

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه زمین‌شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی

عنوان

ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی در دشت طبسین (جنوب شرق نهبندان) و
بررسی زمین پزشکی منطقه

نگارنده

احمد بسکابادی

استاد راهنما

دکتر بهناز دهرآزما

اساتید مشاور

دکتر محمد شیوا

دکتر محمدحسین ابراهیم‌زاده

تیر ماه ۱۳۹۰

پیشکش به

جان جهان، مستی

و به امید

آمدنش ...

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس پروردگار یکتا را که لطف و کرم بی‌کرانش، این کمترین بنده را نیز در بر گرفت تا به وسع توان خویش گامی کوچک در گستره علم و معرفت بردارم و از خرمن دانش و تجربه بزرگان و نیک اندیشان خوشه چینی کرده باشم.

اکنون که به یاری خداوند متعال، این دوره پرخاطره از دوران تحصیلم را به پایان رسانده‌ام، هرچند واژه‌ها را یارای آن نیست که لطف، محبت و بزرگواری کسانی را که در تمام دوران زندگی‌ام جرعه نوش دریای مهر و محبتشان بوده‌ام به تصویر بکشم، اما به رسم ادب و احترام بوسه بر دستانشان زده و بر خود واجب می‌دانم زحمات تمامی اعضای خانواده‌ام، مخصوصاً پدر و مادر مهربانم، که همواره راه‌گشای مشکلاتم در تمام مراحل زندگی بوده‌اند ارج نهاده و مراتب تشکر قلبی و باطنی خویش را از الطاف و مهربانی‌های آن‌ها ابراز دارم. همچنین لازم می‌