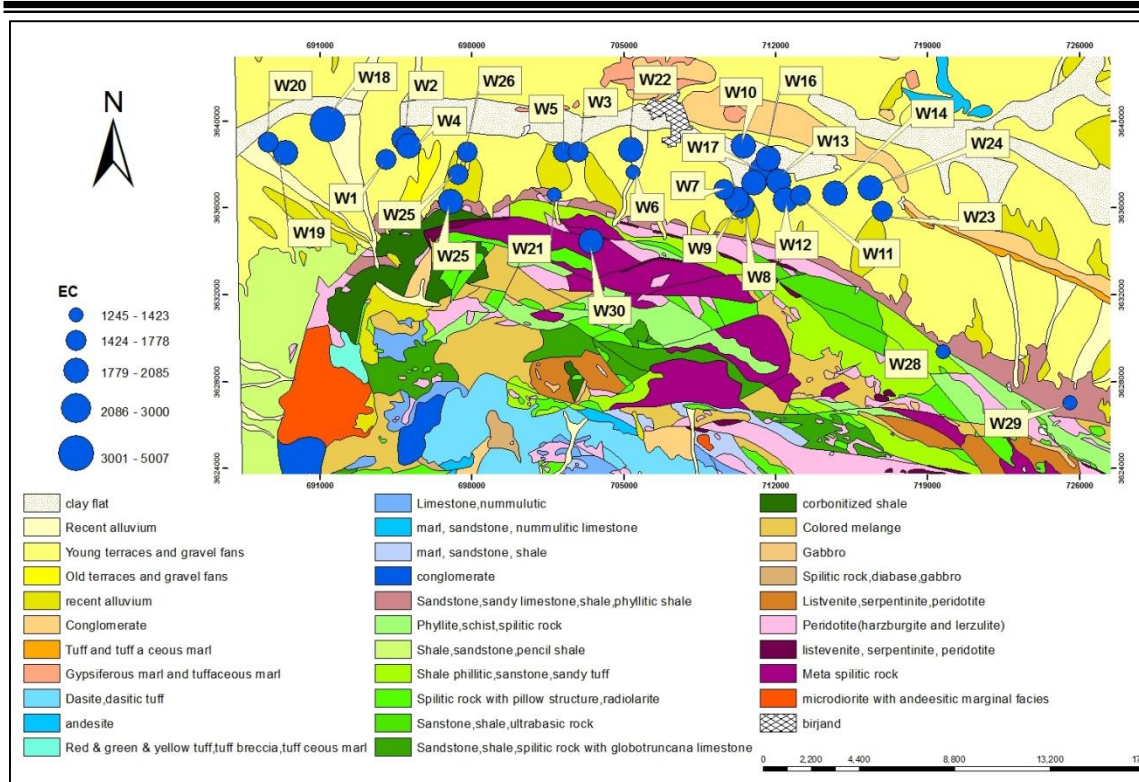
۳-۶-۱ تغییرات TDS (غلظت املاح حل شده) و EC (هدایت الکتریکی)

مقدار مجاز TDS توسط استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران 1500 mg/L تعیین شده است. با توجه به این استاندارد، غلظت املاح حل شده در چاه‌های W8، W17، W24 و W27 بیش از حد استاندارد می‌باشد. چشمه بند عمرشاه (W30) کمترین غلظت املاح حل شده را دارد.

همان طور که در شکل ۶-۱ دیده می‌شود، پراکنش غلظت TDS در منطقه مورد مطالعه از ارتفاعات به سمت دشت روند افزایشی را نشان می‌دهد. این مطلب حاکی از انحلال عناصر در آب و افزایش غلظت املاح با طی کردن مسافت بیشتر است. بیشترین مقادیر EC در چاه‌های W18 ($2043 \mu\text{m/s}$) و W17 ($3000 \mu\text{m/s}$) در غرب و تقریباً مرکز منطقه مورد مطالعه بدست آمده است (شکل ۶-۳). می‌توان مقدار بالای EC در این چاه‌ها را به آب و هوای گرم و خشک در منطقه و تبخیر بالای رواناب‌ها و نفوذ شورابه‌های سطحی به آب‌های زیرزمینی نسبت داد.



شکل ۶-۱- پراکنش مقادیر TDS در منابع آب



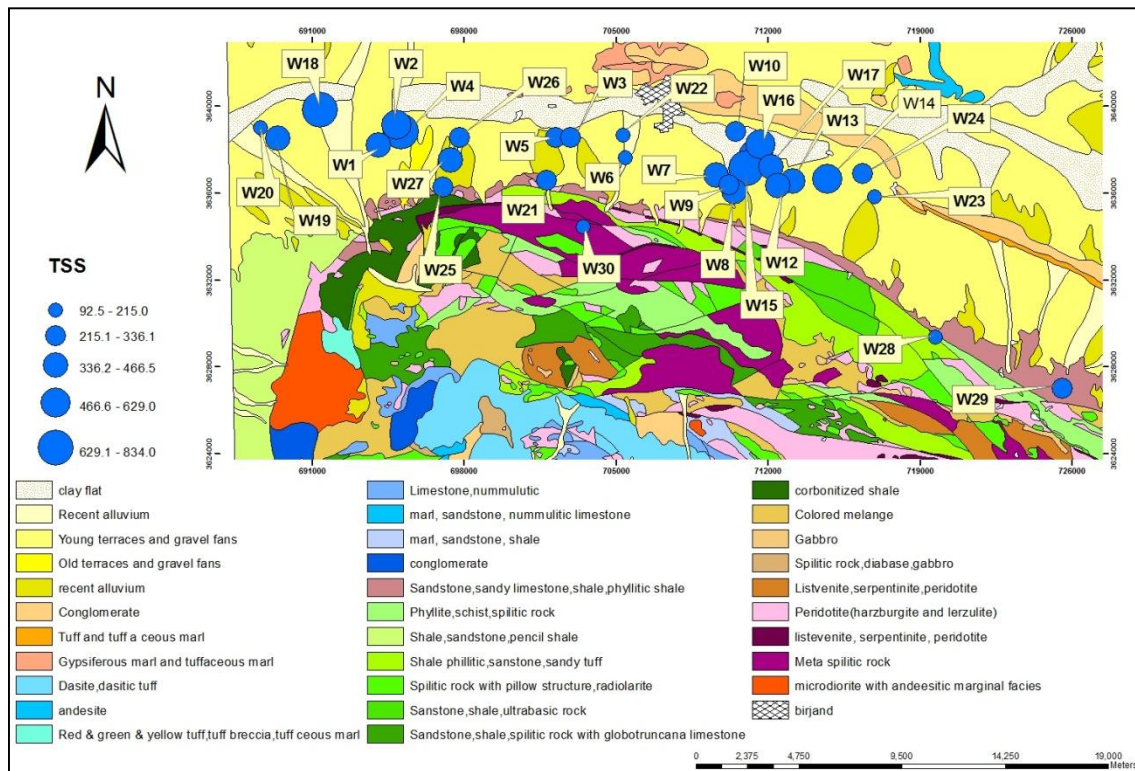
شکل ۶-۲- پراکنش مقادیر EC در منابع آب

۶-۳-۲- تغییرات TSS (مجموع ذرات معلق در آب) و تغییرات TH (سختی کل)

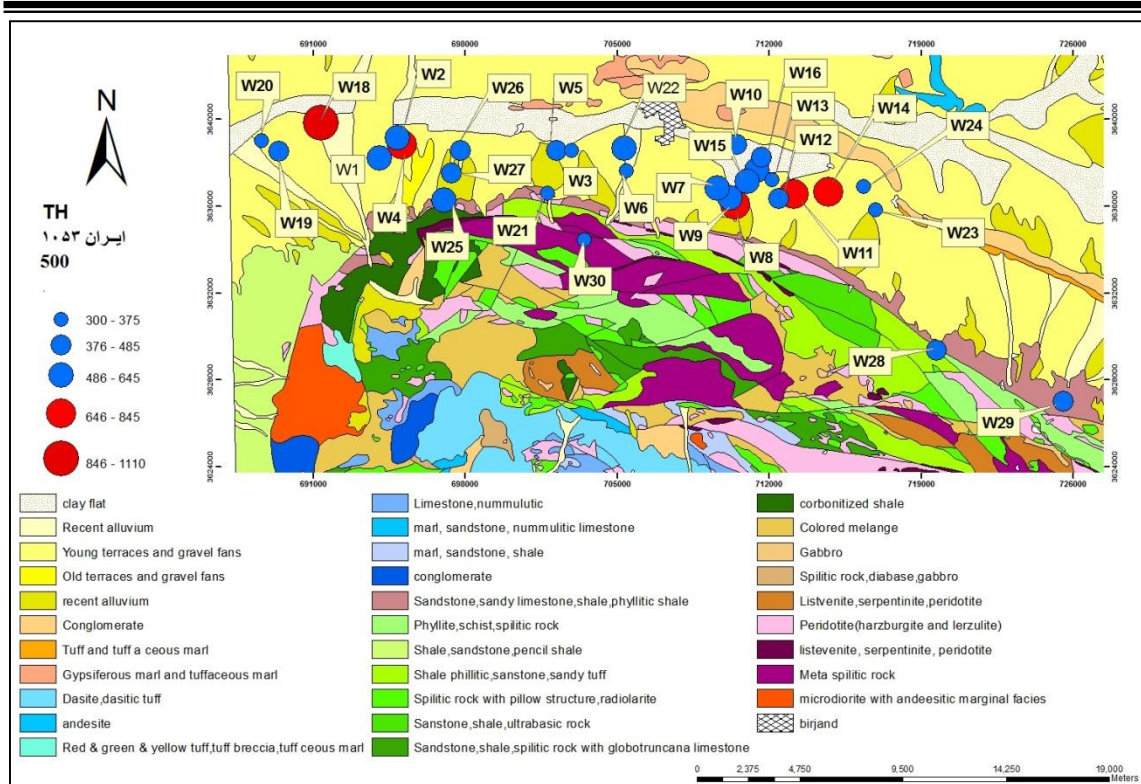
شکل ۶-۳ پراکنش مقادیر TSS را در منابع آب و بر روی نقشه زمین شناسی نشان می‌دهد. بیشترین مقدار TSS در چاه‌های W17 (834 mg/L) و W18 (815 mg/L) در غرب و قسمت مرکزی منطقه، به علت قرار گرفتن این منابع در پایین دست رسوبات آرژیلیتی و کانی‌های رسی دیده می‌شوند. کمترین مقدار TSS در چشمه بند عمرشاه W30 (92/5 mg/L) دیده می‌شود، که این امر به دلیل قرار گرفتن این منبع آب در مرتفع ترین قسمت و نزدیک ارتفاعات از نوع اسپیلیت‌ها می‌باشد. (شکل ۶-۳). با توجه به استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران که حد استاندارد ۵۰۰ mg/L as CaCO₃ برای سختی آب تعیین کرده است، سختی کل در ۴۳/۳۳٪ از چاهها بیش از حد مجاز می‌باشد و بیشترین مقدار در چاه W18 (1110 mg/L as CaCO₃) و کمترین نیز در چشمه بند عمرشاه W30 (92/5 mg/L as CaCO₃) (۳۰۰ بدست آمده است. سختی کل نیز در منابع آب منطقه روند افزایشی را از ارتفاعات به سمت دشت نشان می‌دهد (شکل ۶-۴). سختی منابع آب منطقه با حدود سختی آنها (جدول ۶-۵) مقایسه شده و نشان می‌دهد که آبهای منطقه به جزء W30 در محدوده آبهای بسیار سخت قرار می‌گیرند.

جدول ۶-۵- تقسیم‌بندی آنها بر اساس سختی (پوی و همکاران، ۱۳۸۶)

نوع آب	سختی کل (mg/L بر حسب CaCO ₃)
نرم	۵۰ >
نسبتاً سخت	۱۰۰-۵۰
سخت	۳۰۰-۱۵۰
بسیار سخت	>۳۰۰



شکل ۶-۳- پراکنش مقادیر TSS در منابع آب

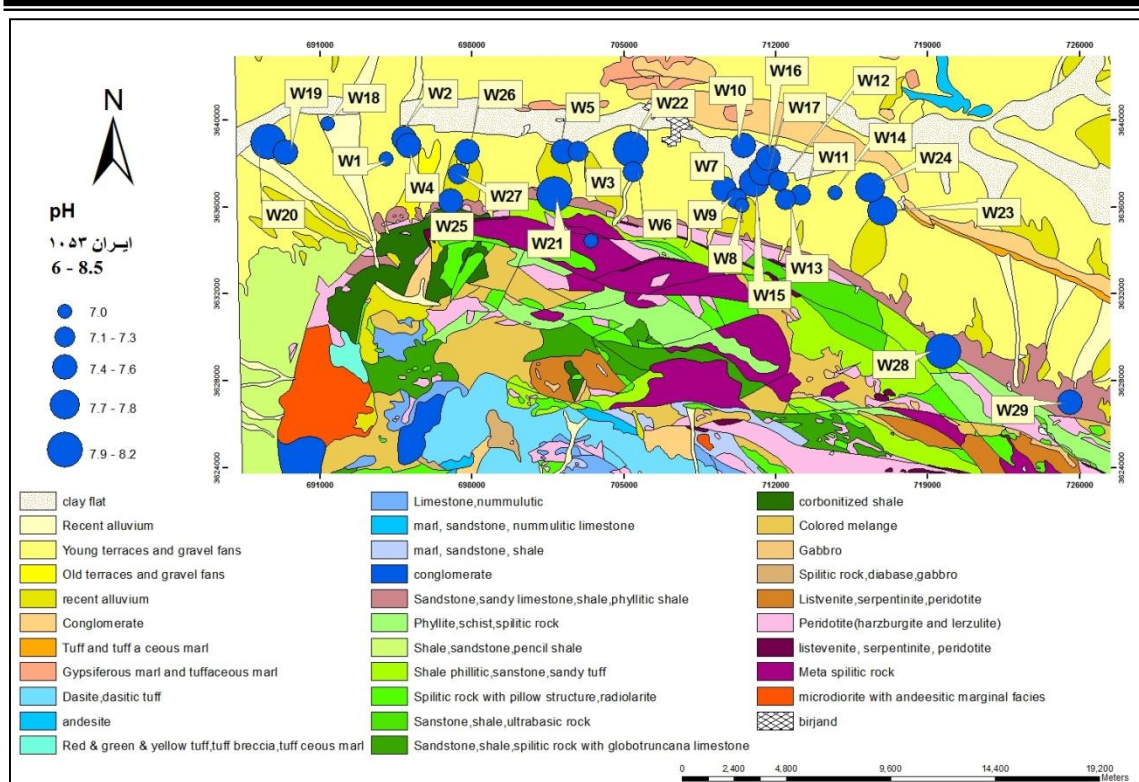


شکل ۶-۴- پراکنش مقادیر TH در منابع آب

۶-۳-۳- تغییرات pH

طبق استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران حد مجاز pH (۸/۵-۶) تعیین شده است که بر این اساس pH کل منابع آب منطقه مورد مطالعه در حد استاندارد بوده و بیشترین pH متعلق به چاه W20 با $pH=8/2$ و کمترین مربوط به منابع W1، W8، W14، W18 و W30 با $pH=7$ می‌باشد. معمولاً منابع آب نزدیک به ارتفاعات از pH بالاتری برخوردارند و تشکیلات افیولیتی منطقه نقش بسزایی در مقادیر pH آب زیرزمینی داشته‌اند.

حضور اولترامافیک‌ها و سنگ‌های آهکی و لیستونیت‌های کربناته در ارتفاعات بالادست منابع آب و وجود شرایط قلیایی در رسوبات منطقه (pH بین ۹/۹-۸/۶) باعث به وجود آمدن محیطی با pH خنثی تا نسبتاً قلیایی در منابع آب منطقه شده است. پراکنش pH در منطقه (شکل ۶-۵)، نشان می‌دهد که عوامل متعددی در تغییرات pH در منابع آب منطقه دخیل بوده‌اند.

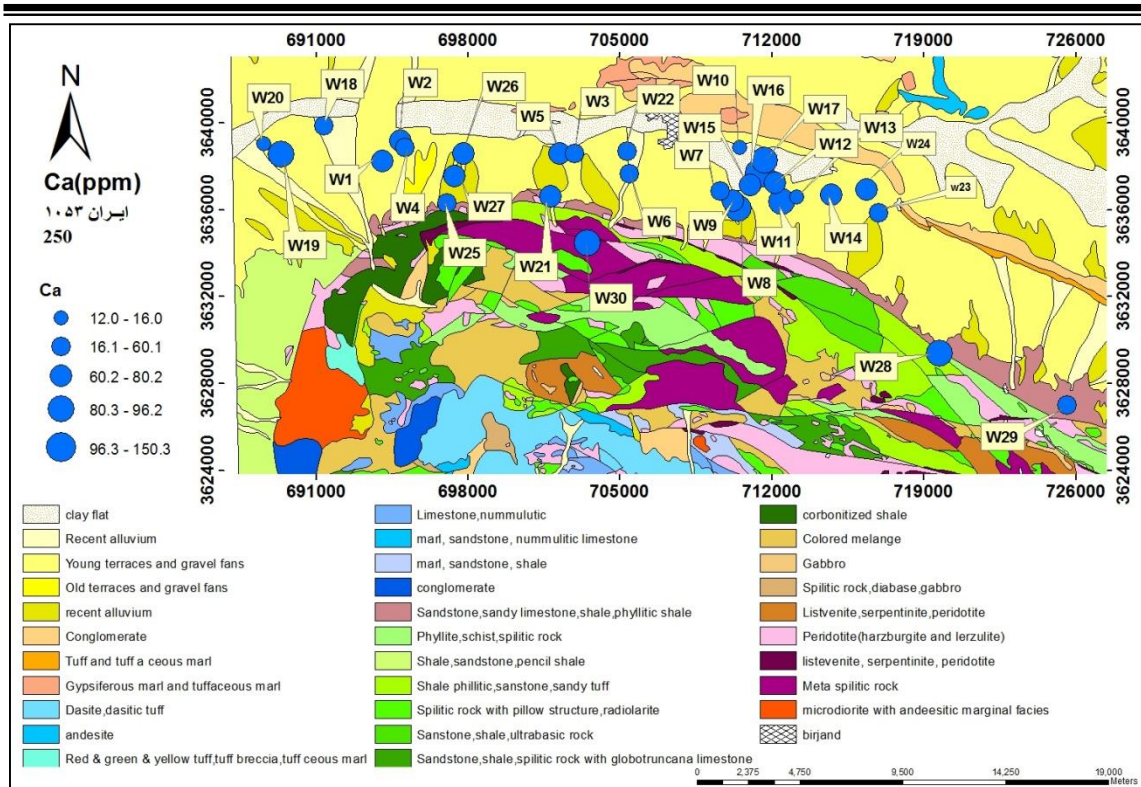


شکل ۶-۵- پراکنش مقادیر pH در منابع آب

۴-۶- تغییرات غلظت آنیونها و کاتیونها

۴-۶-۱- تغییرات غلظت کلسیم

استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران، برای کلسیم حد استاندارد ۲۵۰ ppm را تعیین کرده است. غلظت کلسیم در کل منابع آب زیر حد استاندارد بوده و بیشترین غلظت Ca در چاههای W17 (۱۵۰/۳ ppm) و W19 (۹۶/۱۹ ppm) در مرکز و غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است (شکل ۶-۶). حضور کلسیم در آب زیرزمینی را می‌توان به دلیل وجود سنگهای لیستونیتی ناشی از دگرسانی پریدوتیت‌ها و سنگ‌های آهکی و نفوذ شورابه‌های موجود به علت تبخیر بالا در محدوده مورد مطالعه دانست. کلسیت نیز به صورت پرکننده در فضاهای خالی و شکستگی‌های موجود در مجموعه افیولیتی حضور دارد. علاوه بر اینها در بالادست چاه‌های با کلسیم بیشتر معمولاً شیل‌های کربناتی و آهک‌های ماسه‌ای به وفور دیده می‌شود.



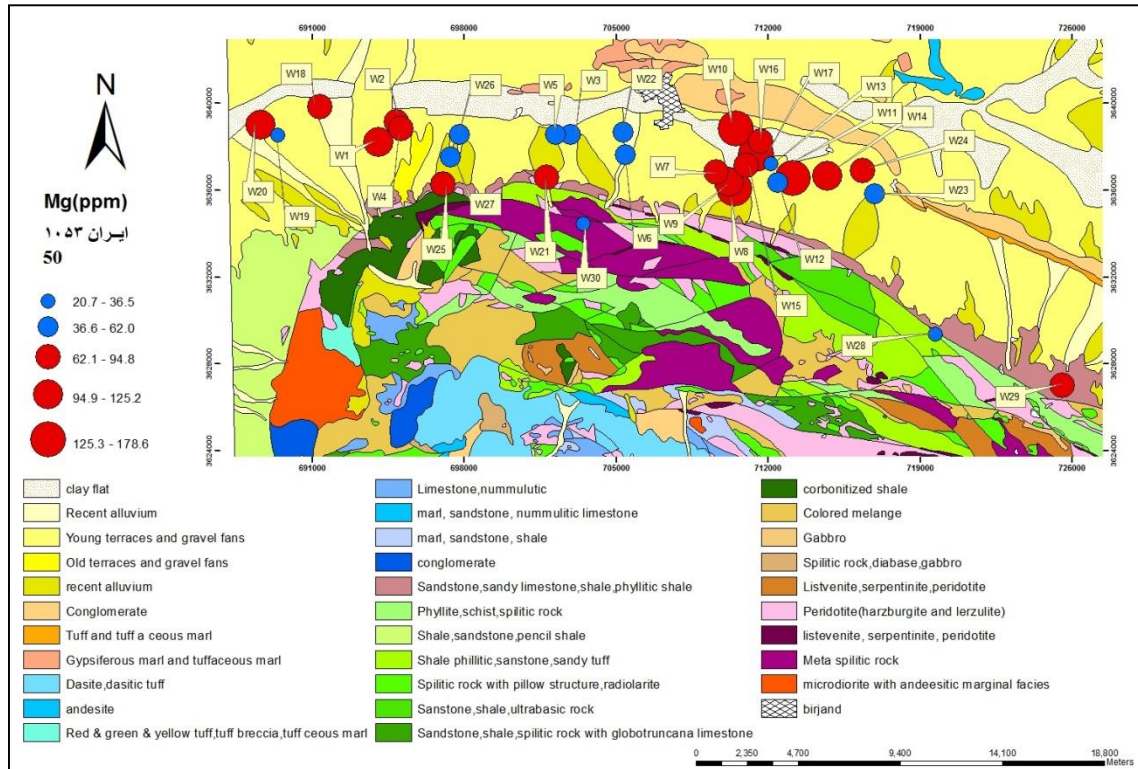
شکل ۶-۶- پراکنش غلظت Ca در منابع آب

۶-۴-۲- تغییرات غلظت منیزیم

منیزیم از جمله کاتیونهای اصلی و مهم در تعیین سختی و کیفیت آب زیرزمینی محسوب می‌شود. کانی‌های دولومیت، پیروکسن، آمفیبول و اولیوین حاوی منیزیم بوده (Appelo and Postma, 1994) و حضور آنها در یک منطقه می‌تواند باعث افزایش غلظت منیزیم در منابع آب شود. کربناتهای کلسیم و منیزیم در pH بالا محلول بوده و در pH پایین غیر محلول‌اند (Mason and Moore, 1982). لذا این امر را می‌توان دلیل حضور منیزیم در منابع آب با غلظت بیش از حد استاندارد دانست.

با توجه به غلظت سولفات در منابع آب منطقه که بیشتر از ۲۵۰ ppm می‌باشد، استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران، حداکثر غلظت مجاز ۵۰ ppm را برای منیزیم تعیین کرده است. بر این اساس غلظت Mg در تمام چاه‌ها به جزء چاه W5 (۴۶/۱۸ ppm)، W12 (۳۶/۴۶ ppm)، W19 (۲۹/۱۷ ppm)، W28 و W30 (۲۰/۶۶ ppm) بیش از حد استاندارد می‌باشد. بیشترین آلودگی منیزیم در چاههای شرقی و غربی منطقه دیده می‌شود (شکل ۶-۷). حضور لیستونیت‌ها در بالا دست این چاه‌ها و کانی‌های دولومیت، منیزیت، هونتیت موجود در آنها (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴) و پریدوتیت‌ها که حاوی

کانی‌های پیروکسن و اولیوین هستند و شیل‌های کربناته در ارتفاعات غربی را می‌توان منشأ اصلی منیزیم در منابع آب منطقه مورد مطالعه دانست.

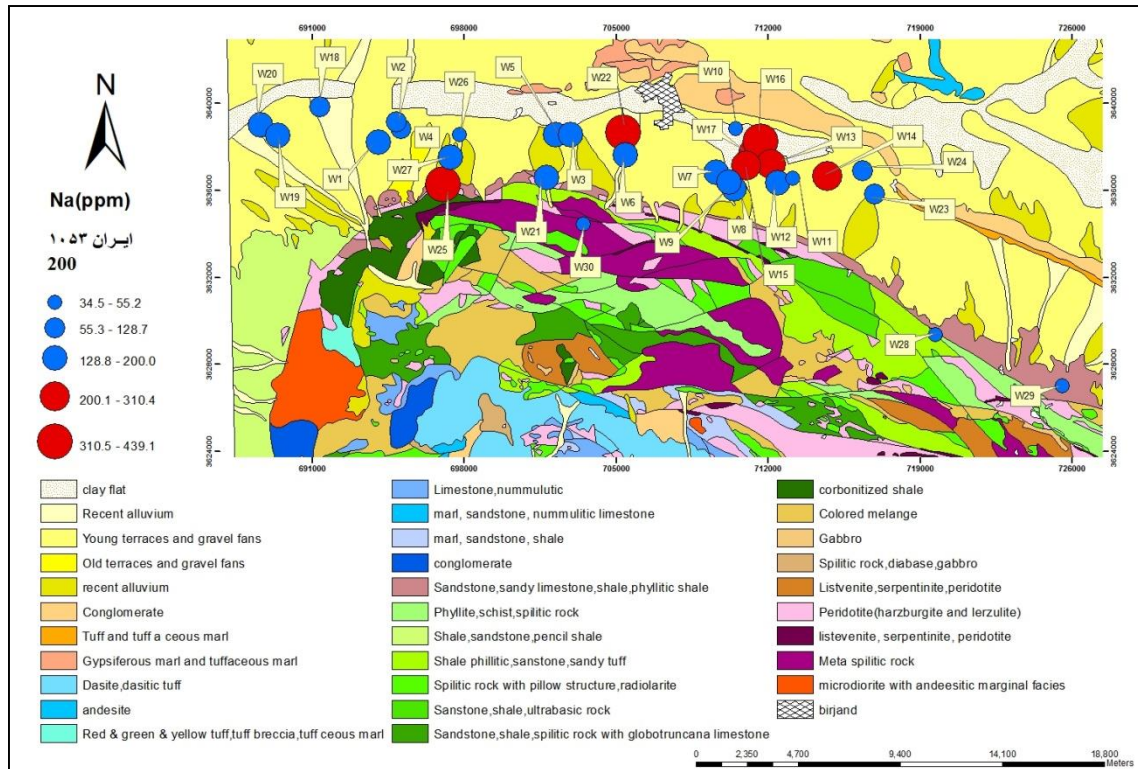


شکل ۶-۷- پراکنش غلظت Mg در منابع آب

۶-۴-۳- تغییرات غلظت سدیم

حد مجاز Na در آب آشامیدنی بر اساس استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران ۲۰۰ mg/L تعیین شده است. غلظت Na در چاه‌های W22، W25، W17، W12، W14، W13 و W21 در قسمت مرکزی و جنوب غرب منطقه بیش از حد استاندارد بدست آمده است. به دلیل قابلیت بالای انحلال ترکیبات سدیم‌دار در آبها، حرکت آنها در یک مسیر با افزایش املاح و غلظت سدیم همراه است. همبستگی سدیم و کلر (۱۳/۷۰٪) در منابع آب منطقه تایید کننده این مطلب می‌باشد. پراکنش غلظت سدیم در منطقه مورد مطالعه، افزایش غلظت سدیم با فاصله گرفتن از ارتفاعات به سمت دشت را نشان می‌دهد (شکل ۶-۸). حضور اسپیلیت‌ها (بازالت‌های سدیم‌دار) و لیستونیت‌های دگرسان شده از پریدوتیت‌ها به دلیل حضور Na₂O (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴) در ارتفاعات مرکزی و بالادست را می‌توان دلیل حضور Na بالا در منابع آب منطقه دانست. نمونه رسوب S2 که در بالادست چاه W25 با غلظت Na بالا قرار گرفته

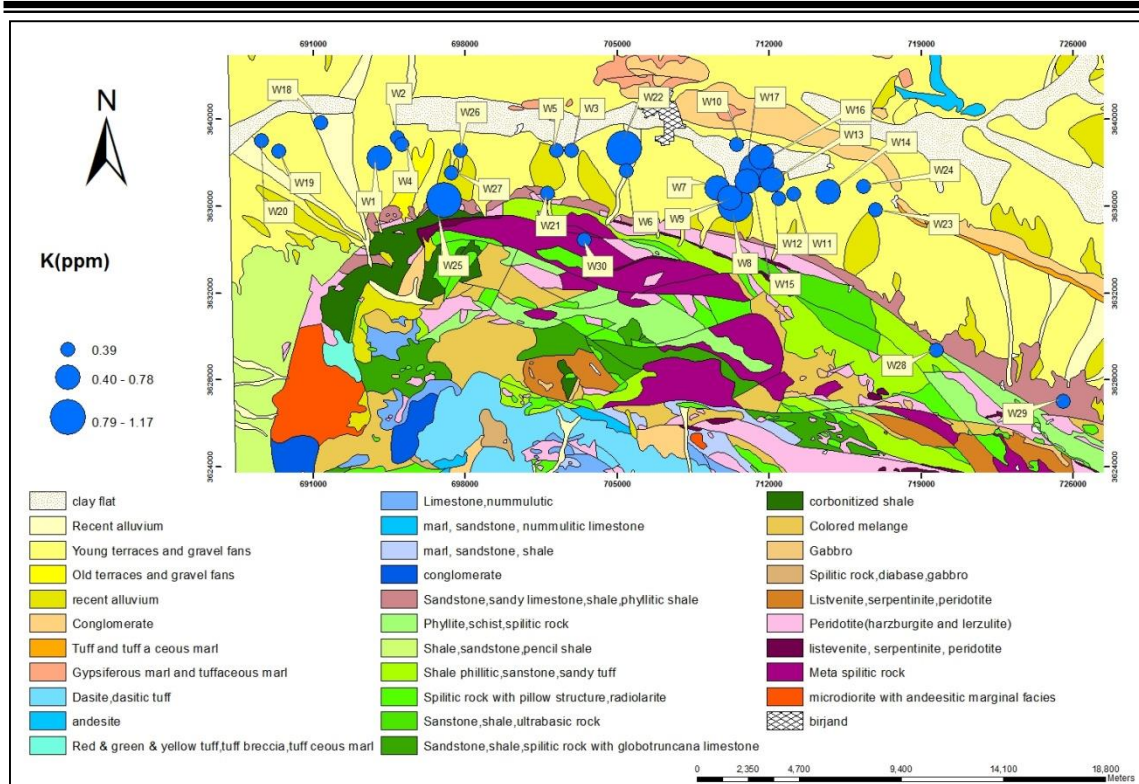
است نیز از سدیم بالایی برخوردار می‌باشد و در مسیر آبراهه‌ای قرار گرفته است که به توده‌های اسپیلیتی منتهی می‌شود. تبخیر بالا در منطقه و ایجاد شورابه‌ها نیز می‌تواند عاملی در جهت افزایش غلظت سدیم در منابع آب محسوب شود.



شکل ۶-۸- پراکنش غلظت Na در منابع آب

۴-۴-۶- تغییرات غلظت پتاسیم

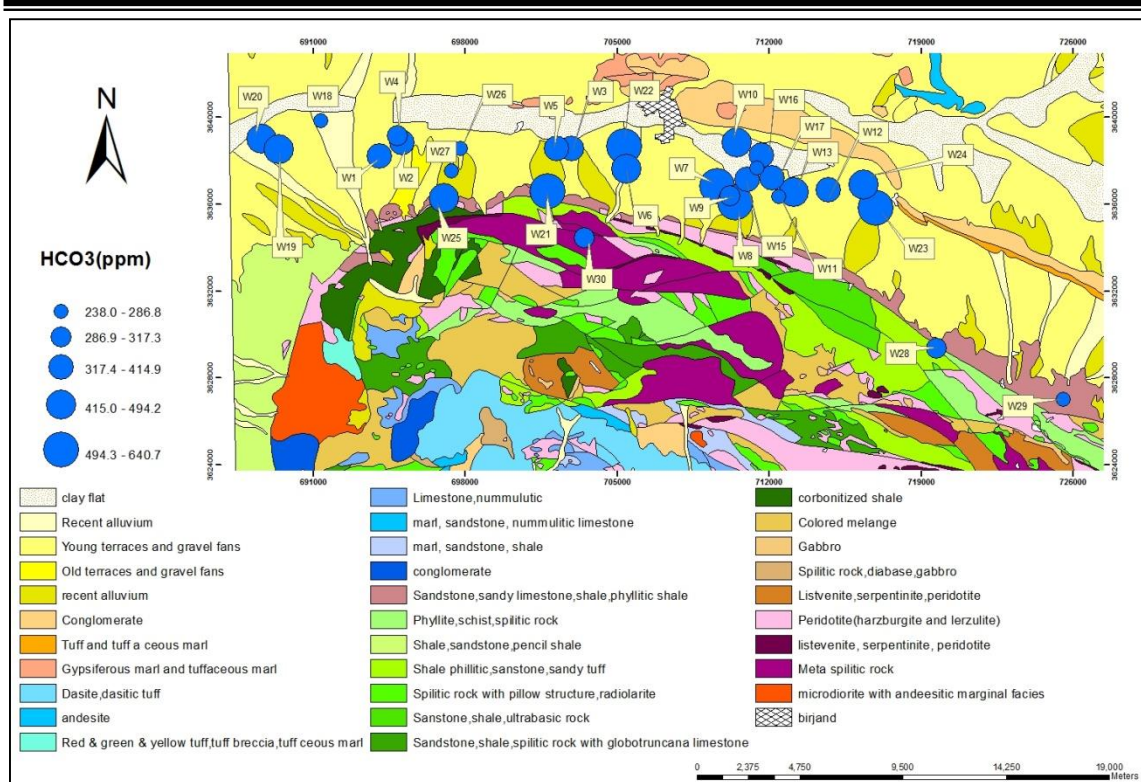
پتاسیم در منابع آب منطقه مورد مطالعه بر خلاف بقیه عناصر از غلظت پایینی برخوردار می‌باشد. منشاء پتاسیم در آب را می‌توان به لیستونیت‌های کربناتی در منطقه مرتبط دانست که دارای K_2O بوده اما مقدار آن کم گزارش شده است (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۴). به دلیل همبستگی پتاسیم با سدیم ($+0/792$) می‌توان گفت که به دلیل اینکه پتاسیم نیز انحلال‌پذیری بالایی دارد، با فاصله از ارتفاعات به سمت دشت بر غلظت آن افزوده می‌شود. استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران حد استاندارد را برای پتاسیم تعیین نکرده است. به استثنای چاه W25 که نزدیک ارتفاعات می‌باشد، بیشترین غلظت پتاسیم در نمونه‌های W8، W17، W25 که در دشت واقع شده‌اند، دیده می‌شود (شکل ۶-۹). حضور شیل‌های کربناته در بالادست چاه W25 می‌تواند باعث افزایش غلظت پتاسیم در آن شده باشد.



شکل ۶-۹- پراکنش غلظت K در منابع آب

۶-۴-۵- تغییرات غلظت بی کربنات

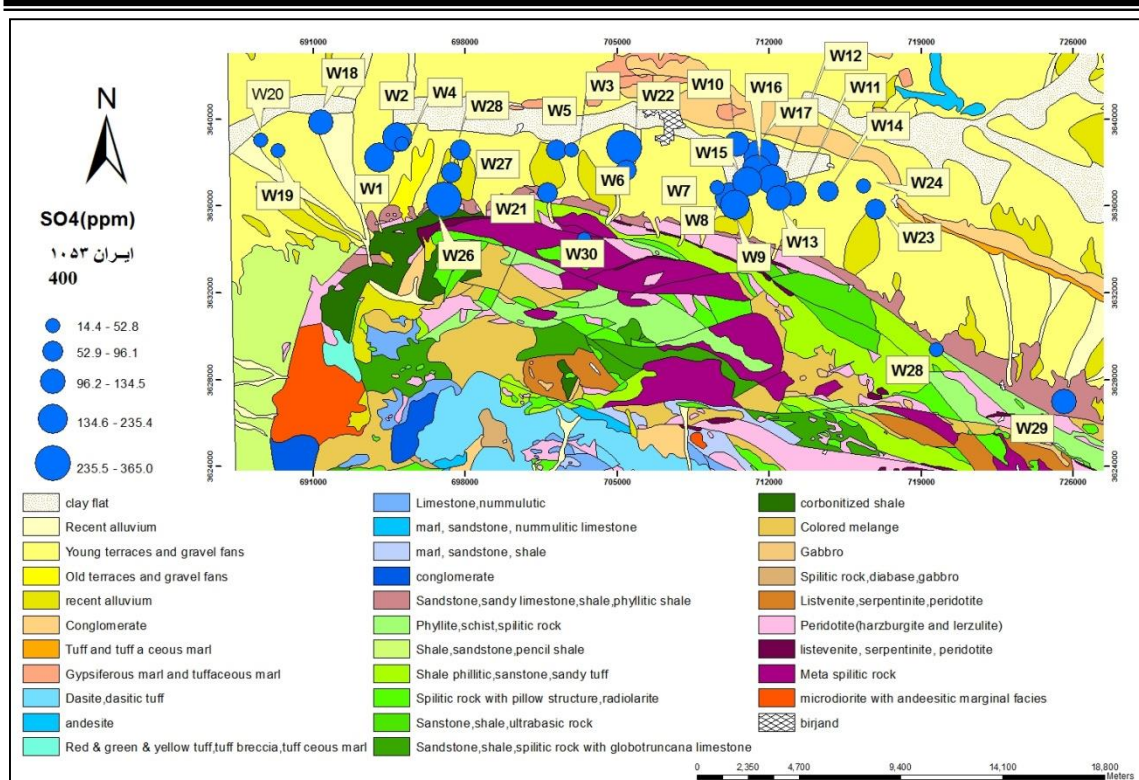
آنیون برتر در آبهای زیرزمینی، یون بی کربنات است که از انحلال سنگ آهک و آلومینوسیلیکاتها تولید می شود (برد، ۱۳۸۶). بیشترین غلظت بی کربنات در چاه های W23 (۶۴۰/۷ ppm)، W21 (۵۴۹/۲ ppm) که در قسمت تقریباً مرکزی منطقه قرار می گیرند، دیده می شود (شکل ۶-۱۰). در کل به دلیل نبود استاندارد برای بی کربنات، نمی توان آلوده بودن یا نبودن چاه ها را نسبت به HCO_3^- مشخص کرد. شیل های کربناته و لیستونیت های کربناتی و سنگ های آهکی و آهک های ماسه ای در دامنه ارتفاعات و در بالادست منابع آب، می توانند منشاء بی کربنات در آب زیرزمینی منطقه باشند.



شکل ۶-۱۰- پراکنش غلظت HCO_3^- در منابع آب

۶-۴-۶- تغییرات غلظت سولفات

استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران، غلظت ۴۰۰ ppm را برای سولفات در آب آشامیدنی تعیین کرده است. بر این اساس غلظت SO_4^{2-} در تمام منابع آب زیر حد استاندارد می‌باشد و بیشترین غلظت سولفات در چاههای W16 (۲۷۸/۶ ppm) و چاه W17 (۲۳۵/۴ ppm) در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل ۶-۱۱). چاه‌های ذکر شده در دشت و با فاصله بیشتری از ارتفاعات نسبت به بقیه منابع آب قرار گرفته‌اند. حضور ماسیو سولفیدها از جمله اسپیلیت‌ها در ارتفاعات و بالادست آبراهه‌های اصلی به خصوص در قسمت مرکزی منطقه را می‌توان عامل اصلی سولفات در منابع آب دانست. تبدیل سولفیدها به سولفات در اثر هوازدگی و حلالیت بالای سولفات و آبشویی‌سازندهای سولفاته و از طرفی غلظت بسیار پایین گوگرد در رسوبات منطقه، نشان‌دهنده شستشوی سولفات از سنگ‌های منطقه و ورود آن به آب زیرزمینی می‌باشد.

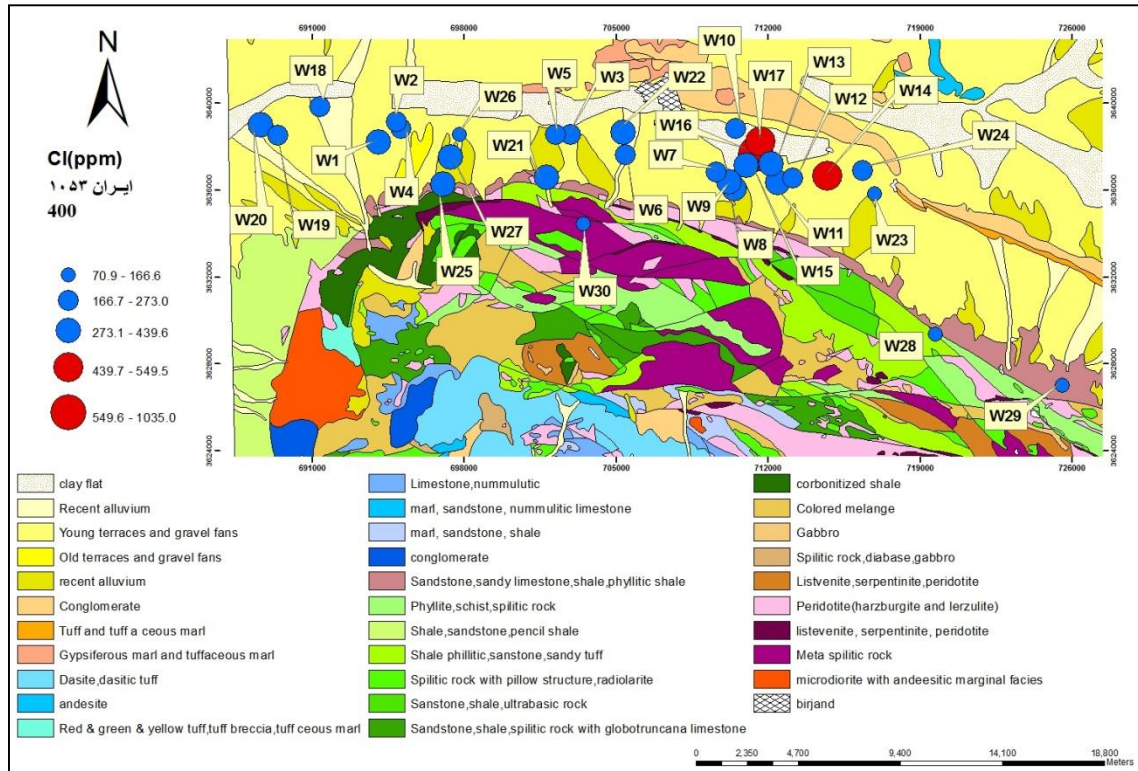


شکل ۶-۱۱- پراکنش غلظت SO_4^{2-} در منابع آب

۴-۷- تغییرات غلظت کلرید

یون کلرید از یونهای رایج در آبهای زیرزمینی و سطحی می باشد که معمولا همراه با عناصر سدیم و پتاسیم و منیزیم یافت می شود. در منابع آب منطقه همبستگی مثبت کلر با سدیم ($+0/713$)، بی کربنات ($+0/710$) و سولفات ($+0/739$)، هم منشاء بودن کلر با این کاتیون و آنیون ها را نشان می دهد، به طوریکه لیستونیت ها، سنگ های آهکی و شیل های آهکی همه در بالادست منابع آب غلظت با کلر بالا قرار گرفته اند. البته حضور شورابه ها در منطقه را نیز می توان منشاء کلر در نظر گرفت. با توجه به استاندارد 1053 ملی ایران که حد مجاز کلر در آب آشامیدنی را 400 ppm تعیین کرده است، غلظت Cl در $16/66\%$ از چاه های منطقه، از جمله W8 ($439/6$)، W14 ($531/8$)، W16 ($549/5$)، W17 (1035 ppm) و W25 ($400/6$ ppm) بیش از حد استاندارد می باشد که در مرکز و غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارند. کلر نیز از جمله آنیونهایی می باشد که طی کردن مسافت بیشتر در آبهای زیرزمینی باعث افزایش غلظت آن می شود. در منطقه مورد مطالعه این روند قابل مشاهده

بوده و منابع آب موجود در دشت از غلظت بالاتری از کلر برخوردار می‌باشند و کمترین مقدار کلر در قنوات و چشمه بند عمرشاه که در ارتفاعات قرار دارند مشاهده می‌شود (شکل ۶-۱۲).

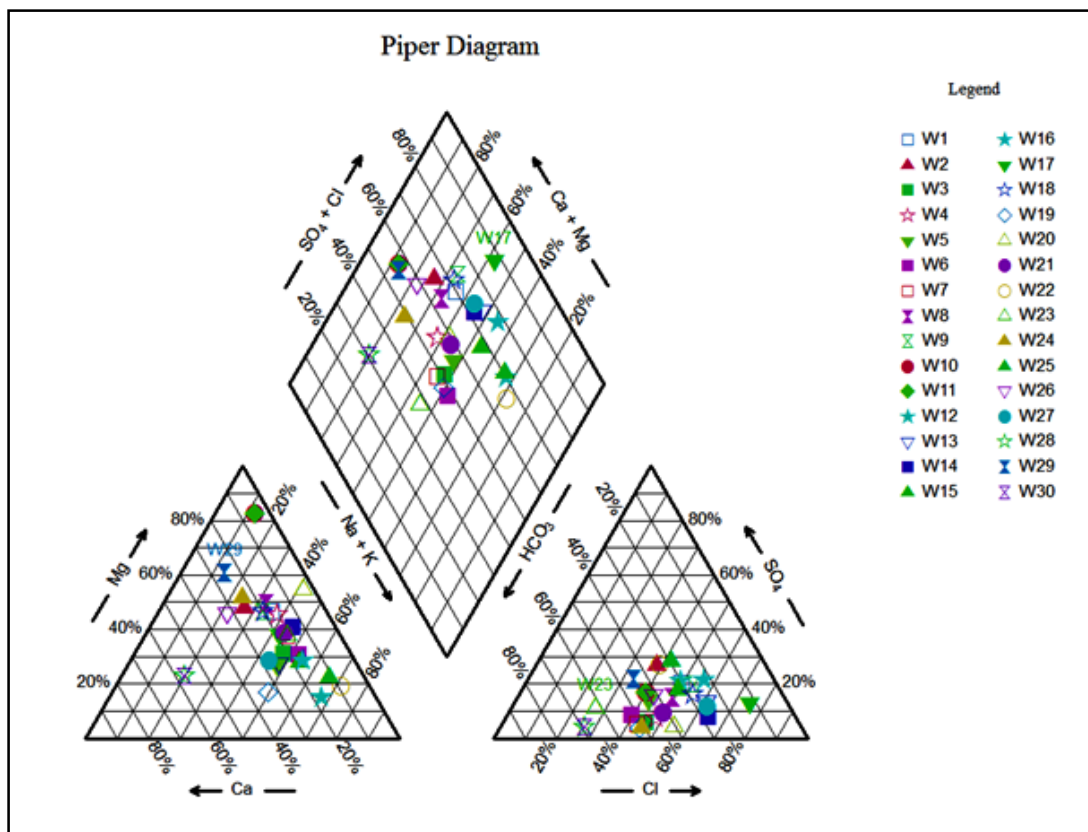


شکل ۶-۱۲- پراکنش غلظت Cl در منابع آب

۶-۵- تعیین تیپ و رخساره آب

برای مشخص کردن تیپ آب در منابع آب منطقه از غلظت‌های کاتیون‌های اصلی (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ و Na^+) و آنیون‌های اصلی (SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^-) استفاده شده است. با استفاده از داده‌های ارائه شده در جدول ۶-۲، نمودارهای پایپر (شکل ۶-۱۳) و استیف (شکل ۶-۱۴) رسم شده و تیپ و رخساره منابع آب منطقه در جدول ۶-۶ ارائه شده است. تعیین تیپ و رخساره منابع آب (جدول ۶-۶، اشکال ۶-۱۳ و ۶-۱۴) نشان می‌دهد که ۳۶/۶۶٪ از منابع منطقه دارای تیپ کلروره-سدیک و تیپ چاه‌های W1، W2، W4، W8، W9، W18، W26 از نوع کلروره-منیزیک و چاه‌های W3، W5، W6، W7، W19، W23، بی‌کربنات-سدیک و چاه‌های W10، W11، W24، W29 و بی‌کربنات-منیزیک و قنات بوشاد (W28) و چشمه بند عمرشاه (W30)، تیپ بی‌کربنات-کلسیک می‌باشد. واحدهای سنگی منطقه که بیشتر از نوع کربناته (سنگ‌های آهکی، لیستونیت‌های کربناته، شیل‌های آهکی) بوده و همچنین

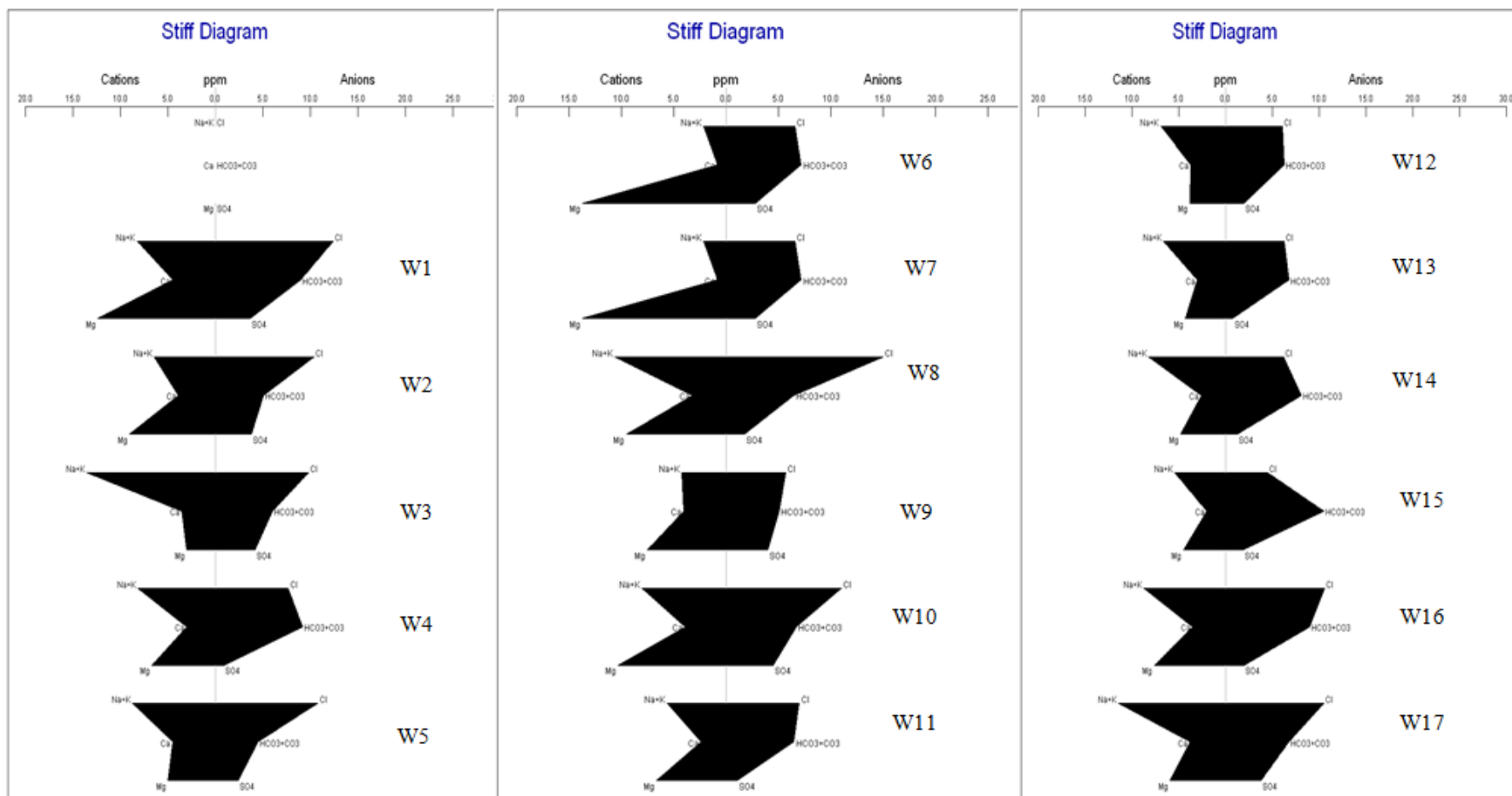
حضور سنگهای پریدوتیتی که حاوی کانی‌های کلسیم‌دار پیروکسن و آمفیبول و کانی‌های فرومنیزین می‌باشند و اسپیلیت‌ها (بازالت‌های سدیم‌دار) در ارتفاعات، باعث می‌شوند که تیپ منابع آب منطقه از تنوع برخوردار باشد. به دلیل حلالیت بالای Cl، چاه‌های با تیپ Na-Cl به صورت متمرکز به سمت دشت و در قسمت شرقی منطقه و چاه‌های با تیپ Mg-Cl و Na-HCO₃ به صورت پراکنده در دشت در فاصله دورتر از ارتفاعات قرار دارند. در منابع آب نزدیک ارتفاعات تیپ Ca-HCO₃ دیده می‌شود. با توجه به نمودار استیف منابع آب W28، W29، W30 و W29 به نسبت بقیه منابع دارای غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های کمتری بوده و از کیفیت بهتری برخوردار می‌باشند.



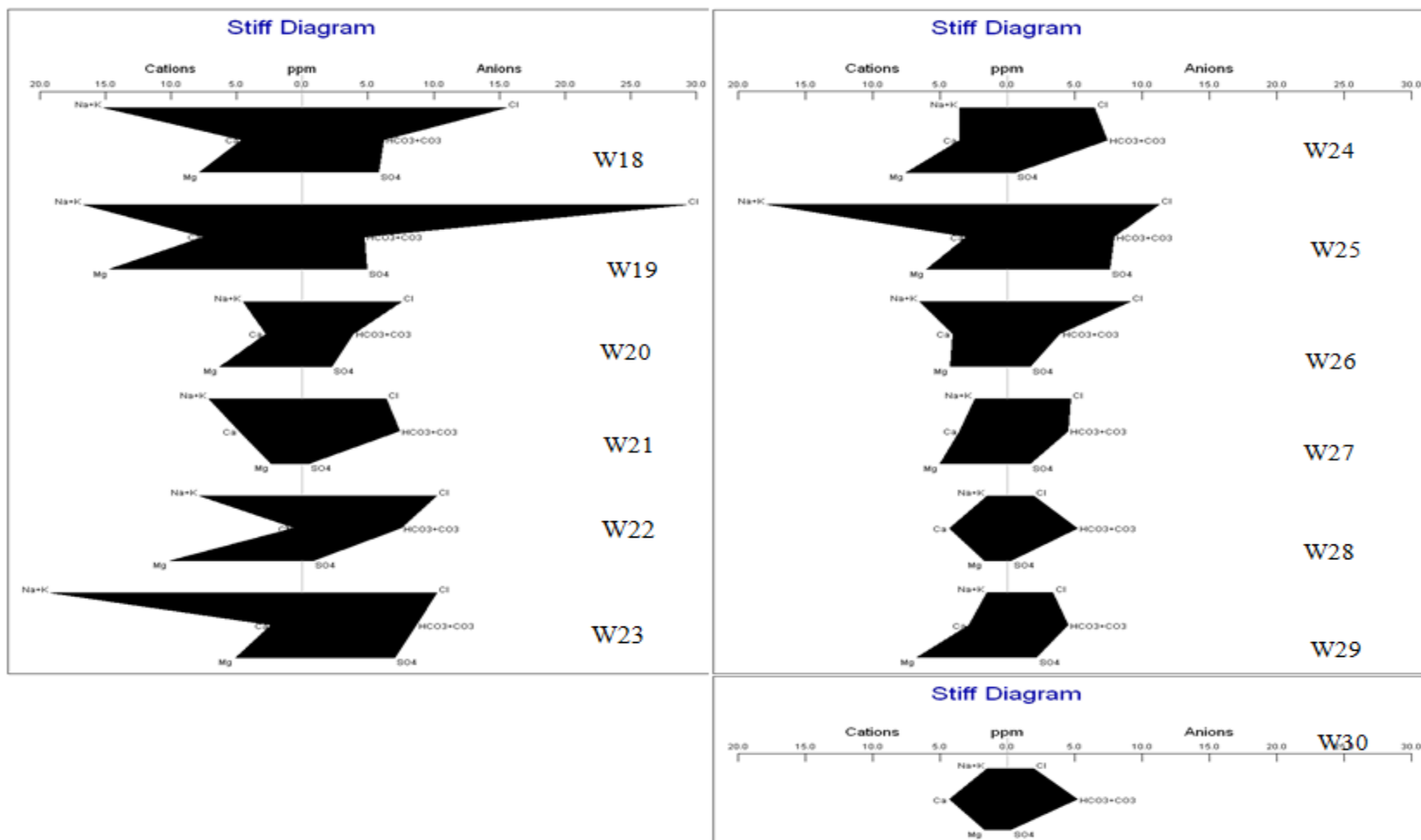
شکل ۶-۱۳- نمودار پایپر منابع آب منطقه مورد مطالعه در پایان فصل خشک (مهرماه ۱۳۸۹)

جدول ۶-۶- ویژگیهای تیپ و رخساره منابع آب منطقه مورد مطالعه-مهرماه ۱۳۸۹

تیپ و رخساره	علامت اختصاری	نام منبع	تیپ و رخساره	علامت اختصاری	نام منبع
Na-Cl	W16	بوستان مهدیه	Mg-Cl	W1	چاه ۶ رکات
Na-Cl	W17	برزگانی	Mg-Cl	W2	چاه ۵ رکات
Mg-Cl	W18	محمدیه	Na-HCO3	W3	چاه ۱۰ رکات
Na-HCO3	W19	آموزش کشاورزی ۱	Mg-Cl	W4	چاه ۸ رکات
Mg-Cl	W20	آموزش کشاورزی ۲	Na-HCO3	W5	چاه ۹ رکات
Na-Cl	W21	چپکند	Na-HCO3	W6	چاه ۱۱ رکات
Na-Cl	W22	پارک جنگلی	Na-HCO3	W7	چاه ۱۰ علی آباد
Na-HCO3	W23	بجد	Mg-Cl	W8	چاه ۶ علی آباد
Mg-HCO3	W24	حاجی آباد	Mg-Cl	W9	چاه ۷ علی آباد
Na-Cl	W25	پورشمسیان	Mg-HCO3	W10	چاه ۱۲ علی آباد
Mg-Cl	W26	شمس آباد	Mg-HCO3	W11	چاه ۱۳ علی آباد
Na-Cl	W27	شمس آبادی	Na-Cl	W12	چاه ۸ علی آباد
Ca-HCO3	W28	پوشاد	Na-Cl	W13	چاه ۱۱ علی آباد
Mg-HCO3	W29	نصرآباد	Na-Cl	W14	چاه ۱۴ علی آباد
Ca-HCO3	W30	بند عمرشاه	Na-Cl	W15	راه اداره



شکل ۶-۱۴- نمودار استیف منابع آب منطقه مورد مطالعه در پایان فصل خشک (مهرماه ۱۳۸۹)



ادامه شکل ۶-۱۴- نمودار استیف منابع آب منطقه مورد مطالعه در پایان فصل خشک (مهرماه ۱۳۸۹)

جدول ۶-۷- نتایج آنالیز ICP-MS از منابع آب جنوب دشت بیرجند- بر حسب ppm، اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

Si	Cr	B	Ba	pb	Fe	Al	Br	Zn	Cu	As	Ni	نام منبع آبی	شماره نمونه
26.3	0.08	0.5	0.04	0.0025	0.01	0.005	0.2	0.04	0.01	0.001	0.0005	۶ رکات	W1
18.7	0.08	0.6	0.04	0.0005	0.122	0.012	0.27	0.09	0.003	0.002	0.0005	۵ رکات	W2
15.5	0.08	0.5	0.03	0.0013	0.01	0.012	0.26	0.009	0.01	0.001	0.0007	۱۰ رکات	W3
16.5	0.07	0.5	0.002	0.0021	0.038	0.242	0.25	0.01	0.001	0.001	0.008	۸ رکات	W4
15.9	0.1	0.5	0.05	0.0007	0.017	0.007	0.19	0.04	0.005	0.001	0.0002	۹ رکات	W5
14.1	0.1	0.4	0.04	0.0007	0.01	0.009	0.24	0.004	0.008	0.001	0.0006	۱۱ رکات	W6
16.7	0.05	0.5	0.03	0.0097	0.033	0.021	0.26	0.21	0.1	0.001	0.0014	۱۰ علی آباد	W7
14.05	0.1	0.6	0.03	0.0004	0.01	0.007	0.28	0.004	0.002	0.001	0.0018	۶ علی آباد	W8
16.5	0.09	0.5	0.06	0.0004	0.01	0.021	0.27	0.014	0.002	0.001	0.0016	۷ علی آباد	W9
17.8	0.05	0.6	0.02	0.0015	0.01	0.009	0.22	0.014	0.03	0.002	0.001	۱۲ علی آباد	W10
16.4	0.06	0.5	0.03	0.0005	0.01	0.024	0.2	0.026	0.002	0.001	0.0018	۱۳ علی آباد	W11
15.9	0.06	0.6	0.02	0.0004	0.01	0.007	0.24	0.029	0.002	0.002	0.0007	۸ علی آباد	W12
16.5	0.06	0.5	0.03	0.0004	0.01	0.016	0.23	0.019	0.002	0.001	0.0011	۱۱ علی آباد	W13
11.1	0.05	0.5	0.04	0.0008	0.043	0.033	0.27	0.015	0.003	0.001	0.001	۱۴ علی آباد	W14
16.06	0.06	0.7	0.02	0.0004	0.871	0.036	0.32	0.738	0.006	0.002	0.0009	اداره راه	W15
15.7	0.06	0.6	0.02	0.0001	0.01	0.012	0.28	0.003	0.001	0.002	0.0017	بوستان مهدیه	W16
16.9	0.07	0.5	0.03	0.0001	0.01	0.007	0.33	0.002	0.001	0.003	0.0003	برزگانی	W17
18.6	0.07	0.6	0.04	0.0002	0.01	0.015	0.51	0.005	0.002	0.006	0.001	محمدیه	W18
20.05	0.07	0.5	0.03	0.0004	0.01	0.045	0.18	0.218	0.001	0.002	0.0012	مرکز آموزش کشاورزی ۱	W19
18.4	0.08	0.6	0.04	0.0004	0.083	0.103	0.25	0.004	0.001	0.002	0.0031	مرکز آموزش کشاورزی ۳	W20
20.2	0.1	0.4	0.04	0.0004	0.01	0.015	0.17	0.028	0.002	0.001	0.0004	چهکند	W21
17.7	0.07	0.5	0.03	0.0003	0.033	0.02	0.44	0.231	0.002	0.002	0.0004	پارک جنگلی	W22
15.9	0.02	0.7	0.02	0.0002	0.01	0.039	0.16	0.005	0.001	0.003	0.0002	بجد	W23
12.8	0.07	1.009	0.03	0.0001	0.01	0.017	0.37	0.007	0.002	0.003	0.0007	حاجی آباد	W24
12.6	0.03	0.7	0.05	0.001	0.01	0.018	0.12	0.013	0.01	0.001	0.0017	بوشاد	W28
14.6	0.04	0.6	0.05	0.0001	0.01	0.025	0.14	0.001	0.0009	0.003	0.0041	نصرآباد	W29
10.6	0.004	0.1	0.007	0.0002	0.01	0.032	0.064	0.002	0.001	0.0007	0.0002	بند عمرشاه	W30
-	0.05	0.5	0.7	0.01	0.2	0.2	-	3	2	0.01	0.08	حد استاندارد (WHO, ۲۰۰۸)	

جدول ۶-۸- نتایج آنالیز ICP-MS از منابع آب جنوب دشت بیرجند- بر حسب ppm، مهرماه ۱۳۸۹

Si	Cr	B	Ba	Pb	Fe	Al	B	Zn	Cu	As	Ni	نام منبع آبی	ضیعه شماره
27.5	0.08	0.5	0.04	0.0004	0.01	0.007	0.24	0.03	0.0032	0.0026	0.0002	۶ رکات	W1
20.2	0.09	0.974	0.04	0.0001	0.185	0.016	0.29	0.06	0.004	0.0005	0.0002	۵ رکات	W2
16.7	0.08	0.595	0.03	0.0008	0.124	0.003	0.25	0.02	0.0059	0.002	0.0002	۱۰ رکات	W3
22	0.1	0.975	0.07	0.011	0.01	0.035	0.32	0.06	0.009	0.0005	0.0002	۸ رکات	W4
16.8	0.1	0.536	0.05	0.0012	0.01	0.003	0.19	0.03	0.0081	0.002	0.0002	۹ رکات	W5
17.3	0.1	0.373	0.04	0.0017	0.01	0.024	0.24	0.01	0.0032	0.0018	0.0023	۱۱ رکات	W6
18	0.08	0.735	0.04	0.0009	0.042	0.008	0.27	0.02	0.0035	0.0017	0.0003	۱۰ علی آباد	W7
18.3	0.1	0.902	0.04	0.0001	0.01	0.001	0.35	0.03	0.004	0.0005	0.0002	۶ علی آباد	W8
14.8	0.1	0.853	0.07	0.001	0.12	0.001	0.29	0.04	0.004	0.0005	0.0002	۷ علی آباد	W9
18.9	0.05	0.988	0.03	0.0001	0.01	0.001	0.36	0.01	0.004	0.0005	0.0002	۱۲ علی آباد	W10
18	0.06	0.521	0.03	0.0011	0.01	0.007	0.24	0.02	0.0019	0.0017	0.0007	۱۳ علی آباد	W11
17.6	0.06	0.894	0.02	0.0001	0.145	0.021	0.38	0.02	0.003	0.0005	0.0002	۸ علی آباد	W12
17.3	0.07	0.512	0.03	0.0002	0.026	0.005	0.29	0.02	0.0023	0.0021	0.001	۱۱ علی آباد	W13
11.9	0.06	0.469	0.03	0.0004	0.03	0.007	0.22	0.005	0.0016	0.0012	0.0008	۱۴ علی آباد	W14
16.8	0.06	0.971	0.02	0.0001	0.01	0.001	0.37	0.008	0.003	0.0005	0.0002	اداره راه	W15
16.2	0.06	1.129	0.02	0.0001	0.01	0.001	0.34	0.007	0.004	0.0005	0.0002	بوستان مهدیه	W16
17.8	0.07	0.838	0.03	0.002	0.111	0.001	0.38	0.005	0.002	0.005	0.0002	برزگانی	W17
17.8	0.08	0.93	0.05	0.0001	0.01	0.001	0.49	0.01	0.003	0.007	0.0002	محمدیه	W18
19.5	0.07	0.517	0.03	0.0001	0.01	0.004	0.19	0.002	0.001	0.0024	0.0002	مرکز آموزش کشاورزی ۱	W19
19.3	0.07	0.498	0.03	0.0001	0.01	0.003	0.18	0.001	0.0009	0.0024	0.0002	مرکز آموزش کشاورزی ۲	W20
20.6	0.1	0.407	0.03	0.0003	0.01	0.004	0.14	0.025	0.0027	0.0022	0.0002	چهنکند	W21
17.2	0.08	0.824	0.04	0.002	0.01	0.018	0.43	0.09	0.009	0.0005	0.0002	پارک جنگلی	W22
18.2	0.03	0.678	0.02	0.0003	0.01	0.001	0.18	0.005	0.0015	0.0037	0.0002	بجد	W23
12.9	0.08	1.12	0.01	0.0001	0.01	0.013	0.37	0.01	0.003	0.0005	0.0002	حاجی آباد	W24
24.6	0.08	0.434	0.05	0.0003	0.01	0.02	0.17	0.003	0.0026	0.002	0.0004	پورشمسیان	W25
18.8	0.09	0.511	0.04	0.0001	0.01	0.003	0.2	0.001	0.0013	0.0021	0.0004	شمس آباد	W26
15.6	0.1	1.167	0.02	0.0001	0.147	0.011	0.42	0.02	0.003	0.0005	0.0002	شمس آبادی	W27
13.2	0.03	0.686	0.05	0.0003	0.01	0.022	0.13	0.002	0.001	0.0037	0.0021	بوشاراد	W28
13.4	0.04	0.614	0.05	0.0001	0.01	0.002	0.18	0.00002	0.0008	0.0015	0.0037	نصرآباد	W29
11.4	0.005	0.213	0.008	0.0001	0.01	0.002	0.06	0.003	0.0009	0.0008	0.0002	بند عمرشاه	W30
-	0.05	0.5	0.07	0.01	0.3	0.2	-	3	2	0.01	0.08	مبتنا دارد حد (WHO, 2008)	

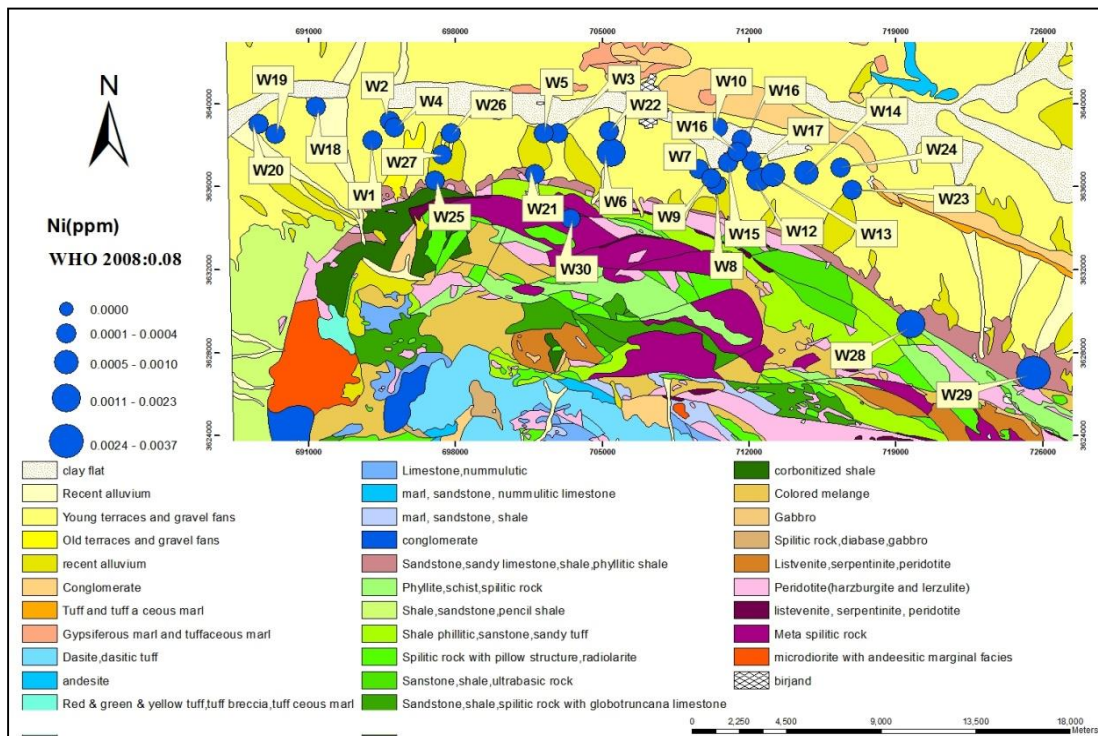
۶-۶- بررسی غلظت عناصر در منابع آب منطقه

مقادیر غلظت عناصر و فلزات سنگین در جداول ۶-۷ و ۶-۸ آورده شده است.

۶-۶-۱- نیکل

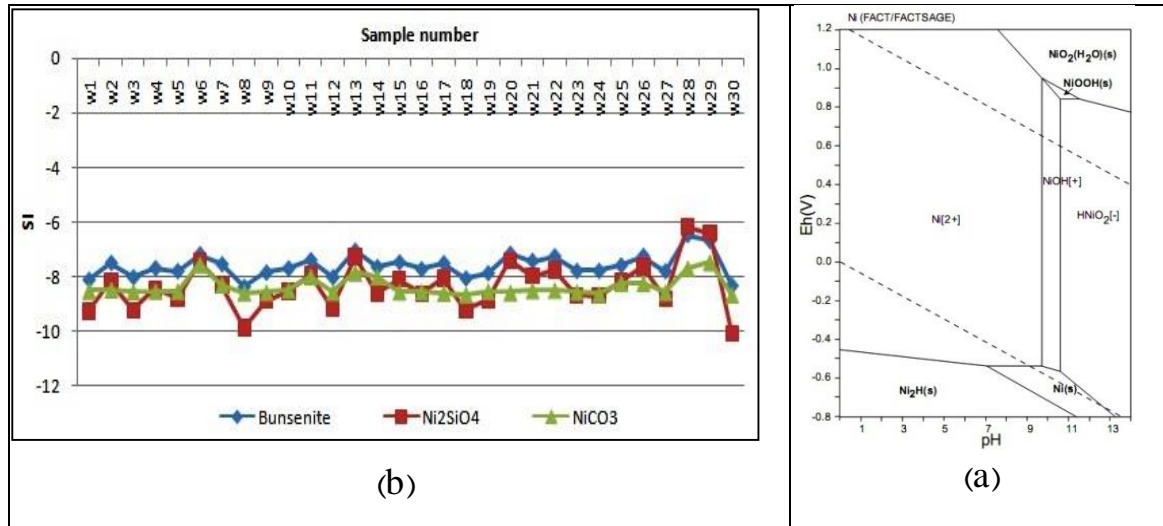
لیستونیت‌ها میزبان یا وابسته‌های مکانی مرتبط با عناصری مثل نیکل و عناصر دیگر می‌باشند (منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶). منشاء نیکل در منابع آب را می‌توان به دلیل حضور پریدوتیت‌ها و لیستونیت‌های دگرسان شده ناشی از پریدوتیت‌های سرپانتینی شده دانست. نیکل در رسوبات از تحرک پایینی برخوردار است و می‌تواند توسط هیدروکسیدهای Fe-Mn جذب و ته نشین شود (Kabata pendias and Mukherjee, 2007).

با توجه به حد استاندارد نیکل (۰/۰۸ ppm) در آب آشامیدنی که توسط WHO(2008) تعیین شده است، غلظت نیکل در منابع آب منطقه زیر حد استاندارد بوده، که با توجه به پراکنش غلظت نیکل در شکل ۶-۱۵ بیشترین غلظت نیکل در نمونه‌های W29 (۰/۰۰۳۷ppm) و W28 (۰/۰۰۲۱ ppm) و W6 (۰/۰۰۲۳ppm) و نزدیک ارتفاعات دیده می‌شود.



شکل ۶-۱۵- پراکنش غلظت Ni در منابع آب

با توجه به نمودار Eh-pH (شکل ۶-۱۶)، نیکل در شرایط آب زیرزمینی منطقه با ۸ تا ۷ pH به صورت Ni^{2+} حضور دارد. محاسبه ضریب اشباع شدگی برای کانی‌های نیکل‌دار در آب زیرزمینی منطقه، نشان می‌دهد که کانیهای حاوی نیکل در منابع آب منطقه در حد زیر اشباع بوده و نشان‌دهنده عدم رسوبگذاری آنها در آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۶-۱۶).

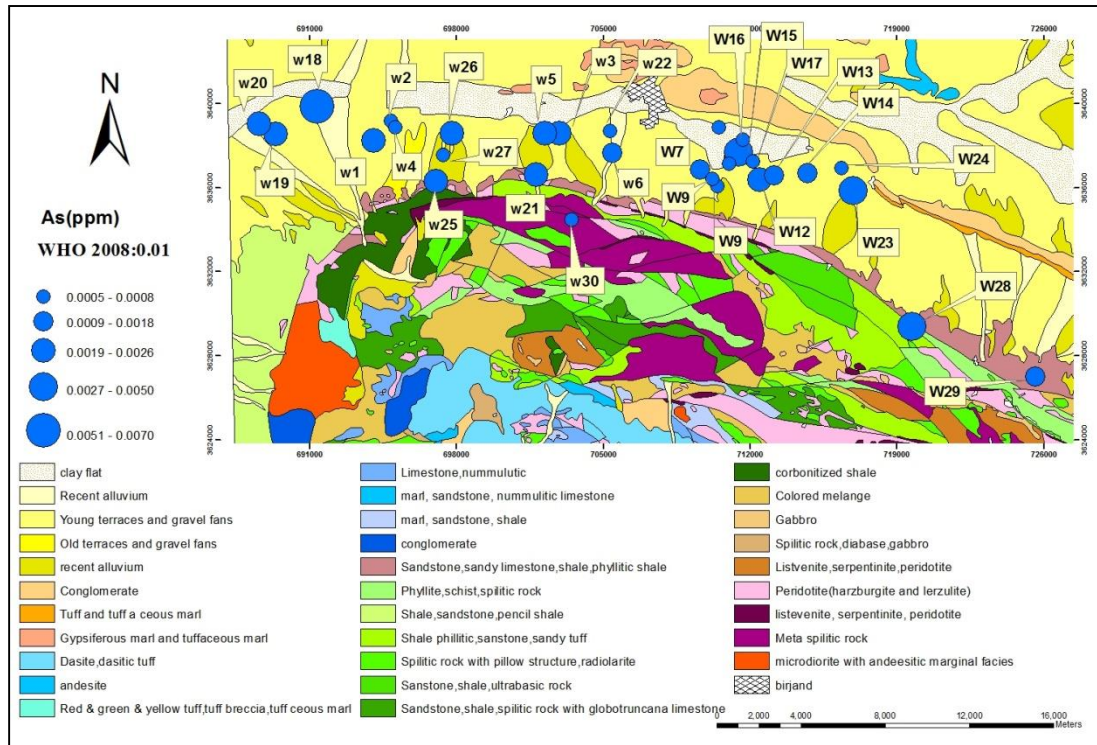


شکل ۶-۱۶ (a) نمودار Eh-pH نیکل (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی نیکل

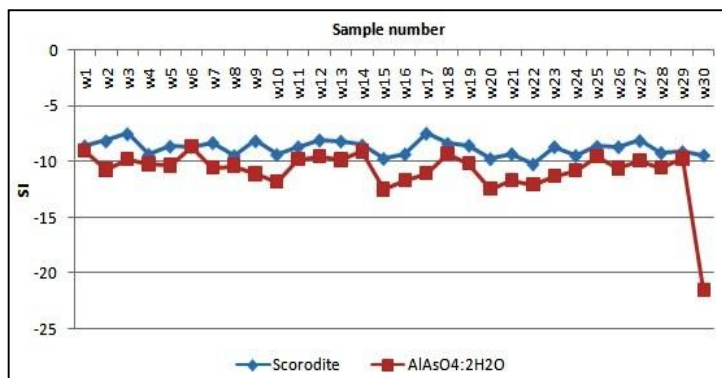
۶-۶-۲- آرسنیک

آرسنیک در مجموعه‌های افیولیتی و بیشتر به صورت سولفیدی در فاز دگرسان شده آنها یعنی لیستونیت‌ها یافت می‌شود. لیستونیت‌ها که از دگرسانی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده به وجود می‌آیند، متشکل از کانی‌های فرعی پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت می‌باشند (منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶). حضور لیستونیت‌ها و تجمع آرسنیک در رسوبات به مرور زمان که به تبع آن غنی‌شدگی شدید آرسنیک در رسوبات دیده می‌شود، می‌تواند علت حضور AS در منابع آب منطقه باشد. غلظت آرسنیک در منابع آب با توجه به استاندارد (WHO, 2008) که مقدار مجاز ۰/۰۱ ppm را تعیین کرده است، زیر حد استاندارد بوده و در قسمت شرقی و غربی منطقه غلظت AS در رسوبات بیشتر بوده که این روند با غلظت AS در نمونه‌های آبی نیز مطابقت دارد.

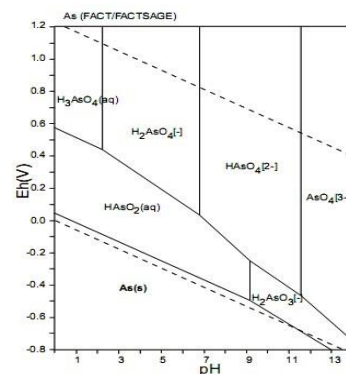
آرسنیک در آب‌های زیرزمینی می‌تواند به صورت HAsO_2 و HAsO_4^{2-} حضور داشته باشد. محاسبه ضریب اشباع‌شدگی کانیهای مهم آرسنیک‌دار در منابع آب نشان‌دهنده تحت اشباع بودن آب نسبت به آرسنات می‌باشد (شکل ۶-۱۸).



شکل ۶-۱۷ - پراکنش غلظت As در منابع آب



(b)

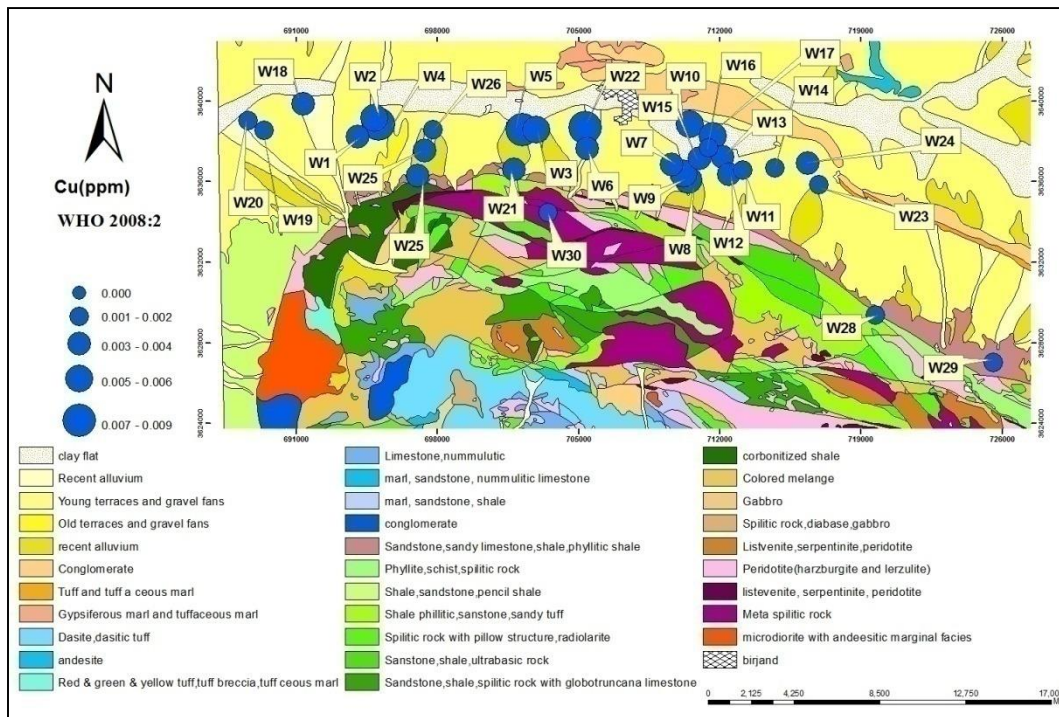


(a)

شکل ۶-۱۸ نمودار Eh-pH آرسنیک (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی آرسنیک

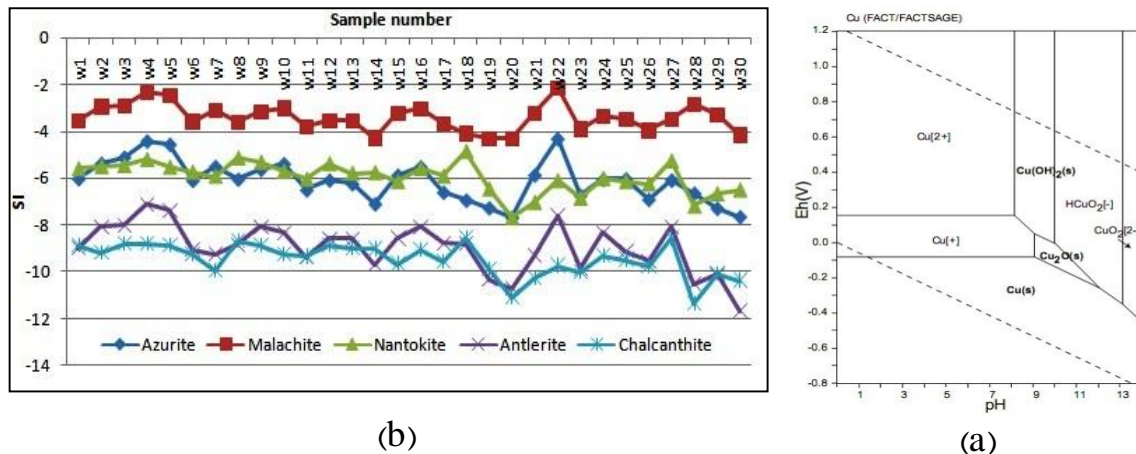
۶-۶-۳- مس

استاندارد (WHO 2008)، حد مجاز مس را در آب آشامیدنی ۲ ppm تعیین کرده است. با مقایسه غلظت مس در منابع آب منطقه با حد استاندارد، غلظت مس در تمام منابع آب زیر حد استاندارد می‌باشد. پراکنش غلظت مس (شکل ۶-۱۹) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت مس در نمونه‌های W4 و W22 (۰/۰۰۹ ppm) و W5 (۰/۰۰۸ ppm) در قسمت مرکزی و غرب منطقه وجود دارد و در بیشتر موارد منابع آب موجود در دشت از مس بالاتری نسبت به نمونه‌های واقع در ارتفاعات برخوردار می‌باشند. مس در لیستونیت‌های سیلیسی برشی سولفیددار به صورت رخنمونی از لیستونیت‌ها در لیستونیت‌های بیرجند-نهبندان دیده شده است، اما عیار مس در این سنگها پایین می‌باشد (شهابی چشمه موسی و همکاران، ۱۳۸۵).



شکل ۶-۱۹- پراکنش غلظت Cu در منابع آب

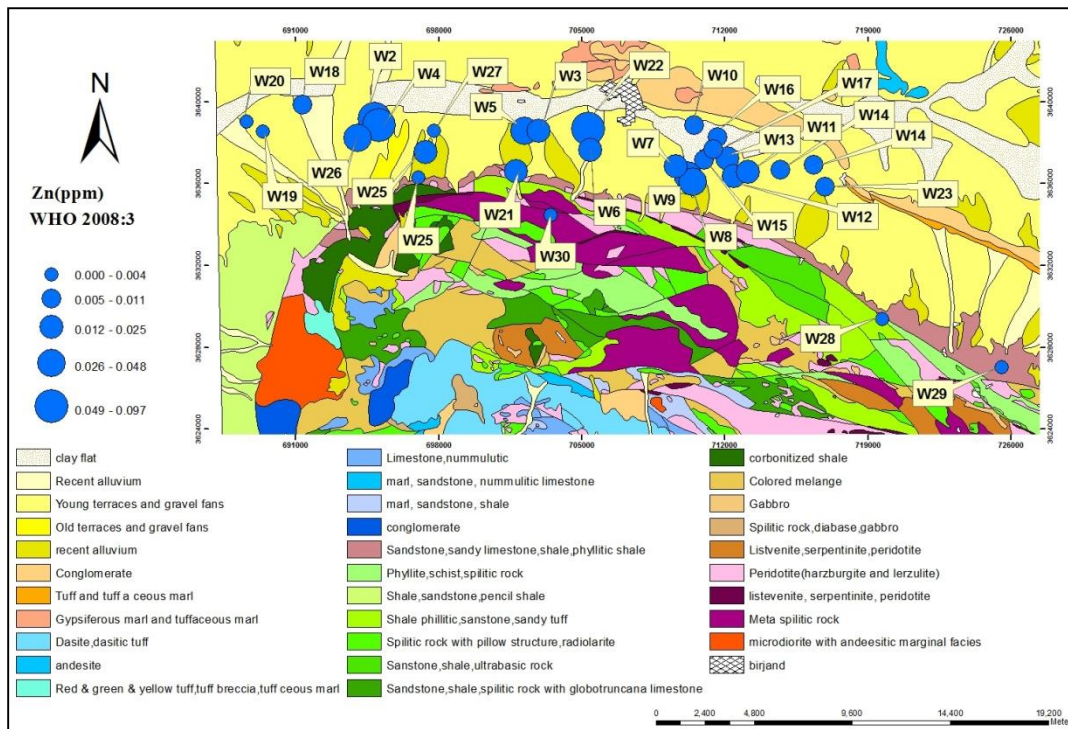
تجمع مس در رسوبات باعث به وجود آمدن غنی شدگی شدید مس شده و از سوی دیگر حلالیت کم مس در محدوده pH آبهای منطقه مورد مطالعه، غلظت زیر حد استاندارد مس را در منابع آب به وجود آورده است. در نتیجه SI کانیهای مس دار منفی بدست آمده و منابع آب نسبت به مس در شرایط تحت اشباع می‌باشند و مس به صورت Cu^{+2} و Cu^{+} در منابع آب دیده می‌شود (شکل ۶-۲۰)



شکل ۶-۲۰ (a) نمودار Eh-pH مس (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی مس

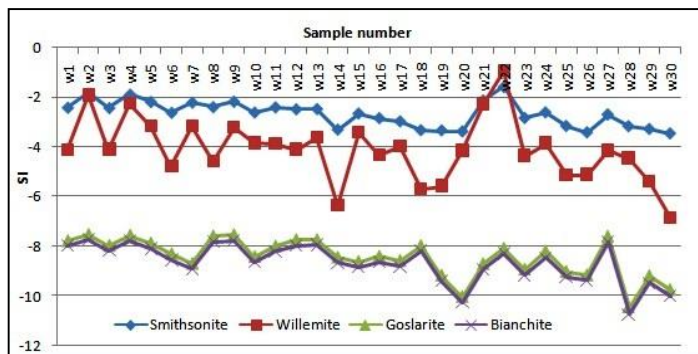
۶-۶-۴- روی

همبستگی بالای روی با مس در رسوبات منطقه و پراکنش مشابه آنها، هم منشاء بودن آنها را تأیید می‌کند، اما در منابع آب، غلظت روی با مس در بعضی چاه‌ها تفاوت داشته و روی همبستگی منفی با مس (۰/۱۳۱-) نشان می‌دهد به طوری که در چاه‌های W1، W2، W10 روی غلظت بیشتری نسبت به مس دارد که دلیل آن می‌تواند عدم تطابق حلالیت آنها در آب زیرزمینی باشد. همچنین با توجه به حد استاندارد روی (۳ ppm) که توسط WHO (2008) ارائه شده است، غلظت روی در منابع آب زیر حد استاندارد بوده و بیشترین غلظت روی علاوه بر چاه‌های W2 (۰/۰۶ ppm)، در چاه‌های W4 و W22 (۰/۰۹۷ ppm) دیده می‌شود (شکل ۶-۲۱). ضریب اشباع‌شدگی کانی‌های روی دار، حضور بیشتر کانی‌های کربنات روی (Smithsomite)، سولفات روی (Goslanite) و سیلیکات روی (Willenite) را نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۲). لذا می‌توان حضور لیستونیت‌های سیلیسی و لیستونیت‌های کربناتی در منطقه را دلیل حضور کربنات‌ها و سیلیکات‌های روی و فاز سولفیدی (اسپیلیت‌ها) را دلیلی بر حضور سولفات روی در منابع آب دانست (شکل ۶-۲۲). به طوریکه در بالادست چاه‌های W2 و W4 غلظت روی در رسوبات نیز بیشتر بوده و حضور اسپیلیت‌ها و لیستونیت‌ها عاملی برای حضور روی در منابع آب می‌باشند.

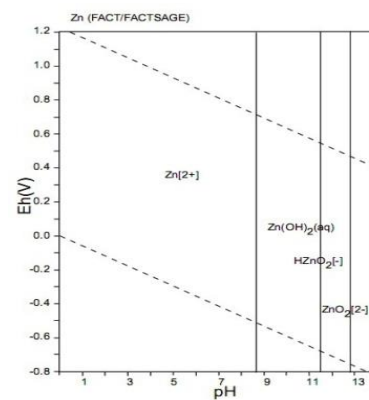


شکل ۶-۲۱- پراکنش غلظت Zn در منابع آب

البته SI منفی کانی‌های روی‌دار نشان می‌دهند که با توجه به شرایط Eh-pH آب زیرزمینی که روی به صورت Zn^{2+} یافت می‌شود، شرایط برای رسوب کانی‌های روی‌دار فراهم نمی‌باشد (شکل ۶-۲۲).



(b)

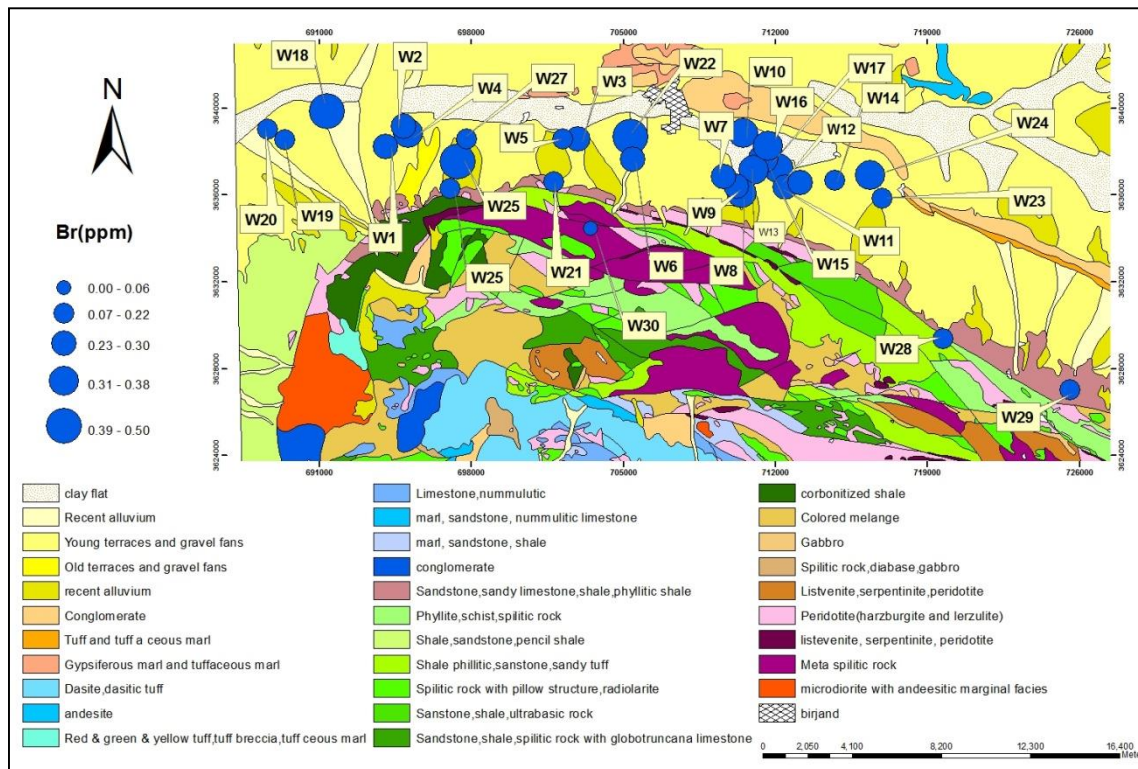


(a)

شکل ۶-۲۲ (a) نمودار Eh-pH روی (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی روی

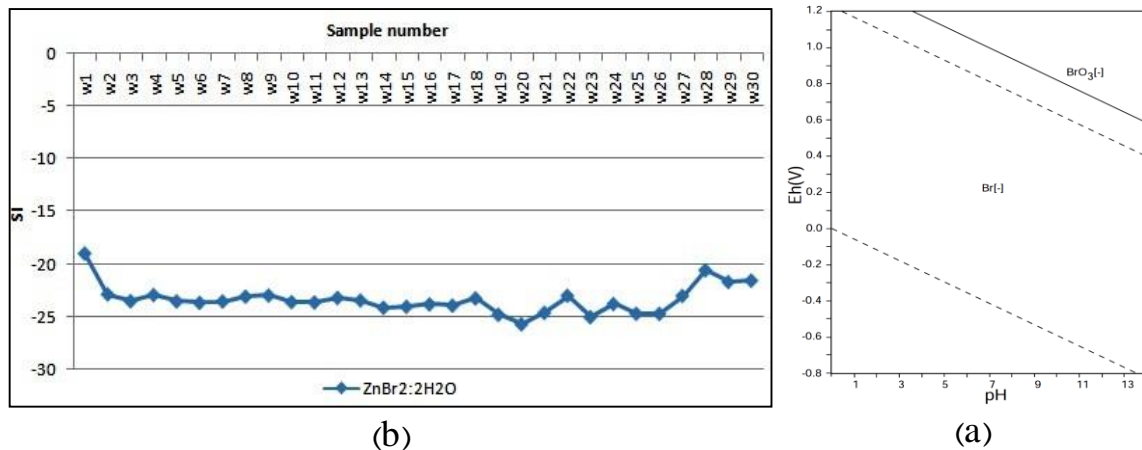
۶-۶-۵- بروم

همبستگی Br با SO_4 (+۰/۶۴۹) و Cr (+۰/۷۹۲) را می توان به حضور Br در مجموعه افیولیتی نسبت داد. در ضمن کانی های حاوی Br از فراوانی کم و انحلال پذیری بالایی برخوردارند (Kabata pendias and Mukherjee, 2007). WHO (2008) و سازمانهای دیگر حد مجازی را برای Br در آب آشامیدنی تعیین نکرده اند. بیشترین مقدار Br در چاه های W18 (۰/۴۹۱ ppm) و W22 (۰/۴۳۱ ppm) و W26 (۰/۴۰۲ ppm) بدست آمده است (شکل ۶-۲۳).



شکل ۶-۲۳- پراکنش غلظت Br در منابع آب

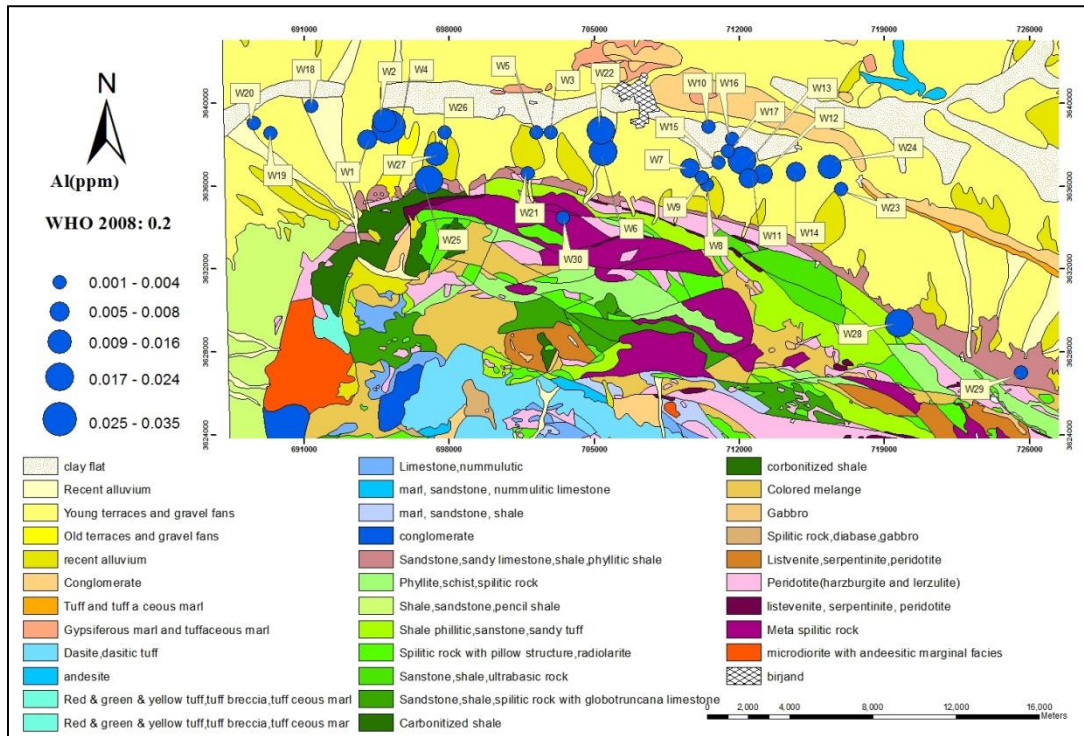
Br در منابع آب زیرزمینی به صورت Br^- یافت می شود و منابع آبی نسبت به کانی های بروم تحت اشباع می باشند (شکل ۶-۲۴).



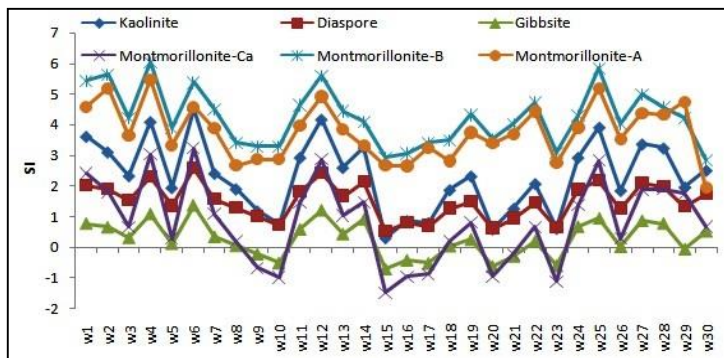
شکل ۶-۲۴ (a) نمودار Eh-pH بروم (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع شدگی کانیهای حاوی بروم

۶-۶-۶- آلومینیم

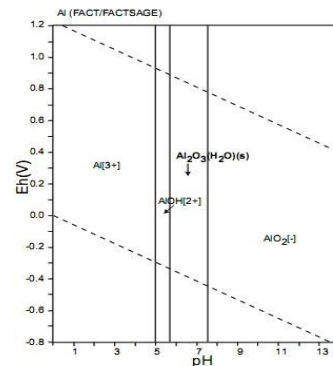
غلظت Al در تمام منابع آب با توجه به (WHO (2008)، که مقدار ۰/۲ ppm را تعیین کرده است، زیر حد استاندارد می‌باشد. بیشترین غلظت Al در چاه‌های W4 (۰/۰۳۵ ppm) و W2، W26، W6 و W12 (۰/۰۲ ppm) بدست آمده است که در غرب و مرکز منطقه (شکل ۶-۲۵) قرار دارند. غنی‌شدگی اندک Al در رسوبات با کم بودن غلظت آن در منابع آب مطابقت دارد. از آنجا که انتقال Al از رسوبات به آب زیرزمینی متضمن شرایطی با pH اسیدی می‌باشد که با pH رسوبات منطقه مغایر بوده، در نتیجه Al انتقال یافته از سنگ‌ها در رسوبات باقی‌مانده و به این دلیل منابع آب از غلظت پایینی از آلومینیم برخوردار می‌باشد. منابع آب نسبت به کانی‌های آلومینیم‌دار شامل کانی‌های رسی، مونت-موریلونیت و کائولینیت و کانی‌های دیاسپور و گیبسیت فوق اشباع می‌باشند (شکل ۶-۲۶). اکسیدها و هیدروکسیدهای Al از جمله گیبسیت Al(OH)₃ در محلول‌های با pH کمتر از ۹، بار سطحی مثبت داشته و یونهای با بار منفی را جذب می‌نماید.



شکل ۶-۲۵- پراکنش غلظت Al در منابع آب



(b)



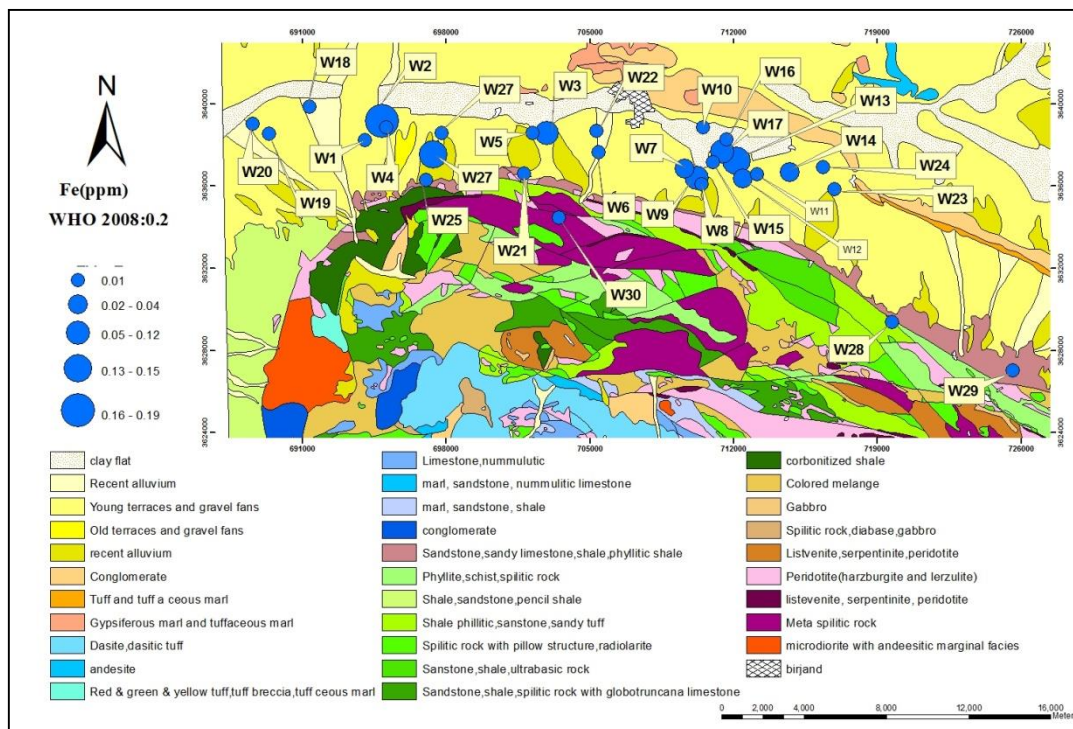
(a)

شکل ۶-۲۶ (a) نمودار Eh-pH آلومینیم (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی آلومینیم

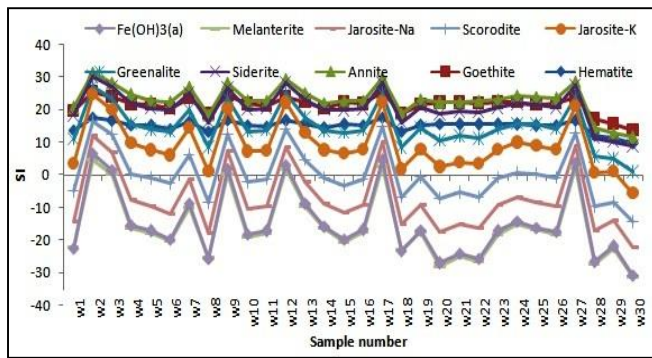
۶-۶-۷- آهن

آهن در منابع آب با توجه به حد استاندارد (WHO (۲۰۰۸)، 0.3 ppm)، زیر حد استاندارد بوده و بیشترین غلظت آهن در چاه‌های W2 (0.19 ppm) و W12 (0.145 ppm) و W27 (0.147 ppm) دیده می‌شود. Fe نیز مانند Al برای انتقال از رسوب به آب زیرزمینی نیاز به pH اسیدی دارد که به دلیل مغایرت با pH رسوبات (قلیایی)، بیشتر آهن در رسوبات باقی می‌ماند. آهن در ترکیب سنگهای

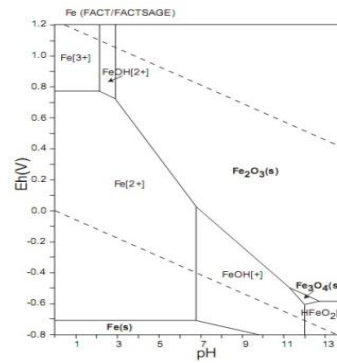
اولترامافیک در ساختار کانیهای پیروکسن و آمفیبولها یا به صورت سولفیدی در غالب کانیهای پیریت و کالکوپیریت یافت می شود. اکسیدهای آهن و ژاروسیت(سولفات مضاعف آهن و پتاسیم)(کریم پور و سعادت، ۱۳۸۵) و هیدروکسیدهای ثانویه آهن در رسوبات آرژیلیتی و ماسیوسولفیدها و لیستونیت های(منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶) منطقه می توانند منشاء آهن در آب زیرزمینی باشند. در غرب منطقه حضور اسپیلیت ها به عنوان فاز سولفیدی منطقه باعث افزایش غلظت Fe در چاه W27 شده است(شکل ۶-۲۷). لذا در رسوبات بالادست منابع آب که در مجاورت اسپیلیت ها و رسوبات آرژیلیتی در قسمت شرقی منطقه قرار دارند، غلظت آهن بیشتر از بقیه نقاط دیده می شود. نمودارهای Eh-pH آهن نشان می دهد که در شرایط رایج آبهای زیرزمینی آهن به صورت Fe(II) در آب محلول بوده و یا به صورت Fe(III) رسوب کرده و از آب خارج می شود (شکل ۶-۲۸). کانیهای آهن دار با SI مثبت بیشتر شامل اکسیدها و هیدروکسیدها و سیلیکاتهای آهن می باشد که در آب در حالت فوق اشباع می باشند.



شکل ۶-۲۷- پراکنش غلظت Fe در منابع آب



(b)

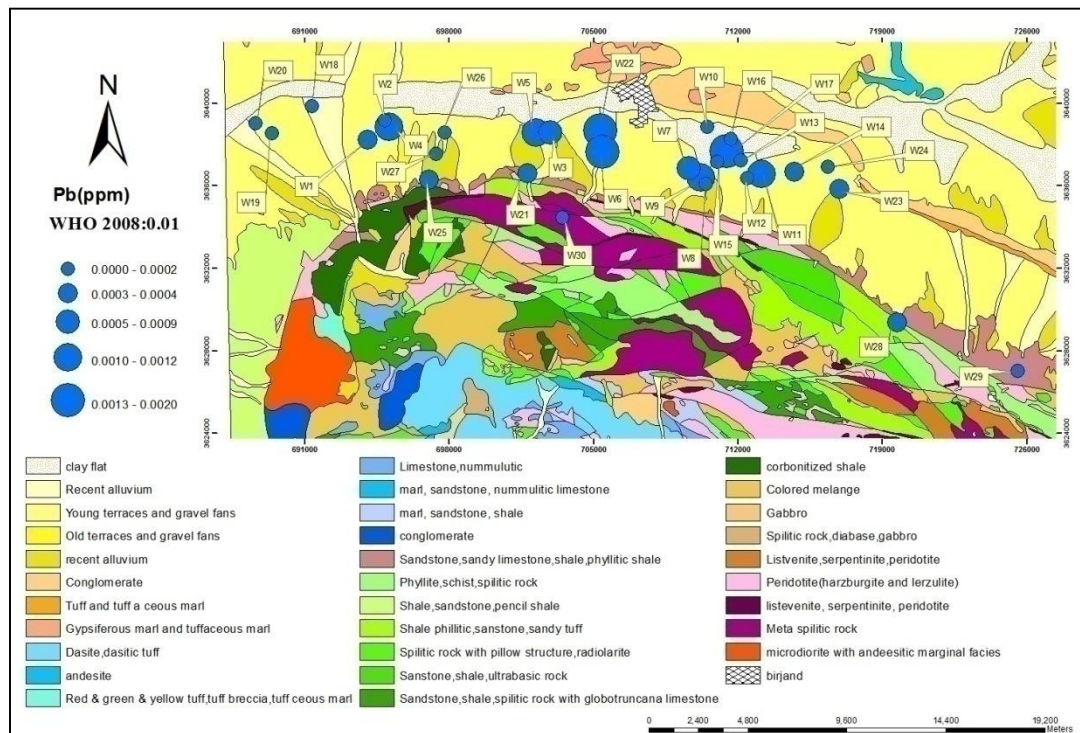


(a)

شکل ۶-۲۸ (a) نمودار Eh-pH آهن (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی آهن

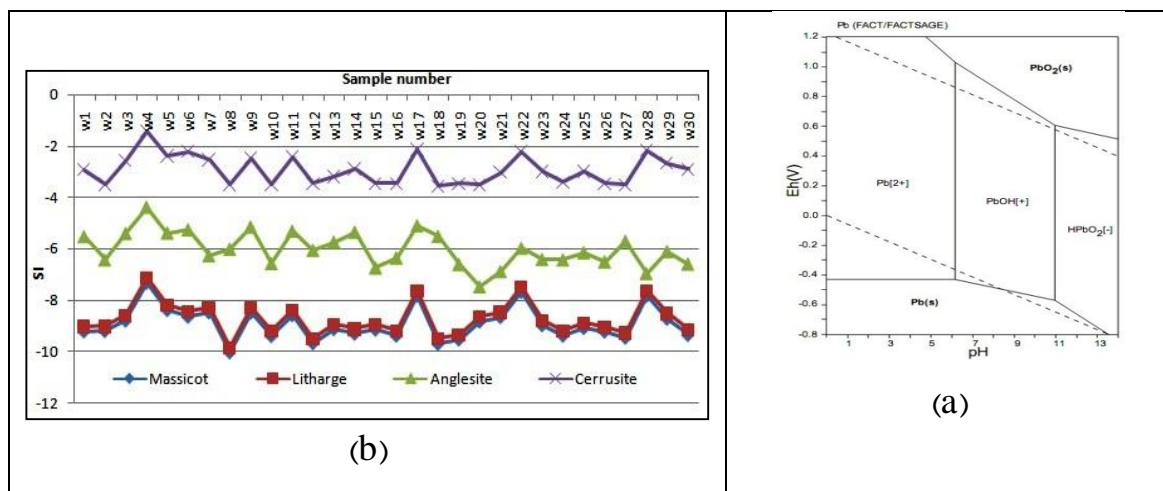
۶-۶-۸- سرب

بر طبق استاندارد WHO(2008) ، که حد مجاز (۰/۰۱ ppm) را برای Pb در آب آشامیدنی تعیین کرده است، غلظت سرب در منابع آب زیر حد استاندارد می‌باشد. بیشترین غلظت Pb در چاه W17 (۰/۰۰۲ ppm) دیده می‌شود که در غرب منطقه قرار دارد. پراکنش غلظت سرب در منابع آب (شکل ۶-۲۹) نشان‌دهنده افزایش غلظت سرب از ارتفاعات به سمت دشت می‌باشد.



شکل ۶-۲۹- پراکنش غلظت Pb در منابع آب

با مقایسه توزیع غلظت سرب در رسوبات با توزیع غلظت سرب در منابع آب معلوم می‌شود که در پایین دست رسوبات با غلظت بالاتر سرب، آبهای زیرزمینی نیز از غلظت بالای سرب برخوردار هستند. با همبستگی مثبت و بالای Pb با Mg (+۰/۷۱۳) و B (+۰/۹۴۳) در منابع آب منطقه و با حضور عناصر Mg و Pb و B در لیستونیت‌ها (زرین کوب، ۱۳۸۶ و منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶) منشاء سرب در منابع آب مشخص می‌شود. حضور اسپیلیت‌ها به عنوان فاز سولفیدی و لیستونیت‌های کربناتی را می‌توان با توجه به اینکه کانی مستقل سرب‌دار در منطقه وجود ندارد به عنوان منشاء سرب در منابع آب در نظر گرفت. با استفاده از نمودار Eh-pH برای سرب (شکل ۶-۳۰) می‌توان گفت که در شرایط رایج آبهای زیرزمینی، سرب به صورت $PbOH^+$ حضور دارد و متحرک می‌باشد. محاسبه مقادیر SI کانیهای سرب‌دار شرایط زیر اشباع را برای این کانیها در منابع آب نشان می‌دهد (شکل ۶-۳۰).

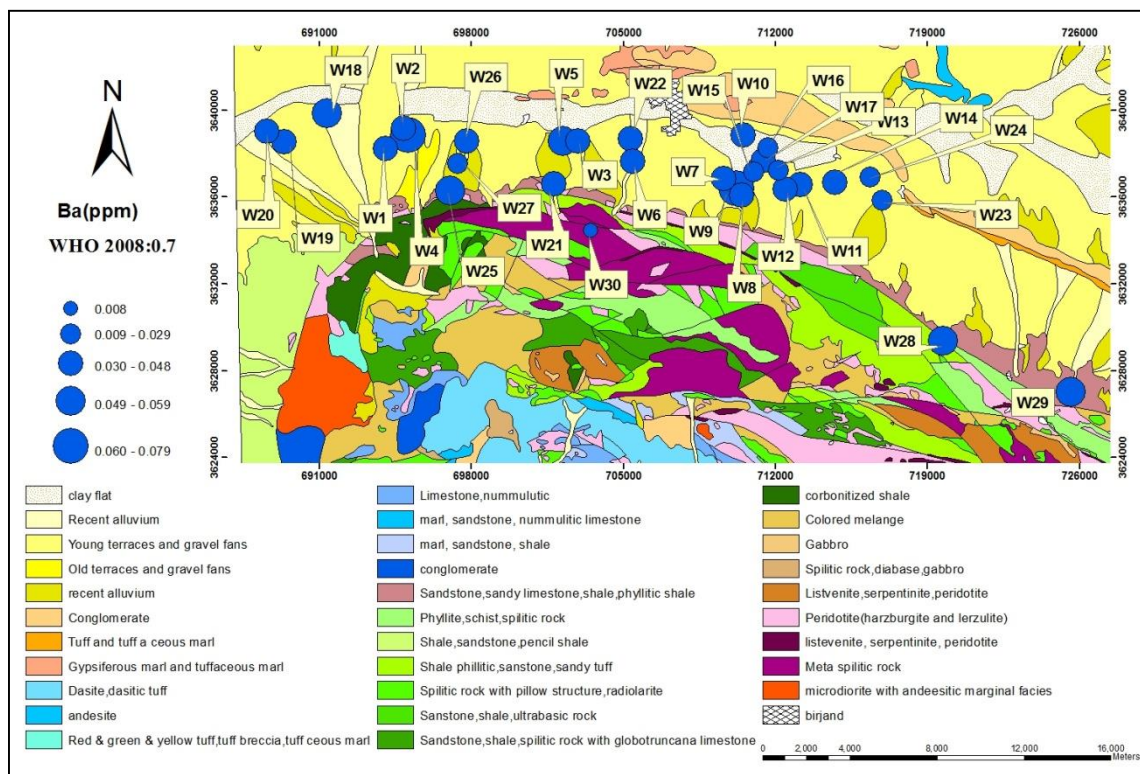


شکل ۶-۳۰ (a) نمودار Eh-pH سرب (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی سرب

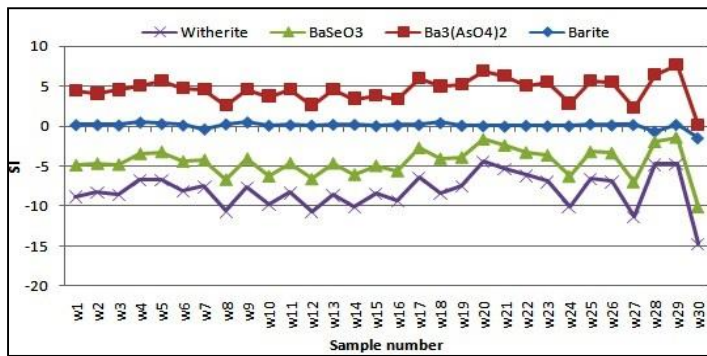
۶-۹-۶-۶-باریم

با توجه به حد مجاز باریم ppm (۰/۷) در منابع آب آشامیدنی که توسط WHO (2008) تعیین شده است، غلظت باریم در تمام منابع آب زیر حد استاندارد می‌باشد و بیشترین مقدار آن در چاه‌های W9 (۰/۰۷۹۴ ppm) و W4 (۰/۰۷۸۴ ppm) در قسمت شرقی و غربی منطقه بدست آمده است (شکل ۶-۳۱). غلظت باریم در رسوبات شرق منطقه نیز با توجه به حضور لیستونیت‌های کربناتی و اسپیلیت‌ها بیشتر می‌باشد. همبستگی منفی Ba با Cr (-۰/۱۰۴) و Ni (-۰/۰۱۷) به دلیل حضور Cr و Ni در

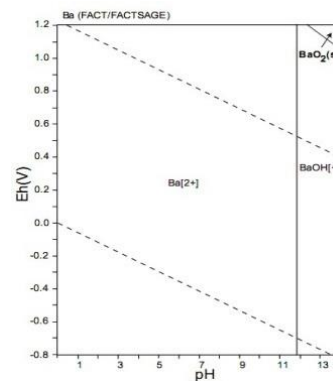
پریدوتیت‌ها، منشاء کربناته آن و حضور آن را در لیستونیت‌های کربناته تأیید می‌کند. شرایط pH آب زیرزمینی منطقه و مقایسه آن با نمودار Eh-pH، حاکی از حضور باریم به صورت Ba^{+2} در محلول می‌باشد (شکل ۶-۳۲). از بین کانی‌های باریم‌دار، باریت با SI مثبت در تمام منابع آب به جزء W7، W21 و W30 و آرسنات باریم نیز در تمام منابع آب منطقه در حالت فوق اشباع می‌باشد (شکل ۶-۳۲). همبستگی مثبت Ba با As در رسوبات منطقه نشان از هم منشاء بودن آنها دارد، که تشکیل آرسناتباریم در منابع آب این موضوع را تأیید می‌کند. حضور کانی ویتريت ($BaCO_3$) نیز می‌تواند نشان‌دهنده حضور Ba در لیستونیت‌های کربناته می‌باشد.



شکل ۶-۳۱- پراکنش غلظت Ba در منابع آب



(b)



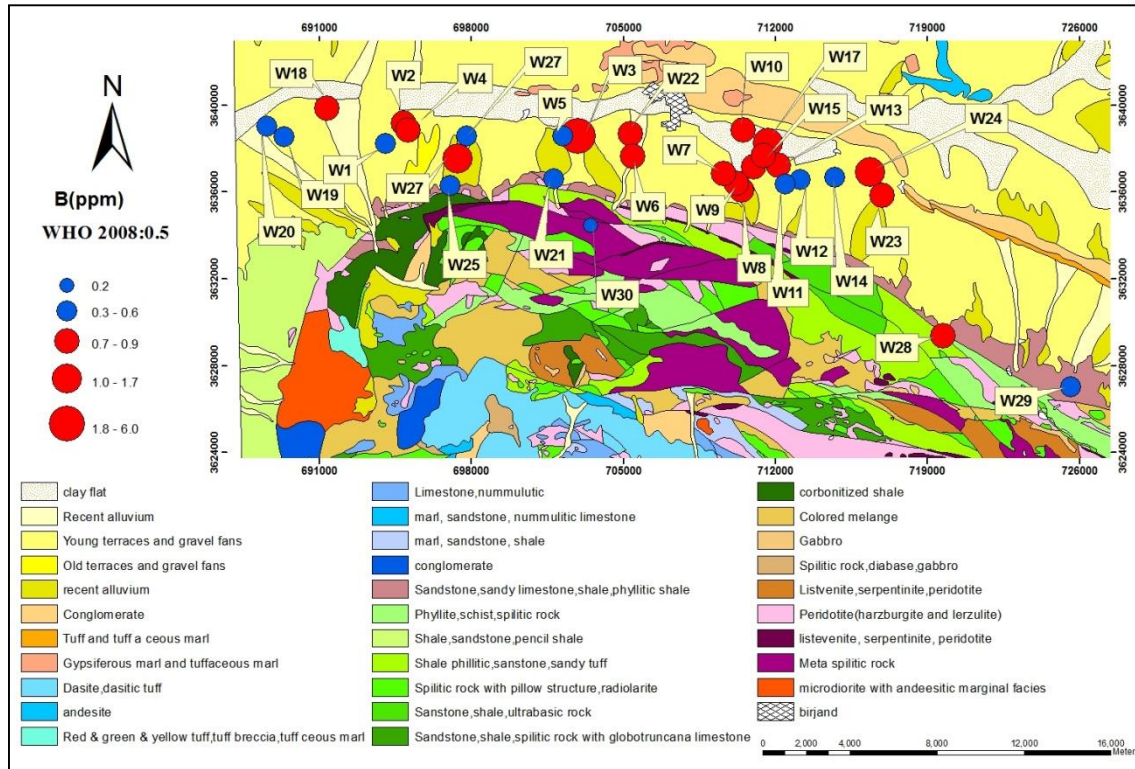
(a)

شکل ۶-۳۲ (a) نمودار Eh-pH باریم (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی باریم

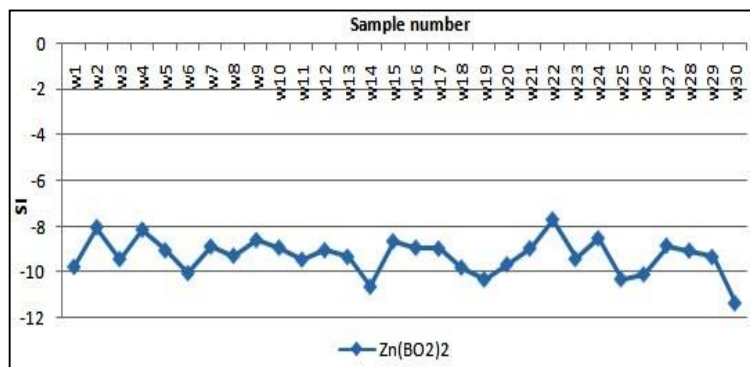
۶-۶-۱۰- بور

بور معمولاً از طریق جذب سطحی در خاک باقی می‌ماند به طوری که ماکزیمم جذب سطحی آن در ۹- pH=۷/۵ انجام می‌شود. pH و همچنین وجود کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای Al و Fe کنترل‌کننده‌های رفتار B در خاکها می‌باشند (Kabata pendias and Mukherjee, 2007). با پیشرفت دگرگونی ناحیه‌ای سنگ‌های اولترامافیکی سرپانتینی شده، محلول‌های غنی از B و عناصر دیگر با عناصر فلزی کمپلکس تشکیل داده و در اثر صعود به بخش‌های فوقانی و نزدیک سطح در زون‌های برشی و همراه با نهشتگی سیلیس و هنگامی که وارد محیط احیایی سنگهای کربناتی شده، انباشته می‌شوند و از آنجا که لیستونیت‌زایی نتیجه دگرسانی هیدروترمال توسط شورابه‌های مشتق شده از جبهه و تقابل با آب دریاست (منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶) و B نیز در آب دریا حضور دارد، لذا B می‌تواند در مجموعه لیستونیت‌های منطقه حضور داشته باشد. تحرک بالای B باعث شده است که غلظت B در رسوبات منطقه کمترین مقدار ممکن باشد. مقدار حد مجاز B توسط استاندارد WHO(2008) برای آب آشامیدنی مقدار ۰/۵ ppm تعیین شده است، که بر این اساس غلظت B در ۸۰٪ از منابع آب بیش از حد استاندارد می‌باشد و بیشترین مقادیر B در چاه‌های W16 (۱/۱۲۹ ppm) و W24 (۱/۱۲ ppm) در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل ۶-۳۳). با توجه به نمودار Eh-pH، بور در منطقه به صورت (H_3BO_3) در محلول وجود دارد (شکل ۶-۳۴). با محاسبه SI کانی

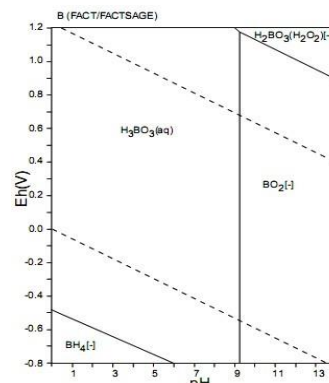
بوردار در منابع آب، تحت اشباع بودن کانی بور، مانند $Zn(BO)_2$ و عدم احتمال رسوب گذاری بورات روی را نشان می دهد (شکل ۶-۳۴).



شکل ۶-۳۳ - پراکنش غلظت B در منابع آب



(b)

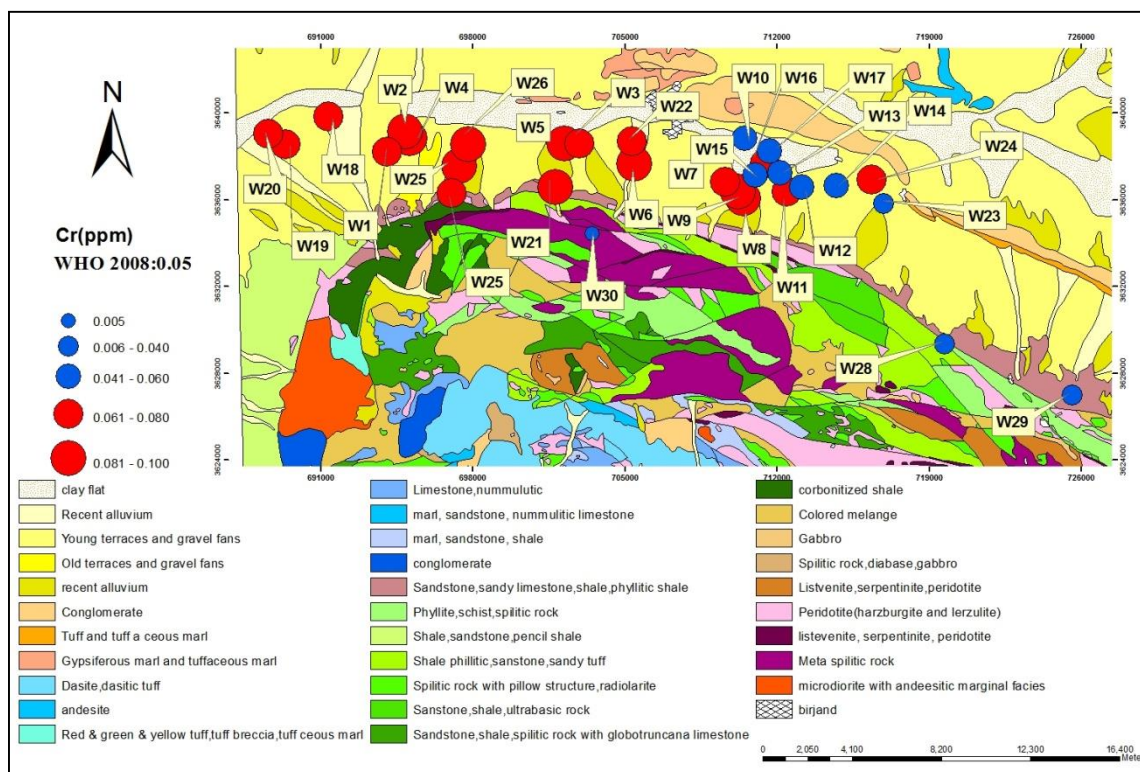


(a)

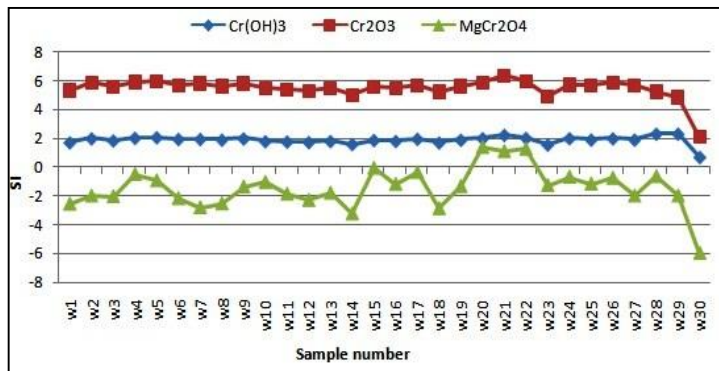
شکل ۶-۳۴ (a) نمودار Eh-pH بور (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع شدگی کانیهای حاوی بور

۶-۶-۱۱- کروم

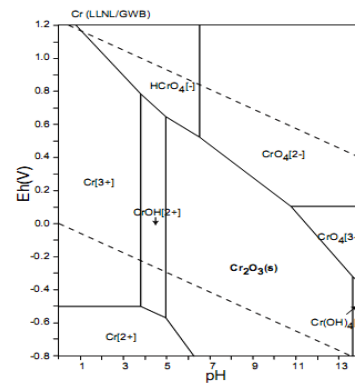
حضور کانی‌های کروم اسپینل در پریدوتیت‌ها و لیستونیت‌های منطقه مورد مطالعه می‌تواند دلیل اصلی غنی‌شدگی شدید کروم در رسوبات و بعد از آن افزایش غلظت Cr در منابع آب منطقه باشد. به طوریکه لیستونیت‌های سیلیسی-کربناته از عناصر Cr و دیگر عناصر غنی می‌باشند (منظمی باقرزاده، ۱۳۸۶). پراکنش غلظت Cr در منابع آب (شکل ۶-۳۵) با پراکنش غلظت Cr در رسوبات مطابقت دارد. طبق استاندارد WHO (2008) که حد مجاز Cr در آب آشامیدنی را 0.05 ppm تعیین کرده است، غلظت Cr در $7/86\%$ از منابع آب بیش از حد استاندارد بوده و بیشترین مقادیر Cr در چاه‌های W21 (0.132 ppm) و W8 (0.127 ppm) و W5 (0.121 ppm) و کمترین مقادیر Cr در قنوات (W28 و W29) و چشمه (W30) بدست آمده است. SI مثبت کرومات منیزیم (MgCr_2O_4) در چاه‌های W20، W22 و W21 حاکی از غلظت بالای Cr و Mg در این چاه‌ها می‌باشد. مطابقت نمودار Eh-pH کروم با شرایط منابع آب منطقه و SI مثبت ترکیبات Cr_2O_3 و $\text{Cr}(\text{OH})_3$ در منابع آب حاکی از فوق اشباع بودن منابع آب به کروم سه می‌باشد (شکل ۶-۳۵).



شکل ۶-۳۵- پراکنش غلظت Cr در منابع آب



(b)



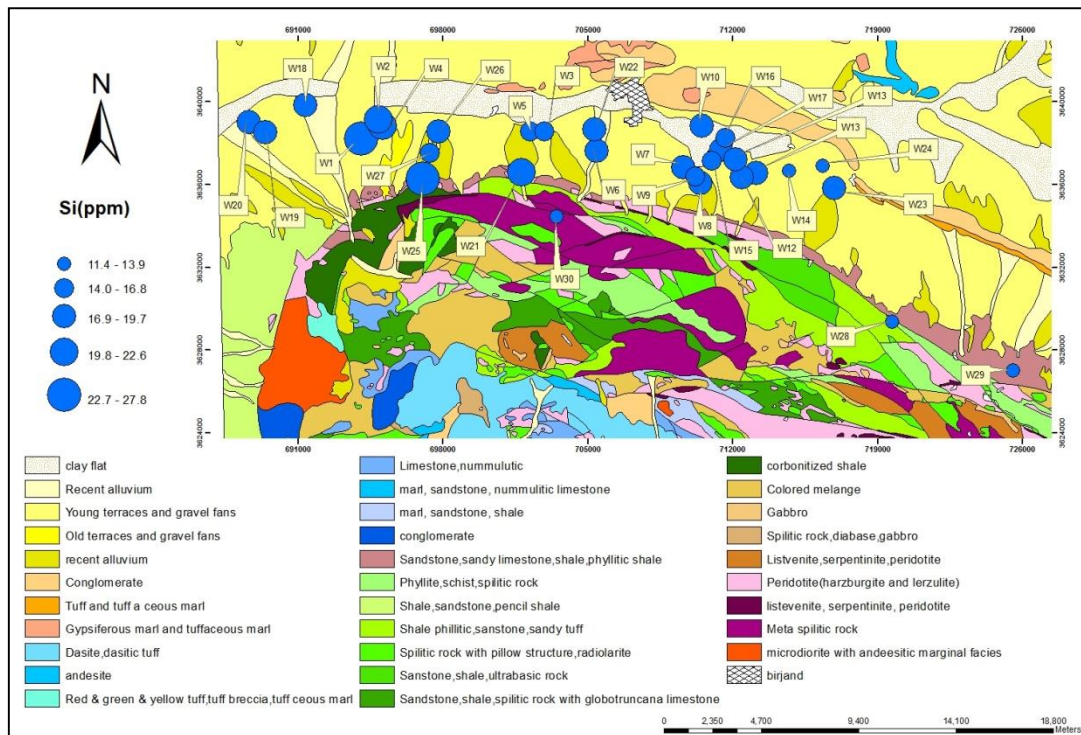
(a)

شکل ۶-۳۶ (a) نمودار Eh-pH کروم (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی کروم

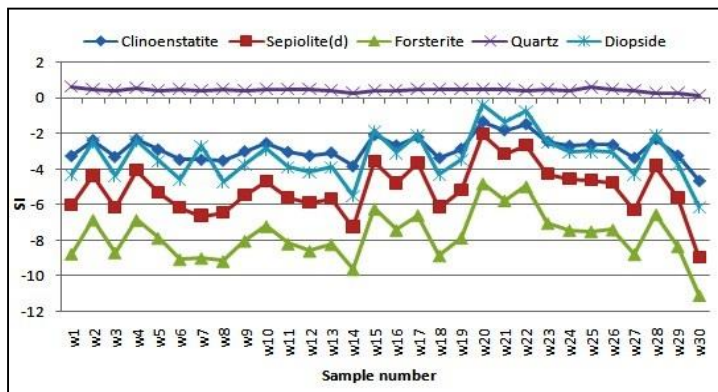
۶-۶-۱۲- سیلیسیم

حد استاندارد برای Si در آب آشامیدنی وجود ندارد، اما بیشترین مقادیر Si در قسمت غربی منطقه در چاه‌های W1 (۲۷/۵۶ ppm) و W25 (۲۴/۴۴ ppm) و W4 (۲۲/۱۰ ppm) بدست آمده است. پراکنش غلظت Si روند افزایشی را از ارتفاعات به سمت دشت نشان می‌دهد (شکل ۶-۳۶).

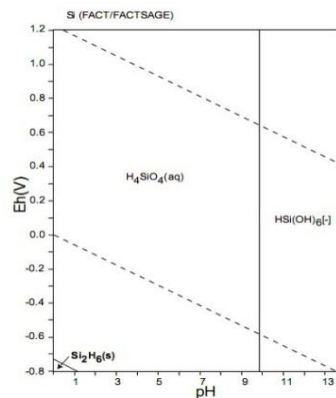
از هوازدگی سنگ‌های اولترامافیک و همچنین کانی‌های رسی (آلومینوسیلیکاتها) و لیستونیت‌های سیلیسی در منطقه، سیلیسیم می‌تواند وارد منابع آب شود. به طوریکه هوازدگی آلومینوسیلیکاتها می‌تواند مهمترین منبع Si باشد. از بین کانی‌های سیلیسیم‌دار، تنها کانی کوارتز در منابع آب اشباع‌شدگی مثبت نشان می‌دهد (شکل ۶-۳۸). نمودار Eh-pH سیلیسیم و مقایسه آن با شرایط منابع آب منطقه نشان‌دهنده حضور سیلیسیم به صورت $H_4SiO_4(aq)$ در محلول می‌باشد (شکل ۶-۳۶ (a)).



شکل ۶-۳۷- پراکنش غلظت Si در منابع آب



(b)



(a)

شکل ۶-۳۸- نمودار Eh-pH سیلیسیم (Takeno, 2005) و (b) شاخص اشباع‌شدگی کانیهای حاوی سیلیسیم

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

با توجه به کثرت نقاط نمونه برداری از منابع آب در محدوده مورد مطالعه و همچنین زیاد بودن عناصر اندازه گیری شده (کاتیونها و آنیونها و فلزات سنگین)، لذا جهت مقایسه غلظت عناصر در دو فصل خشک و تر در جدول ۶-۹، هر عنصر را در منابع آب مختلف در نظر گرفته و نام فصلی که غلظت بیشتر عناصر را نشان می دهد، در جدول در مقابل آن عنصر آورده شده و در صورتی که غلظت عنصر در آن فصل از حد مجاز بیشتر بوده، نام فصل بولد شده است.

در این بخش کاتیونها، آنیونها، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و فلزات سنگین برای منابع آب در منطقه در دو فصل تر و خشک با یکدیگر مقایسه می شوند. به طور کلی در همه چاهها به استثنای چاه ۱۳ علی آباد (W11)، ۱۱ علی آباد (W13) و ۱۴ علی آباد (W14) غلظت عناصر و پارامترهای کیفی آب معمولا در فصل خشک بیشتر از فصل تر بدست آمده اند. از میان عناصر و پارامترهای اندازه گیری شده، غلظت عناصر As, Cu, Br, Fe, Ba, Si, Ca, Cl, TH, TSS, TDS و EC در فصل خشک بیشتر از فصل تر می باشند و عناصر Ni, Zn, Al, Pb, Mg, K, HCO₃ و SO₄ در فصل تر غلظت بیشتری را نسبت به فصل خشک نشان می دهند. برخی از عناصر در اثر بارندگی در فصل تر و ایجاد محیطی محلول در رسوبات و با توجه به تحرک بالا و انحلال پذیری بعضی از عناصر مانند K, HCO₃, SO₄ و Al، به سرعت از رسوبات شسته شده و وارد آب زیرزمینی می شوند و لذا در فصل تر غلظت آنها بیشتر می شود. کروم و بور که تقریبا در درصد بیشتری از منابع آب بیش از حد استاندارد بودند، به ترتیب در ۱۰۰٪ و ۵۳٪ از چاهها، غلظت آنها در فصل خشک بیش از فصل تر بوده است. همان طور که در جدول ۶-۹ و ادامه آن مشاهده می شود، در هر منبعی چندین عنصر یا فاکتور شیمیایی معمولا بیش از حد استاندارد وجود دارد. لذا بر این اساس کلیه منابع آب در منطقه از نظر شرب مناسب نمی باشند.

جدول ۶-۹- مقایسه غلظت عناصر در منابع آب در دو فصل خشک و تر

	۶ رکات	۵ رکات	۱۰ رکات	۸ رکات	۹ رکات	۱۱ رکات	۱۰ علی آباد	۶ علی آباد	۷ علی آباد	۱۲ علی آباد	۱۳ علی آباد	۸ علی آباد	۱۱ علی آباد	۱۴ علی آباد	اداره راه	حد استاندارد
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	
Ni	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	-	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	0.08
As	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	0.01
Cu	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	2
Zn	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	3
Br	فصل خشک	فصل خشک	-	فصل خشک	-	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	-
Al	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	0.2
Fe	-	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	-	فصل خشک	-	فصل خشک	-	-	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	0.2
Pb	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	-	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	0.01
Ba	فصل تر	فصل خشک	-	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	0.7
B	فصل تر	فصل خشک	-	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	0.5
Cr	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-	0.05
Si	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-
Ca	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	250
Mg	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	50
Na	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	200
K	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	-
HCO3	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	-	فصل تر	-
SO4	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	400
Cl	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	400
TH	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	-
TSS	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-
TDS	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	1500
EC	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-

ادامه جدول ۶-۹- مقایسه غلظت عناصر در منابع آب در دو فصل خشک و تر

	بوستان مهدیه	برزگانی	محمدیه	آموزش کشاورزی ۱	آموزش کشاورزی ۲	چپکند	پارک جنگلی	بجد	حاجی آباد	بوشاد	نصرآباد	بند عمرشاه	حد استاندارد
	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W28	W29	W30	
Ni	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	-	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	-	0.08
As	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	0.01
Cu	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	-	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	2
Zn	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	3
Br	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	-	فصل خشک	-	-
Al	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	-	فصل تر	0.2
Fe	-	فصل خشک	-	-	فصل تر	-	فصل تر	-	-	-	-	-	0.2
Pb	-	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	-	فصل تر	-	فصل تر	0.01
Ba	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	0.7
B	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	0.5
Cr	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-	فصل تر	فصل خشک	0.05
Si	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	-
Ca	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	250
Mg	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	50
Na	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	200
K	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	-
HCO3	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	-
SO4	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	400
Cl	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	400
TH	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-
TSS	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-
TDS	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل خشک	1500
EC	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل تر	فصل تر	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	فصل خشک	-

۶-۸- بررسی شاخص فلزی (MI) در منابع آب

شاخص فلزی (Metal index) یا MI که توسط تاماسی و سینی (Tamasi and Cini, 2003) معرفی شده است از شاخص‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان اثرات افزایشدهی همراه بودن عناصر سنگین را بر سلامت انسان بررسی و کیفیت کلی آب آشامیدنی را در آن برآورد کرد (هادوی و همکاران، ۱۳۸۸). MI طبق رابطه ۶-۱ محاسبه می‌گردد.

$$MI = \sum_{i=1}^n \frac{Ci}{(MAC)_i} \quad \text{فرمول ۶-۱}$$

C غلظت هر عنصر در آب بر حسب mg/L و i شماره عنصر فلزی است که در این رابطه به کار می‌رود. برای MAC از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) (2008) استفاده شده است. MI=1 حداکثر مقدار مجاز بوده که بیش از آن آب آلوده ارزیابی می‌شود. شاخص فلزی در منابع آب برای عناصر Cr, B, Pb, Cu, Ba, As, Al, Fe, Br, Ni و Zn محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ۶-۳۹ مشاهده می‌شود، میزان MI برای عناصر مذکور در تمامی نمونه‌ها بالاتر از یک می‌باشد. این بدان معنی است که از نظر این شاخص تمامی منابع آب منطقه نسبت به عناصر مذکور آلوده می‌باشند. به جزء چشمه بند عمرشاه با MI=0.7 بدست آمد، که کمتر از یک بوده لذا آلوده محسوب نمی‌شود. بیشترین MI متعلق به چاه محمدیه (MI=5.4)(W4) و چاه پارک جنگلی (MI=5.2)(W27) و چاه برزگانی (MI=4.7)(W2) و کمترین MI در چشمه بند عمرشاه (MI=0.7)(W30) بدست آمده است. عناصر Cr و B بیشترین تاثیر را در آلودگی منابع آب منطقه و افزایش MI داشته‌اند.





شکل ۶-۳۹- محاسبه شاخص فلزی در منابع آب منطقه مورد مطالعه

۶-۹- تعادل جرمی

از جمله واکنش‌های کنترل‌کننده که بیشتر در ارتباط با انتقال عناصر اصلی و کاتیون‌ها و آنیون‌ها با منشأ طبیعی به آب زیرزمینی تأثیرگذارند، می‌توان به انحلال، هوازگی‌ها، تبادل یونی، تبخیر و... اشاره کرد. با محاسبه تعادل جرمی با استفاده از غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، توسط نرم‌افزار WATEVAL (Hounslow and Goff, 1994)، یکسری از عوامل مؤثر در مورد منشأ و غلظت یونها در منابع آب مشخص می‌شود. مراحل محاسبه و مقادیر تعادل جرمی در جدول ۶-۱۰ و نتایج حاصل از محاسبه تعادل جرمی در منابع آب در جدول ۶-۱۱ آورده شده است. با توجه به جدول ۶-۱۰ غلظت بالاتر از ۰/۵ در مورد SiO_2 مربوط به انحلال شیشه آتشفشانی و یا ورود آبهای گرمابی نسبت داده می‌شود. ۷۳٪ از منابع آب منطقه غلظت بالاتر از ۰/۵ دارند و کمترین مقدار آن در چشمه بند عمرشاه ($\text{SiO}_2=0.41$) بدست آمده است. با توجه به حضور افیولیتها در بالادست منابع و همچنین سنگهای آتشفشانی (اسپیلیت‌ها)، احتمال حضور سیلیس از انحلال شیشه‌های آتشفشانی در منطقه وجود خواهد داشت. نسبت $\text{SiO}_2/(\text{Na}+\text{K}-\text{Cl})$ در چاه‌های W5، W6، W12، W15، W19، W22 و W23 مقدار کمتر از یک بدست آمده که نشان از تأثیر تبادل یونی در حضور Na و K در آب زیرزمینی و در چاه‌های W3 (۱/۹۵) و W7 (۱/۴۳) مقدار بیشتر از یک بدست آمده که نشان از

هوازگی آلبیت در حضور K و Na و در مورد چاه W3 به عدد ۲ نزدیک می‌باشد که می‌توان به سنگ‌های اولترامافیک و هوازگی کانی‌های فرومینیزین مرتبط دانست.

نسبت $(Na+K-Cl)/(Na+K-Cl+Ca)$ در منابع آب بین $0/2-0/8$ بدست آمده است، لذا احتمال هوازگی پلاژیوکلازها را می‌توان منشاء Ca در نظر گرفت. با استفاده از نسبت $Na/(Na+Cl)$ نیز می‌توان منشاء Na را تا حدی مشخص کرد. این نسبت در ۳۰ درصد از منابع آب بین $0/65$ تا $0/51$ بدست آمده است که منشاء اصلی Na از منابعی به غیر از هالیت-آلبیت خواهد بود، در منطقه مورد مطالعه لیستونیت‌های کربناته می‌توانند دلیل اصلی حضور Na باشند. در 60% از منابع آب هم این نسبت $0/24-0/49$ بدست آمده است که با توجه به مقدار $TDS > 500$ ، نرم شدگی معکوس (جایگزینی دیگر یونها به جای Na و آزاد شدن آن در محیط را می‌توان دلیل حضور Na دانست. نسبت $Mg/(Mg+Ca)$ در حدود 83% از منابع آب بین $0/94$ تا $0/5$ بدست آمده که انحلال دولومیت و رسوب کلسیت می‌تواند باعث آزادسازی Mg شود. با توجه به نسبت $Ca/(Ca+SO_4)$ که در حدود 57% از منابع آب مقدار $0/9$ تا $0/6$ بدست آمده است، منبع دیگری برای Ca یعنی کربنات‌ها و سیلیکات‌ها وجود دارد. البته انحلال ژپس و حذف کلسیم به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربنات کلسیم نیز می‌تواند در حضور یا عدم حضور Ca نقش داشته باشند. با استفاده از نسبت‌های Cl/Sum Anions و HCO_3/Sum Anions می‌توان به ارتباط بین آب و سنگ پی برده و تا حدی عوامل موثر بر حضور آنیون‌ها (HCO_3 و Cl) را مشخص کرد. با توجه به مقادیر Cl به مجموع آنیون‌ها ($<0/8$)، عامل هوازگی سنگ‌ها می‌تواند دلیل اصلی وجود Cl در آب زیرزمینی باشد.

نسبت HCO_3 به مجموع آنیون‌ها نیز کمتر از $0/8$ و با توجه به سولفات بالا عامل شورابه‌ها در منطقه ناشی از تبخیر بالا باعث حضور بی‌کربنات خواهد بود البته نسبت HCO_3/SiO_2 هوازگی کربنات‌ها را عامل حضور بی‌کربنات در آب زیرزمینی می‌داند، که این مورد با توجه به زمین‌شناسی منطقه می‌تواند صحیح‌تر باشد.

جدول ۶-۱۰- مقادیر بحرانی در روش تعادل جرمی (Hounslow, 1994)

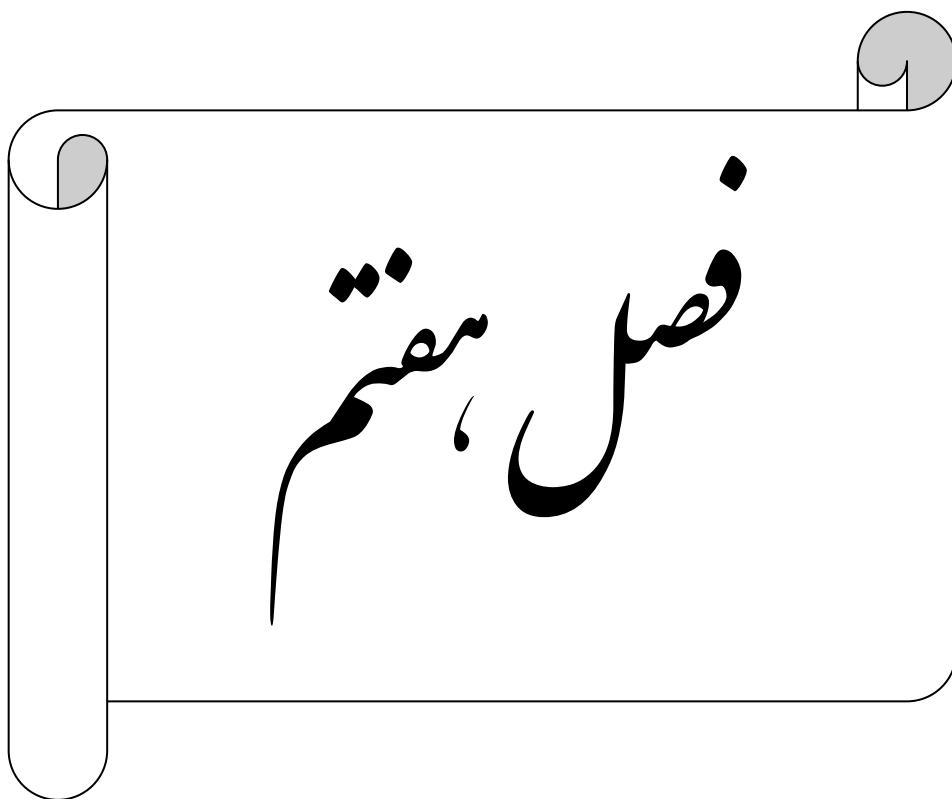
پارامتر	مقدار	نتیجه گیری
$SiO_2(mmol/L)$	>0.5	احتمال انحلال شیشه آتشفشانی یا آبهای گرمایی
HCO_3^-/SiO_2	>10 >5 و <10 <5	هوازدهی کربناتها مبهم هوازدهی سیلیکاتها
$Mg^{+2}/(Mg^{+2} + Ca^{+2})$	<0.5 >0.5	هوازدهی همزمان دولومیت و سنگ آهک انحلال دولومیت، تهنشینی کلسیت، یا آب دریا
$SiO_2/Na^+ + K^+ - Cl^-$	>1 <1 و >2 >2	تبادل کاتیون هوازدهی آلبیت کانیهای فرومنیزین
$Na^+ + K^+ - Cl^- / (Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^+)$	>0.12 و <0.18 <0.12 یا >0.18	هوازدهی احتمالی پلاژیوکلازها هوازدهی غیر محتمل پلاژیوکلاز
$Na^+ / Na^+ + Cl^-$	>0.5 $=0$ <0.5 (TDS >500) <0.5 ($50 < TDS < 500$) <0.5 (TDS < 50)	منبع سدیم از منابعی به جزء هالیت-آلبیت، تبادل یون انحلال هالیت نرم شدن معکوس، آب دریا خطای تجزیه آب باران
$Ca^{+2} / Ca^{+2} + SO_4^{-2}$	$=0.5$ <0.5 , pH $< 5/5$ pH خنثی، <0.5 >0.5	انحلال ژپس اکسیداسیون پیریت حذف کلسیم-تبادل یون یا رسوب کلسیت کلسیم از منابعی به جزء ژپس-کربناتها یا سیلیکاتها
$Cl^- / Sum Anions$	>0.18 , (TDS >500) >0.18 , (TDS <100) <0.18	آب دریا، شورابهها یا تبخیر آب باران هوازدهی سنگ
$HCO_3^- / Sum Anions$	>0.18 <0.18 و سولفات بالا 0.18 و سولفات پایین	هوازدهی کربنات یا سیلیکات انحلال ژپس آب دریا یا شورابه

جدول ۶-۱۱ - مقادیر محاسبه شده در روش تعادل جرمی برای منابع آب منطقه

منبع آبی	SiO ₂		منبع آبی	HCO ₃ /SiO ₂		منبع آبی	$\frac{(Na + K - Cl)}{(Na + K - Cl + Ca)}$		منبع آبی	Na/(Na + Cl)	
	تا	0.41 تا 0.98		6.11 تا 16.14	هواز دگی کربناتها		0.22 تا 0.68	هواز دگی احتمالی پلاژیوکلاز		0.51 تا 0.65	انحلال آلبیت یا تبادل یون
W1 تا W30	0.41 تا 0.98	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمایی	w1,W3,w5, w7,w8,w10 w14,w16,w1 9,w21,w23, w28,w30	6.11 تا 16.14	هواز دگی کربناتها	W5,w6,w7,w1 2,w15,w19,w2 3	0.22 تا 0.68	هواز دگی احتمالی پلاژیوکلاز	W3,w5,w6,w7, w12,w15,w19,w 22,w23	0.51 تا 0.65	انحلال آلبیت یا تبادل یون
-	-	-	-	-	-	W1,w2,w4,w8 ,w9,w10,w11, w13,w14,w16, w17,w18,w20, w21,w24,w25, w26,w27,w28, w29,w30	-	Cl>(Na+K)	W1,w2,w4,w8, w9,w10,w11,w1 3,w14,w16,w17, w18,w20,w21,w 24,w25,w26,w2 7,w28,w29,w30	0.24 تا 0.49	نرم شدن معکوس
-	-	-	-	-	-	W3,w22	0.17 و 0.88	هواز دگی غیر محتمل پلاژیوکلاز	-	-	-

ادامه جدول ۶-۱۱ - مقادیر محاسبه شده در روش تعادل جرمی برای منابع آب منطقه

منبع آبی	Mg/(Mg+Ca)		منبع آبی	Ca/(Ca+SO ₄)		منبع آبی	Cl/sum Anions		HCO ₃ /Sum Anions	
W3,w5,w6,w7,w8,w10,w11, w14,w15,w16,w20,w21,w22, w23,w24	0.51 تا 0.94	انحلال دولومیت و رسوب کلسیت	W1,w2,w8,w9,w12,w15, w23	0.45 تا 0.55	انحلال ژئپس	W1 تا W30	0.27 تا 0.76	هوازگی سنگ	0.25 تا 0.69	حضور شورابه‌ها
W19,w28,w30	0.33 0.28 0.28	هوازگی سنگ آهک - دولومیت	W3,w4,w5,w6,w7,w13, w14,w17,w18,w19,w21, w24,w26,w27,w28,w29, w30	0.60 تا 0.93	ورود Ca از منابع غیر ژئپس (کربنات‌ها و سیلیکات‌ها)	-	-	-	-	-
-	-	-	W10,w11,w16,w20,w22, w25	0.22 تا 0.44	حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربنات کلسیم	-	-	-	-	-



حذف کروم از محلول آبی حاوی کروم VI

۷-۱- مقدمه

با توجه به اینکه کروم VI از آلاینده‌های آب با خطر سرطانزایی شناخته شده است، به دست آوردن راهی جهت حذف آن از جمله اولویتهای زیست محیطی و تحقیقات لازم و ضروری در جهت تامین آب سالم برای سلامتی و بهداشت موجودات زنده و بالاخص انسان می‌باشد. از سوی دیگر استفاده از روشهای بیولوژیک جهت حذف آلاینده‌های محیط زیست از جمله روشهای نو و مطلوب در جهان امروز محسوب می‌گردد.

آلوده بودن منابع آب منطقه به این فلز سنگین و مزیت‌های استفاده از روشهای بیولوژیک برای حذف فلزات سنگین و پاکسازی آبهای آلوده در این فصل به بررسی و امکان استفاده از یک ماده جاذب جدید طبیعی برای زدودن کروم و پاکسازی آب و مراحل بهینه سازی فرآیند پرداخته شده است. شایان ذکر می‌باشد که نتایج این تحقیق به عنوان اختراع در اداره کل ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی ثبت گردیده است.

در این پژوهش جهت زدودن کروم VI از آب برای اولین بار در جهان از پودر هسته میوه عناب با نام علمی *Ziziphus zizyphus* استفاده شد و بهینه سازی این فرآیند انجام گردید. خلاصه مراحل فرآیند در شکل ۷-۱ آورده شده است. در هر مرحله از بهینه سازی غلظت کروم VI محلول در ابتدا و انتهای آزمایش اندازه گیری شد. عملکرد پودر هسته میوه عناب و در واقع در صد حذف کروم از محلول با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{Removal (\%)} = \frac{C_i - C_e}{C_i} 100$$

رابطه ۷-۱

Removal (%): در صد حذف

 C_i : غلظت اولیه کروم در محلول C_e : غلظت نهایی کروم در محلول



شکل ۷-۱- خلاصه مراحل فرآیند زدودن کروم از آب توسط پودر هسته میوه عناب

۲-۷- بهینه سازی اندازه ذرات

برای بهینه سازی اندازه ذرات آزمایشهای مختلف در شرایط یکسان و در اندازه‌های مختلف از پودر هسته میوه انجام گردید. با توجه به انجام مطالعات پیشین مشابه شرایط آزمایشگاهی در این مرحله به قرار زیر می‌باشد:

۱- انجام آزمایش با پودر هسته عناب در اندازه‌های مختلف شامل هسته کامل عناب و پودر آن در

اندازه‌های کمتر از ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ بر حسب میلی متر با کوبیدن هسته و پودر کردن

و عبور دادن آن از الک‌های با شماره به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰ و ۱۲۰

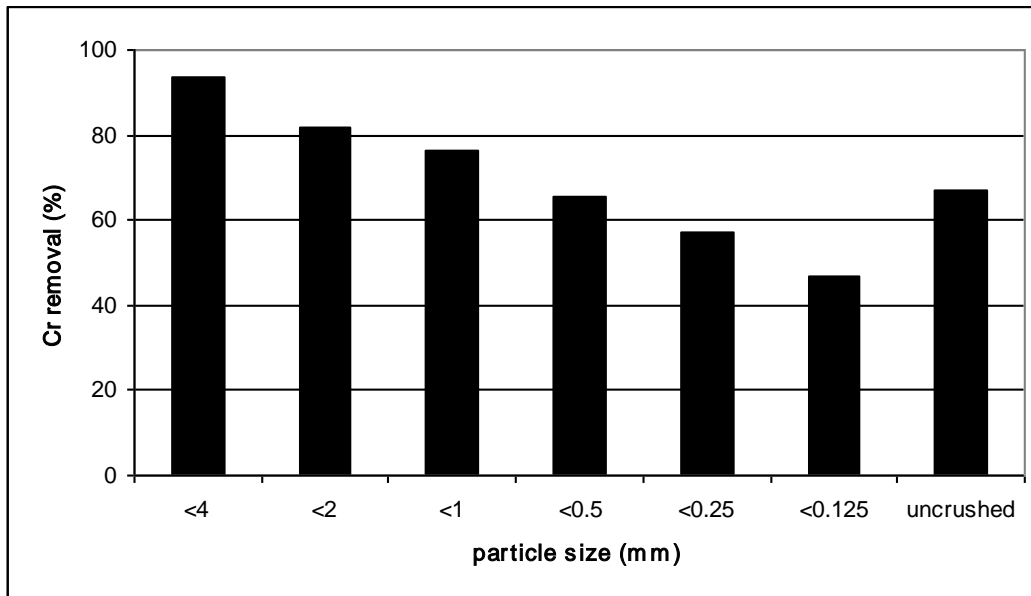
۲- pH محلول : ۲

۳- میزان جاذب به محلول : ۰/۵ گرم در ۱۰ میلی لیتر از محلول دی کرومات پتاسیم

۴- زمان آزمایش: ۲ ساعت

۵- غلظت محلول دی کرومات پتاسیم: ۱۰۰ ppm

مقادیر کروم حذف شده و ارتباط آن با دانه بندی و اندازه ذرات جاذب در شکل ۲-۷ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین حذف کروم (۹۳/۵٪) با استفاده از پودر هسته میوه عناب با سایز کوچکتر از ۴mm (عبور داده شده از الک شماره ۵) بدست آمده است. مطلب قابل توجه این است که مقدار جذب کروم در صورت استفاده از هسته کامل کاهش (۶۷٪) می‌یابد. لذا با توجه به نتایج بدست آمده اندازه بهینه برای پودر هسته اندازه کوچکتر از ۴mm (عبور داده شده از الک شماره ۵) می‌باشد و در مراحل بعدی فرآیند بهینه سازی از پودر هسته با این اندازه استفاده می‌گردد.



شکل ۷-۲- تغییرات میزان حذف کروم در اندازه‌های مختلف از پودر هسته میوه

۳-۷- بهینه سازی pH

برای بهینه سازی pH آزمایش‌های مختلف در شرایط یکسان و در pH های مختلف از محلول انجام گرفت. شرایط آزمایشها به قرار زیر می‌باشد:

۱- پودر هسته میوه عناب عبور داده شده از الک شماره ۵

۲- انجام آزمایشها در pH های ۲، ۱، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ از محلول دی کرومات پتاسیم (تنظیم pH با استفاده از HCl 4 mol و NaOH 4 mol انجام شد)

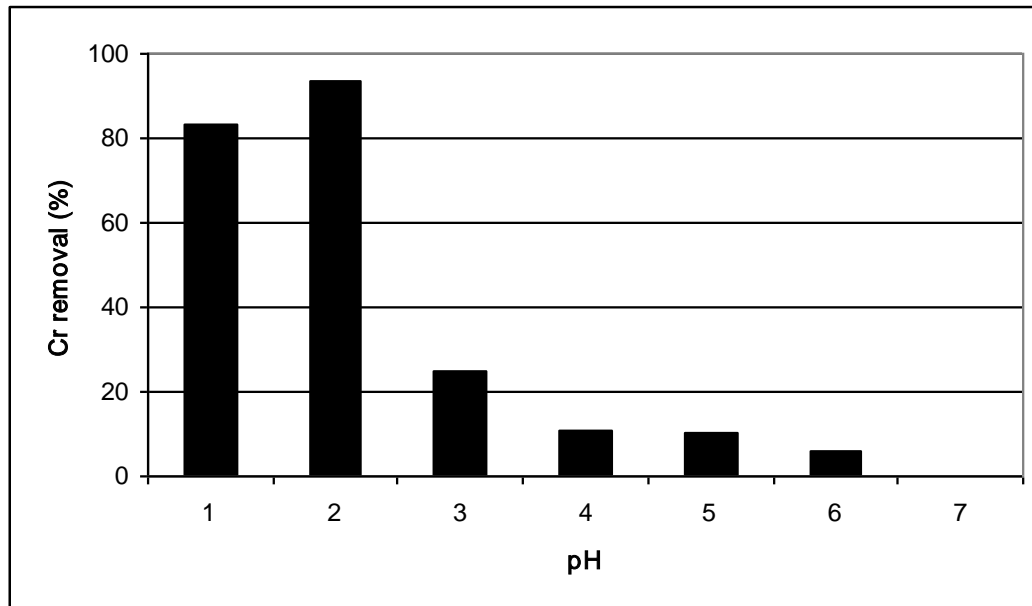
۳- میزان جاذب به محلول: ۰/۵ گرم در ۱۰ میلی لیتر از محلول دی کرومات پتاسیم

۴- زمان آزمایش: ۲ ساعت

۵- غلظت محلول دی کرومات پتاسیم: ۱۰۰ ppm

نتایج آزمایشات مربوط به بهینه سازی pH نشان می‌دهد که در صورتی که pH محلول حاوی کروم از ۲ بیشتر و یا کمتر شود، میزان حذف کروم توسط جاذب کاهش می‌یابد (شکل ۷-۳). بطوریکه در pH معادل

۷، جاذب امکان حذف کروم را ندارد. لذا با توجه به نتایج این مرحله از بهینه سازی، pH بهینه معادل ۲، با ۹۳/۵ درصد حذف کروم می باشد که در مراحل بعدی بهینه سازی از آن استفاده گردید.



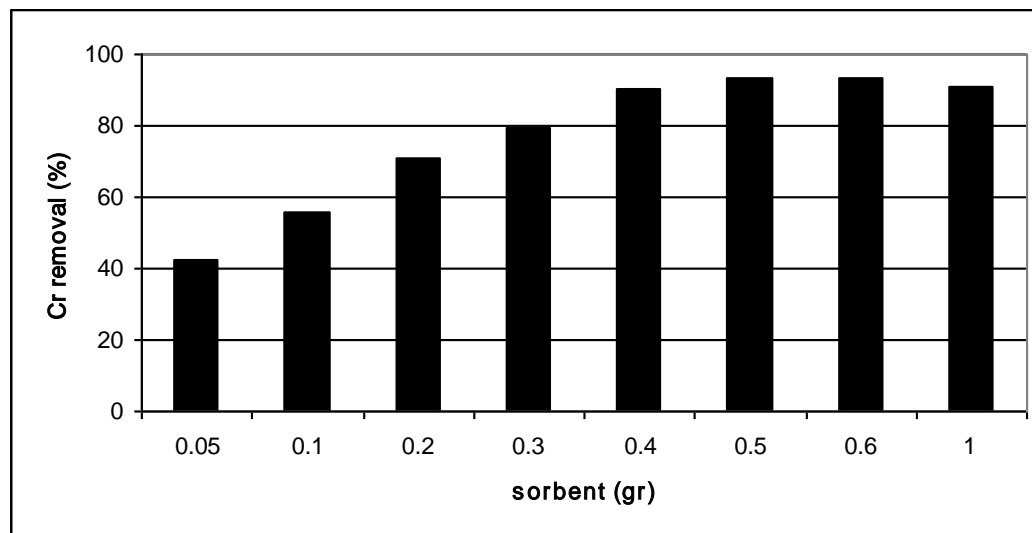
شکل ۷-۳- تغییرات میزان حذف کروم در pH های مختلف از محلول

۷-۴- بهینه سازی نسبت جرم جاذب به حجم محلول

برای بهینه سازی نسبت جرم جاذب بکار رفته به حجم محلول، آزمایشات با شرایط زیر انجام پذیرفت:

- ۱- پودر هسته میوه عناب عبور داده شده از الک شماره ۵
- ۲- pH محلول : ۲
- ۳- نسبت جاذب به محلول : انجام آزمایشات در شرایط ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶ و ۱ گرم از جاذب به ۱۰ میلی لیتر از محلول دی کرومات پتاسیم
- ۴- زمان آزمایش: ۲ ساعت
- ۵- غلظت محلول دی کرومات پتاسیم: ۱۰۰ ppm

نسبت جرم جاذب به محلول از جمله پارامترهای مهم در فرآیند جذب و حذف فلزات سنگین می‌باشد. در واقع هر چه ظرفیت جذب جاذب بیشتر باشد، برای زدودن فلزات سنگین از محلول به مقدار جاذب کمتری نیاز می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که در اولین مراحل آزمایش، درصد حذف کروم از محلول با افزایش مقدار جاذب افزایش یافته تا اینکه درنسبتهای ۰/۵، ۰/۶ و ۱ گرم از جاذب به ۱۰ میلی لیتر از محلول ثابت می‌ماند (شکل ۷-۴). لذا نسبت ۰/۵ گرم از جاذب به ۱۰ میلی لیتر از محلول به عنوان نسبت بهینه در این مرحله انتخاب و برای مراحل بعدی بهینه سازی استفاده گردید.



شکل ۷-۴- تغییرات میزان حذف کروم درمقادیر مختلف از جاذب در ۱۰ میلی لیتر از محلول

۷-۵- بهینه سازی زمان

این مرحله از بهینه سازی با انجام آزمایشات به شرح ذیل صورت پذیرفت:

۱- پودر هسته میوه عناب عبور داده شده از الک شماره ۵

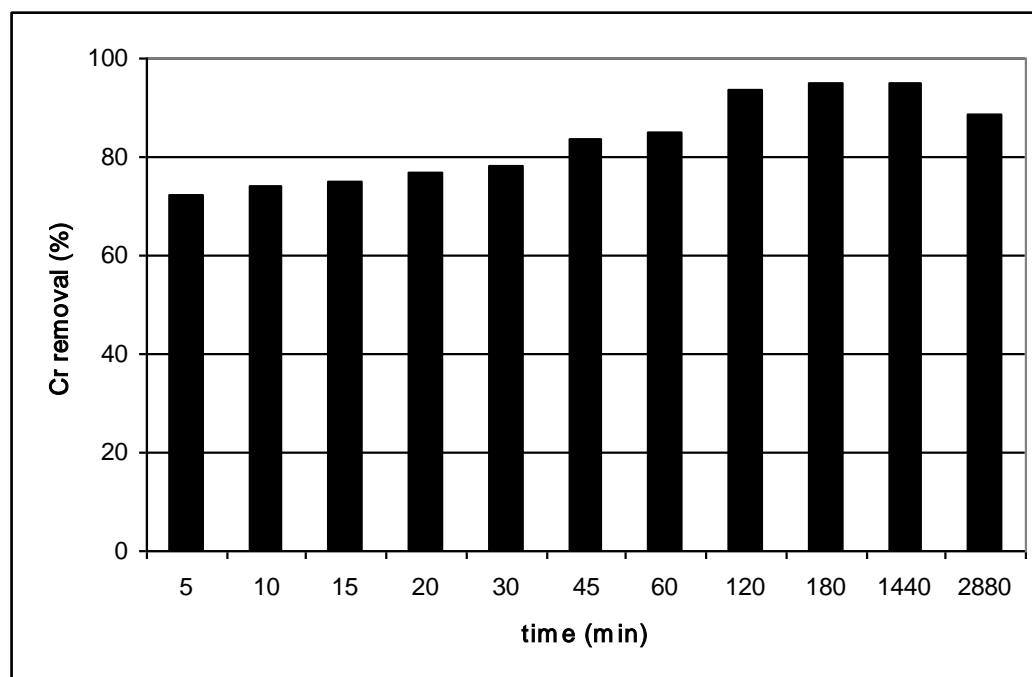
۲- pH محلول : ۲

۳- نسبت جاذب به محلول : ۰/۵ گرم از جاذب به ۱۰ میلی لیتر از محلول دی کرومات پتاسیم

۴- زمان‌های مختلف آزمایش شامل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۱۸۰، ۱۲۰، ۳۶۰، ۱۴۴۰ و ۲۸۸۰ دقیقه

۵- غلظت محلول دی کرومات پتاسیم: ۱۰۰ ppm

زمان تماس جاذب با محلول حاوی فلزات سنگین از پارامترهای بسیار تاثیر گذار بر فرآیند جذب و زدودن فلزات از محلول می‌باشد و مکانیسم جذب عامل اصلی تعیین کننده در این امر محسوب می‌گردد. در هر لحظه غلظت فلز در محلول حاصل برآیند جذب و واجذب می‌باشد. لذا همانطور که نتایج نشان می‌دهند (شکل ۷-۵) با افزایش زمان واکنش به دلیل فراهم شدن زمان بیشتر برای واکنش بین جاذب و محلول در صد حذف فلز افزایش می‌یابد و پس از گذشت ۱۸۰ دقیقه به حداکثر مقدار خود (۹۵٪ حذف) می‌رسد. با افزایش زمان تماس به ۲۴ ساعت تغییری در میزان حذف کروم از محلول ایجاد نمی‌شود، در صورتی که افزایش زمان واکنش به بیش از ۴۸ ساعت، باعث کاهش در صد جذب و در واقع باعث افزایش واجذب و ورود مجدد کروم به محلول می‌گردد. لذا ۱۸۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه برای این آزمایش انتخاب می‌گردد.



شکل ۷-۵- تغییرات میزان حذف کروم طی زمان‌های مختلف واکنش

۶-۷- بهینه سازی غلظت کروم

آزمایش با محلول حاوی غلظت‌های مختلف از کروم در شرایط زیر انجام گردید:

۱- پودر هسته میوه عناب عبور داده شده از الک شماره ۵

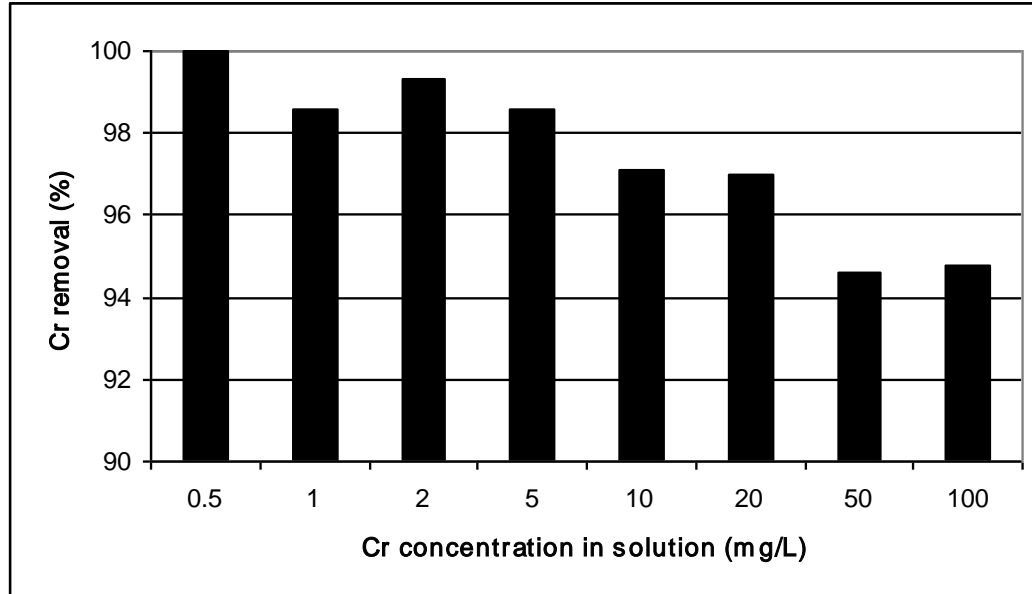
۲- pH محلول : ۲

۳- میزان جاذب به محلول : ۰/۵ گرم از جاذب به ۱۰ میلی لیتر از محلول دی کرومات پتاسیم

۴- زمان آزمایش: ۱۸۰ دقیقه

۵- محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر

نتایج نشان می‌دهند که در بازه وسیعی از تغییرات غلظت کروم از ۰/۵ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر میزان جذب کروم توسط جاذب چندان تغییری نمی‌کند (شکل ۶-۷). در واقع درصد حذف کروم از ۹۵٪ به ۱۰۰٪ در صورت کاهش کروم در محلول از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر به ۰/۵ میلی گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. این نتیجه کارآیی بالای جاذب در جذب کروم را در غلظت‌های متفاوت از محلول روشن می‌سازد.



شکل ۶-۷- تغییرات میزان حذف کروم از غلظت‌های مختلف از محلول کروم دار

۷-۷- جمع بندی شرایط بهینه برای زدودن کروم

به طور کلی می توان نتایج بهینه سازی فرآیند حذف و جذب کروم از محلول حاوی کروم VI را به قرار زیر جمع بندی نمود:

۱- پودر هسته میوه عناب عبور داده شده از الک شماره ۵

۲- pH محلول : ۲

۳- میزان جاذب به محلول : ۰/۵ گرم از جاذب به ۱۰ میلی لیتر از محلول دی کرومات پتاسیم

۴- زمان آزمایش: ۱۸۰ دقیقه

۵- محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت های ۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر

شایان ذکر می باشد که با توجه به اینکه درخت عناب از جمله گیاهان غالب در منطقه مورد مطالعه (دشت بیرجند) می باشد و از سویی دیگر با توجه به اینکه هسته این گیاه جزء دورریزهای جامد محسوب می گردد، استفاده از این جاذب نه تنها کمک بسزایی در حل مشکل آلاینده های منابع آبی منطقه به کروم محسوب می گردد بلکه حجم دورریزهای جامد در منطقه را نیز کاهش داده و کمکی دو چندان در جهت حفظ و ایجاد محیط زیستی سالم خواهد نمود. مزایای استفاده از پودر هسته میوه عناب به عنوان جاذب کروم را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- غیر سنتزی بودن

- ارزان و در واقع بدون هزینه بودن

- در دسترس بودن در بسیاری از نقاط ایران

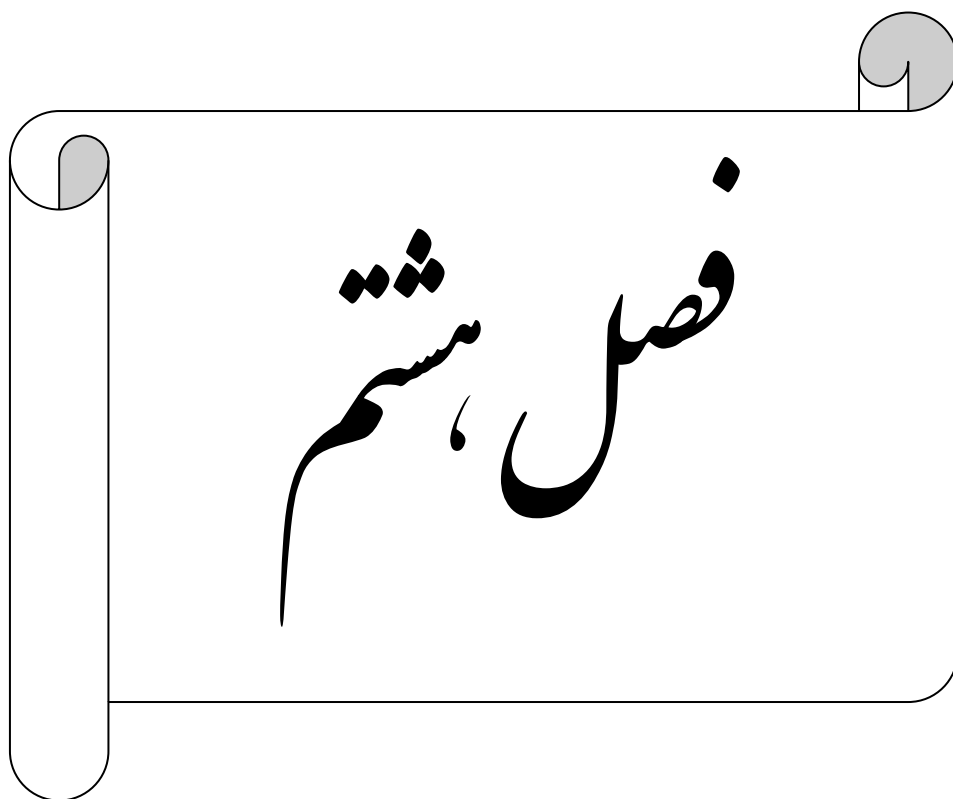
- یک فرآورده بیولوژیک و سازگار با محیط زیست

- حذف ۹۵ تا ۱۰۰٪ کروم VI از محلول

- بازده بالا در بازه وسیعی از غلظت کروم در محلول

- کاهش میزان دورریزهای جامد و کمک به مدیریت مواد زاید در منطقه

لذا با توجه به مزایای ذکر شده انجام تحقیقات تکمیلی در ارتباط با تجاری سازی این جاذب در فرآیند تصفیه آب و فاضلاب در تصفیه خانه های مربوطه توصیه می گردد.



نتیجه گیری و پیشنهادات

۸-۱- مقدمه

در این تحقیق سعی شده است که به بررسی کیفیت آبها، با توجه به ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه پرداخته شود. در این راستا، شاخص‌های مختلف محاسبه گردید و جهت بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج از نمودارها و گراف‌های حاصل از نرم‌افزارهای Excel، PHREEQC، WATEVAL، Rockworks و AqQA استفاده شد بدین از ۲۷ منبع آبی در فصل تر و ۳۰ منبع آبی شامل ۲۷، ۲ قنات و یک چشمه نمونه‌برداری صورت گرفت. جهت بررسی تاثیرات زمین‌شناسی و ژئوشیمی منطقه بر کیفیت آبها، ۲۵ نمونه رسوب از آبراهه‌های اصلی مشرف بر منابع آبی برداشت شد. نمونه‌های آب و رسوب جهت آنالیز ICP-MS به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شدند. همچنین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و دیگر پارامترهای فیزیکی شیمیایی در منابع آبی اندازه‌گیری گردید. نحوه پراکنش غلظت عناصر در رسوبات بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه رسم شد. با محاسبه ضرایب تجمعی زمین، غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی غلظت عناصر در رسوبات تفسیر شده و ارتباط آنها با زمین‌شناسی منطقه تجزیه و تحلیل گردید نتایج حاصل از آنالیز در منابع آبی با استانداردهای WHO, 2008 و ۱۰۵۳ ملی ایران مقایسه شدند. نحوه پراکنش غلظت عناصر در منابع آب منطقه رسم شد و با محاسبه شاخص فلزی و شاخص اشباع‌شدگی و تعادل جرمی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت از ماده جاذب طبیعی (هسته پودر شده میوه عناب) حذف کروم VI از محلول آبی با عملکرد بالا انجام شد. در این بخش نتیجه‌گیری به دست آمده از بخش‌های مختلف این تحقیق به طور خلاصه آورده شده است.

۸-۲- نتیجه‌گیری بخش زمین‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات منطقه

چینه‌شناسی عمومی منطقه شامل توالی کامل افیولیتی با نام رشته کوه باقران در ارتفاعات جنوب دشت بیرجند می‌باشد. مهمترین سنگهای این مجموعه که بیشترین تاثیر را در افزایش و کاهش غلظت عناصر در رسوبات منطقه داشته‌اند، شامل سنگهای اولترامافیک و گدازه‌های بالشی می‌باشند. با توجه به مقاطع نازک تهیه شده، مهمترین کانیهای تشخیص داده شده شامل سنگهای پریدوتیت، اسپیلیت، لیستونیت و گابرو، سنگهای آهکی فسیل‌دار، ماسه‌سنگ و فیلیت، کانیهای پیروکسن، اولیوین، کروم اسپینل و

همچنین رگه‌های آهن و کربناته و تشخیص داده شدند. لیستونیت‌ها که از دگرسانی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده به وجود می‌آیند نیز منشاء بیشتر عناصر مورد بررسی در منطقه از جمله Cu, Zn, Pb, B, As, Au, Ag, Ni, Cr, Fe, Ba, Mg, K, Ca و Cl می‌باشند. لیستونیت‌های منطقه در سه گروه کربناتی، سیلیسی و سیلیسی-کربناتی جای می‌گیرند. پراکنش غلظت عناصر در رسوبات بر روی نقشه زمین شناسی منطقه نشان می‌دهد که عناصر Cu, Zn, Pb, Ni, Au, Cr و Mg در رسوبات نزدیک ارتفاعات به دلیل حضور لیستونیتها و اسپیلیت‌ها از غلظت بیشتری برخوردار هستند. محاسبه اندیس تجمع زمین نشان می‌دهد که رسوبات نسبت به عناصر Fe, Al, Ga, Ba و As در محدوده بدون آلودگی قرار می‌گیرند. این عناصر به دلیل حلالیت و تحرک پایین در حین هوازدگی معمولا در سنگها باقی‌مانده و کمتر وارد رسوبات می‌شوند. رسوبات نسبت به عناصر Zn, Pb, Au و Ag در محدوده بدون آلودگی تا محدوده آلودگی تا آلودگی متوسط و نسبت به عناصر Ni, Cr, Mg و Cu در محدوده آلودگی متوسط تا محدوده آلودگی متوسط تا شدید قرار گرفتند. از آنجا که توالی‌های افیولیتی نسبت به عناصر Ni و Cr غنی‌شدگی دارند، لذا غلظت آنها در رسوبات نیز بیشتر می‌باشد. لیستونیت‌های کربناته نیز در منطقه حاوی منیزیم بوده و باعث افزایش غلظت Mg در رسوبات و سپس آب زیرزمینی شده‌اند. همبستگی بالای Ni با Cr (+0/۹۳۴) و Mg با Ni (+0/۹۷۱) و با Cr (+0/۹۷۶) نشان‌دهندگی منشاء مشترک آنها و حضورشان در سنگهای اولترامافیکی است. آنالیزهای ژئوشیمیایی رسوبات نشان می‌دهند که در رسوبات منطقه عنصر Ni غنی‌شدگی شدید و عناصر As, Cr و Cu غنی‌شدگی نسبتا شدید و عناصر Zn, Pb و Mg غنی‌شدگی متوسط و عناصر Au و Ag غنی‌شدگی اندک و عناصر Ba, Ga, Al و Fe نیز حالت بدون غنی‌شدگی را نشان می‌دهند. محاسبه ضریب فاکتور آلودگی برای عناصر با اندیس تجمعی زمینی مطابقت داشته به طوریکه رسوبات آلودگی کم به عناصر As, Ba, Fe, Ga و Al، آلودگی قابل توجه به عناصر Mg و Cr، آلودگی متوسط به عناصر Zn, Ag, Au و Pb و آلودگی خیلی شدید به عناصر Cu و Ni را نشان

دادند. محاسبه درجه آلودگی عناصر در رسوبات نیز نشان می‌دهد، که ۴۰٪ از رسوبات در محدوده غیر آلوده تا آلودگی اندک و ۴۸٪ در محدوده آلودگی اندک و ۱۲٪ در محدوده آلودگی متوسط قرار می‌گیرند.

۸-۳- نتیجه‌گیری بخش کیفیت آب

در خصوص پارامترهای فیزیکی و شیمیایی منابع آبی، مطالعات نشان داد که غلظت یونهای Cl ، Na ، Mg و پارامتر TDS در بعضی از منابع بیش از حد استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران می‌باشد. همچنین غلظت فلزات Cr و B در بیش از ۸۰٪ منابع آبی غلظت بیش از حد استاندارد (WHO 2008) را نشان دادند. حضور توالی افیولیتی که غنی از Cr می‌باشند و همچنین حضور B ، Mg ، Na و Cl در لیستونیت‌های دگرسان شده از سنگهای اولترامافیک موجود در ارتفاعات بالادست منابع آبی، می‌تواند دلیل افزایش غلظت عناصر ذکر شده در منابع آبی باشد. در کل کاهش کیفیت آبهای زیرزمینی جنوب دشت بیرجند بیشتر متأثر از سازندهای زمین شناسی بوده، به طوریکه محاسبه تعادل جرمی برای کاتیون‌ها و آنیون‌های منابع آبی نیز منشاء زمین شناسی آنها را تایید می‌کند. همچنین محاسبه اندیس اشباع شدگی برای فلزات سنگین نیز نشان دهنده حضور نوع ترکیبات غالب فلزات سنگین در سازندهای زمین شناسی و رسوبات منطقه و حالت اشباع شدگی کانیهای حاوی عناصر در منابع آب می‌باشد نشان داد. کانیهای مونت‌موریلونیت، کائولینیت، دیاسپور، گیبسیت، همتیت، ژئوتیت، آنیت، باریت، آرسنات باریم اکسیدها و هیدروکسیدهای کروم و کرومات منیزیم و کوارتز از جمله کانیهایی هستند که در منابع آبی از شاخص اشباع‌شدگی مثبت برخوردار بوده و منابع آبی نسبت به آنها در حالت فوق اشباع می‌باشد میزان شاخص فلزی برای عناصر مذکور در تمامی نمونه‌ها بالاتر از یک بدست آمد. عناصر Cr و B بیشترین تاثیر را در آلودگی منابع آب منطقه داشته‌اند. از نظر این شاخص، هیچ یک از منابع آب منطقه جهت شرب مناسب نمی‌باشند. مقایسه کیفیت منابع آبی در فصول خشک و تر نشان می‌دهند که غلظت عناصر K ، SO_4 ، HCO_3 ، Mg ، Na و Br به دلیل انحلال‌پذیری بالای آنها در فصل تر افزایش یافته و غلظت عناصر As ، Cu ، Zn و Fe تقریباً در

دوفصل از غلظت یکسانی برخوردار هستند که با اختلاف جزئی غلظت بعضی از این عناصر در فصل تر بیشتر می باشد که با توجه به انحلال پذیری نسبتا پایین این فلزات، به دلیل افزایش مقدار آب و آبشویی رسوبات آبراهه‌ای و عمل انحلال و آزادسازی عناصر از رسوبات باعث افزایش غلظت عناصر انحلال پذیر در فصل تر شده است. غلظت Ni و Al در فصل تر افزایش نشان می دهند، یکی از عوامل موثر در افزایش غلظت نیکل در فصل تر را شاید بتوان تجمع بالای Ni در رسوبات منطقه دانست. عناصر Cr، B، Ba، Si، Ca و Cl و همچنین مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی TH، TSS، TDS و EC نیز در فصل خشک از غلظت بالاتری برخوردار می باشند.

۸-۴- نتیجه گیری بخش حذف کروم از محلول آبی

از هسته پودر شده هسته عناب جهت زدودن کروم V1 از محلول آبی استفاده شد. فرآیند جذب و حذف کروم از محلول با در نظر گرفتن ۵ فاکتور pH، زمان، نسبت جاذب به محلول، اندازه ذرات و غلظت کروم بهینه سازی گردید. پودر هسته عناب از عملکرد بالای در جذب کروم برخوردار می باشد. شرایط بهینه سازی برای این فرآیند به قرار زیر می باشد.

- ذرات کوچکتر از ۴ میلی متر

- pH=۲

- نسبت ۰,۵ گرم جاذب به ۱۰ میلی متر از محلول

- زمان ۳ ساعت

- بازه وسیعی از تغییرات غلظت کروم در محلول (0.5 تا 100 ppm) به طور کلی استفاده از این جاذب در شرایط بهینه توانایی حذف کروم از محلول های کروم دار با غلظت (0.5 تا 100 ppm) را به میزان به ترتیب ۹۵٪ تا ۱۰۰٪ دارا می باشد. این فرایند به عنوان اختراع در اداره کل ثبت شرکت ها و مالکیت صنعتی ثبت گردید.

۸-۵- پیشنهادات

- ۱- انجام مطالعات ایزوتوپی در منابع آب جهت بررسی میزان تاثیر گذاری توالی افیولیتی بر کیفیت منابع آب منطقه
- ۲- انجام مطالعات زمین پزشکی در منطقه و بررسی تاثیر آلودگی منابع آب بر سلامت گیاه، دام و انسان.
- ۳- تکمیل مطالعات مربوط به حذف کروم و تجاری سازی جاذب جهت استفاده برای حذف کروم و احتمالاً فلزات سنگین دیگر در تصفیه خانه آب.

منابع

منابع فارسی

- استاندارد ۱۰۵۳ آب آشامیدنی ایران، (۱۳۷۱)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- ابراهیمی، ح، (۱۳۷۸)، "کانسارهای کرومیت شرق ایران، خاستگاه زمین شناسی و پتانسیل آنها"، همایش شناخت توانمندی‌های معدنی شرق ایران، دانشگاه بیرجند.
- افتخارنژاد، ج، (۱۳۵۹)، "تفکیک بخشهای مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی"، نشریه انجمن نفت، ۸۲.
- آقائباتی، ع، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- امینی، ص. زرین کوب، م. ح. درویش زاده، ع، (۱۳۸۱)، "یک توالی کامل افیولیتی در جنوب بیرجند، خاور ایران"، مجله علوم دانشگاه تهران. جلد ۲۸، شماره ۱.
- اوهانیان، ت، (۱۳۵۲)، "بررسی‌های زمین شناسی، پترولوژی سنگ‌های آذرین جنوب بیرجند"، دانشگاه تهران، رساله فوق لیسانس.
- باریک بین، ب، (۱۳۷۶)، "بررسی وضعیت کیفی و کمی کروم در منابع آب آشامیدنی شهر بیرجند و ارائه راه حل مناسب حذف آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- برد، کالین، مترجم عابدینی، منصور، (۱۳۸۶)، "شیمی محیط زیست"، نشر دانشگاهی تهران.
- پوی، ه، س. روو، د، ر. چپانوگلاس، ج، (۱۳۸۲)، ترجمه ابراهیمی، س. کی نژاد، م، ع، "مهندسی محیط زیست" دانشگاه صنعتی سهند، چاپ دوم.
- ثوابی، غ. دهرآزما، ب. ابراهیمی، خ، (۱۳۸۸) "ارزیابی کیفیت و غلظت عناصر سنگین (سرب و آرسنیک) در آب قنات بیدستان(جنوب بیرجند)"، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ثوابی، غ. دهرآزما، ب. ابراهیمی، خ، (۱۳۸۹) "آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت مختاران(بخش شمالی کوه شاه جنوب بیرجند) بر پایه اطلاعات ژئوشیمی منطقه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- حاجی زاده، ه. کرمی، غ. سعادت، س، (۱۳۸۵)، "ارزیابی زیست محیطی آبهای زیر زمینی در منطقه فیروز آباد شاهرود"، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ تا ۱۵ شهریور. چکیده مقالات.
- حیدری، م، م، (۱۳۸۸)، "کیفیت آب زیرزمینی دشت کاشان از لحاظ مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی"، مجموعه مقالات همایش ملی:الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب، شرکت مهندسی مشاور مهتاب ثامن مشهد.

- خطیب، م، م، (۱۳۶۸)، "تحلیل ساختاری کوههای جنوب بیرجند"، دانشگاه تربیت مدرس، رساله کارشناسی ارشد.
- خواجه پور، س. عباس نژاد، ا. حسن‌زاده، ر، (۱۳۸۷)، "مطالعه میزان آلودگی آبهای زیرزمینی جنوب دشت رفسنجان به فلزات سنگین نیکل و کروم"، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- دهرآزما، ب. ساغروانی، ف. سعیدی، س، (۱۳۸۸)، "ارزیابی میزان آلودگی در آب آشامیدنی روستاهای شمال شاهرود"، اولین کنفرانس بین المللی منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- زرین کوب، م، ح، (۱۳۷۹)، "پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه‌های افیولیت جنوب بیرجند"، دانشگاه تربیت معلم تهران، رساله دکتری.
- زرین کوب، م، ح. خطیب، م، م، (۱۳۸۱)، "جایگاه سنگ شناختی کانسارهای کرومیت در افیولیت ملانژهای جنوب شرق ایران (بیرجند - گزیک)"، ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- زرین کوب، م، ح، (۱۳۸۴)، "پی جویی کرومیت در افیولیت ملانژهای جنوب شرق خراسان (بیرجند-گزیک)"، دانشگاه بیرجند، گروه زمین شناسی.
- زرین کوب، م، ح. امینی، ص. آفتابی، ع. کریم‌پور، م، ح، (۱۳۸۴) "کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، موقعیت ساختمانی و ارزیابی مدل ژنتیکی برای لیستونیت‌های خاور ایران"، سیزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- سالک، س. آتشی، ح. اکبری اسپیلی، ف، (۱۳۸۵)، "بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی شهر زاهدان به فلزات سنگین جیوه، سرب و کبالت و منشاء احتمالی آن"، یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- سیدآر، ک. و همکاران، مترجم موسوی، غ، (۱۳۸۴)، "مهندسی آب". انتشارات حافظ.
- شریعت پناهی، م، (۱۳۷۷)، "اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب"، انتشارات دانشگاه تهران.
- شهابی چشمه موسی، م، ع. عسکری، ع. شهاب‌پور، ج، (۱۳۸۵) "ژئوشیمی و ارزیابی اقتصادی لیستونیت‌های چاه زاغو، منطقه مختاران"، چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشکده علوم دانشگاه بیرجند.
- شهاب پور، ج، (۱۳۸۲)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شهدادی، س. فیاضی، ف. یعقوب پور، ع. رحمانی، ف، (۱۳۸۷)، "بررسی پراکنش سرب در محدوده کوه بی بی شهربانو (جنوب شرق تهران) با تکیه بر مسائل زیست محیطی و زمین شناسی پزشکی"، چهارمین همایش زمین شناسی و محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد اسلامشهر.

- شیخ وانلو، م، (۱۳۸۵)، "ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ضیاء، ح، (۱۳۸۳)، "هیدروژئولوژی آبخوان دشت بیرجند و بررسی تاثیرات طرح‌های تغذیه مصنوعی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- طلائی، ر. پیروان، ح، (۱۳۸۶)، "تاثیر مناطق مینرالیزه و آلتزه بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی از دیدگاه زیست محیطی"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کاردان مقدم، ح. رحیم زاده، ز. ساداتی پور، س، ع. معزی فر، ز، (۱۳۸۹)، "رسی آلاینده‌های زیست‌محیطی غیرصنعتی بر روی آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند"، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- کاردان مقدم، ح. رحیم زاده، ز. ساداتی پور، س، ع. معزی فر، ز، (۱۳۸۹)، "شناسایی مناطق آسیب‌پذیر به آلودگی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص Drastic در محیط GIS مطالعه موردی: دشت بیرجند-خراسان جنوبی"، نهمین کنفرانس هیدرولیک آب، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریم‌پور، م، ح. سعادت، س، (۱۳۸۵)، "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات مشهد.
- شرکت آب منطقه ای خراسان جنوبی، (۱۳۸۷)، "گزارش تمديد ممنوعیت دشت بیرجند"، دفتر مطالعات پایه منابع آب.
- عالیقدر، م. حضرتی، ص. قنبری، م، (۱۳۸۶)، "اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی شهر اردبیل در سال ۸۵-۸۴"، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان.
- فرزادپور، ا. محمدنژاد، ش، (۱۳۸۵)، "تخریب کمی و کیفی منابع آب، چالش فراوری کشور در هزاره سوم"، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- قدیمی، س. طالع فاضل، ا. مقیمی، ه. بخشی، ز، (۱۳۸۹)، "بررسی پراکنش عنصر آرسنیک در رسوبات حوضه آبریز دیواندره با استفاده از نرم‌افزار Surfer"، همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور.
- میسون، ب. کارلتون، ب، مر، (۱۳۷۳)، ترجمه، مر، ف. شرفی، ع، ا، "اصول ژئوشیمی"، مرکز نشر دانشگاهی شیراز.
- هیوآر و رولینسون، (۱۳۸۴)، ترجمه، مر، ف. مدبری، س، "کاربرد داده‌های زمین‌شیمیایی"، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- مظفری زاده، ج. چیت سازان، م، (۱۳۸۶)، "بررسی تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت گتوند". اولین همایش زمین‌شناسی زیست محیطی و پزشکی، دانشگاه شهید بهشتی.

- محتشم، م. دهقانی، ا. ا. اکبرپور، ا. مفتاح هلقی، م. اعتباری، ب. (۱۳۸۸)، "پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی با استفاده از شبکه مصنوعی (مطالعه موردی: دشت بیرجند)", هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
- معین وزیری، ح. (۱۳۷۱)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگهای آذرین، انتشارات دانشگاه تربیت معلم.
- منظمی باقرزاده، ر. (۱۳۸۶) "مقایسه لیستونیت‌های شمال غرب نهبندان با لیستونیت‌های شرق-مرکز ترکیه، عربستان، مراکش و ایتالیا و بررسی منشاء و کانی‌سازی طلا در لیستونیت‌های شمال غرب نهبندان"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- هادوی، ر. شهاب‌پور، ج. مظاهری، س. ا. (۱۳۸۸)، "ارزیابی زیست‌محیطی As، Pb، Cd و Cr در آب زیرزمینی شهر مشهد"، ششمین کنفرانس زمین‌شناسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- همایون نژاد، ا. امیریان، پ. پیری، ع. (۱۳۸۸)، "ارزیابی کیفیت آب مخازن چاه نیمه زابل به لحاظ کشاورزی و آشامیدنی (با تکیه بر نمودارهای شولر و ویلکوکس)", سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.

- Abraham, G, M, S. Parker, R, J. and Nichol, S, L.(2005),"Distribution and Assessment of Sediment Toxicity in Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand", *Environmental Geology*, 52, 1315-1323.
- Appelo, C, A, J. Postma, D, (1994),"Geochemistry, groundwater and pollution", Balkema, Rotterdam.p:683.
- Alderman, J, H, (2002),"Chemical ratios and groundwater contamination in east Texas", *Environ.Con.Tox.* 69:793-799.
- Al-Rawajfeh, A, E. Al-Shamaileh, E, M, (2007),"Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Provinc", *South Jordan. Desalination.* 206: 322–332.
- Babaei, A, A. Mahvi, A, H. Nouri, J. Ahmadpour, E. Mohsenzade, F,(2006),"An experimental study of macro and micro elements in ground water", *Biotechnology*,5,125-129.
- Calisevici, M, N. Perju, D. Dumitrel, G, A. Glevitzky, M. Moldovan, R, C, (2009),"Determination of anions and cations content in Romanian drinking waters by HPILC methods", *Chem. Bull. "Politehnica" Univ*, 54(1), 26 - 30.
- Chen, C, W. Kao, C, M. Chen, C, F. Dong, C,D, (2007)," Distribution and accumulation of heavy metals in the sediment of Kaohsiung Harbor, Taiwan", *Chemosphere*, 66, 1431-1440.
- Egbunike, M, E, (2007),"Hydrogeochemical Analysis of Water Samples in Nando and Environs of the Anambra Basin of South Eastern Nigeria", *Journal of Science and Technology*,8, 32-35.
- Edmunds, W, M. Shand, P. Hard, P.Ward, R, S, (2003),"The natural (baseline) quality of groundwater in England and Wales: A UK pilot study", *The Science Of the Total Environment*, 310, 25-35.
- Farkas, A. Claudio, E. Luigi, V,(2006),"Assesment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediment of the River Po", *Chemosphere*, 68, 761-768.
- Fordyce, F, M. Williams, T, M. Palittapapapon, A. Charoenchaisei, P, (1995),"Hydrogeochemistry of arsenic in an area of chronic mining-related arsenism, Ron Phibun District", *Keyworth, UK: British Geological Survey*, p:83.

- Helfrid, M, A. Rossiter, H, M, A. Owusu, P, A. Awuah, E. Macdonald, A. Schafer, A, I, (2010),"Chemical drinking water quality in Ghana:water costs and scope for advanced treatment". *Science of the total Environment*, 408, 2378-2386.
- Hem, J, D, (1970),"Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water", US Geological Survey, p:1473.
- Hounslow, A, W. Goff, K, D, (1994),"WATEVAL program, ver 8.10", Geology Department-Oklahoma State university.
- Kabata-Pendias, A. Mukherjee, A, B, (2007),"Trace Elements From Soil to Human", p: 550.
- Karavoltzosa, S. Sakellari, A. Mihopoulos, N. Dassenakis, M. Scoullou, M, J, (2008),"Evaluation of the quality of drinking water in regions of Greece", *Desalination*, 224, 317–329.
- Kobya, M, (2003),"Removal of Cr(VI) from aqueous solution by adsorption on to hazelnut shell activated carbon: Kinetic and equilibrium studies", *Bioresource Technology*, 91, 317-321.
- Liaghati, T. Preda, M, (2003),"Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast, Queensland, Australia", *Environment International* , 29, 935– 948.
- Loska, K. Chebual., J. Pelczar, J. Wiechla, D. Kwapulinski, J, (1995),"Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland" *Water, Air and Soil Pollution*, 93, 347-365.
- Mahlkecht, J. Garfias-Solis, J. Aravena, R. Tesch, R, (2006),"Geochemical and isotopic investigations on groundwater residence time and flow in the Independence Basin, Mexico", *Journal of Hydrology*, 324, 283–300.
- Mason, B. Moore, C, B, (1982),"Principles of geochemistry", John Willey and Sons, p:345.
- Merian, E., (1991), "Metals and their compounds in the environment", Occurrence, Analysis, and Biological Relevance, VCH.
- McLean, J, E. Bledsoe, B, E, (1992),"Behavior of Metals in Soils", *Groundwater Issus. U.S.EPA*, 540, S-92/018.

- Moritz, R, P. Crocket, J, H. Dickin, A, P, (1990),"Source of lead in the gold bearing-quartz fuchsite vein at the Kome mine Timmins area, Ontatio, Canada", Mineral Depositea, 25, 270-260.
- Muller, G, (1996),"Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River", Journal Geology, 2, p:109.
- Nordstrom, D, K. McCleskey, R, B, (2006),"Mineral solubility and weathering rate constraints on metal concentration in groundwater of mineralized areas near Questa", 7th International Conference on Acid Rock Drainage, p:1383-1399.
- Sat yanarayana, D. Panigraphy, P, K. Sahu, S, D, (1994),"Metal Pollution in Harborand Coastal sediments of Viskhpatnam, cast coast of India", Indian Journal of marine science, 23, 52-54.
- Spears, D, A. Reeves, M, J, (1975),"The influence of Superficial Deposite on groundwater quality in the Vale York", Q.J.Engg. Geol, 8, 255-270.
- Takeno, N, (2005),"Atlas of Eh-pH diagram", Geological survy of Japan open file report, 419.
- Tamasi, G. Cini, R, (2003),"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, p:327.
- Tupault, M, P. Berger, G. Menunier, A, (1992),"Dissolution-precipitation processes induced by hot water in a factured granite,I: Wall-rock alteration and vein deposition processes", European Journal of Mineralogy, 4, 1457-1475.
- Wang, X, S. Li, Z, Z. Tao, S, R, (2008),"Removal of chromium (VI) from aguaeous Solution using walnut hull", Journal of Environmental Management, 90, 721-729.
- World Health Organization (WHO), (2008),"Drinking Water Standards", www.WHO.int...

Abstract

Heavy metals are among the most important environmental contaminant in all three phases of soil, water, and air. The present research aimed at the geochemical investigations on the contaminant elements of groundwater resources in south of Birjand plain, Iran and determining the possible source of contamination with regards to petrology and geochemistry of the region. After collecting the available information, field observations, and selecting the sampling locations, water samples were collected in two periods, 27 samples in May 2010 (end of the wet season), and 30 samples in September 2010 (end of the dry season). The concentrations of cations and anions by using standard methods were determined and the concentrations of elements were measured through ICP-MS techniques. Samples from the sediments and rocks from the region were also collected. 18 thin sections of rock samples were prepared and 25 sediment samples were undergone ICP-MS analyzes. Petrologic studies in the area indicated the presence of ophiolite sequence. The ultramafic rocks and basic lava are widely spread in highlands south of Birjand plain which have the highest effects on the water quality of the region. Listonites are the sources of most elements such as Pb, Cu, Zn, B, As, Au, Ag, Ni, Cr, Fe, Ba, Mg, K, Ca, and Cl in the area. Enrichment factor of the sediments were calculated and indicated high enrichment of Ni, relatively high enrichment of As, Cr, and Cu, and medium enrichment of Zn, Pb, and Mg. The contamination degree of the elements in the sediment showed low contamination of most sediments in the area. The investigation on the water resources quality disclosed that more than 80% of these resources were contaminated by B and Cr and 50% by Mg. Also, concentrations of Na and Cl as well as TDS in some resources exceeded the allowable level. The highest correlations in the water resources were calculated as +0.943 between Pb and B, +0.614 between Mg and Ca, and +0.713 between Na and Cl. MI was greater than one for all water resources except one spring which is an indication of contaminated water. Since the water resources were contaminated with Cr and because of advantages of biological methods in removal of heavy metals, in this research, for the first time in the world, crushed seed of *Ziziphus ziziphus* was employed to remove Cr(VI) from the solution. The performance of crushed seed of *ziziphus ziziphus* was optimized for 5 factors including pH, time, particle size, sorbent to solution ratio, and chromium concentration in the room temperature. The results showed the high performance and strong ability of crushed seed of *ziziphus ziziphus* in the removal of chromium from the solution (95% to 100%) under the optimized conditions.

Key words: Geochemistry, contamination, water resources, chromium removal, seed of *Ziziphus ziziphus*, south of Birjand plain.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

**Geochemical investigation on the contamination of
groundwater resources in south of Birjand plain**

By:
Seyedeh Maliheh Mousavi

Under Supervision of:
Dr. Behnaz Dahrazma

Advisor:
Dr. Mohammad hosien Zarinkoub
Dr. Mohammad Reza Doosti

June
2011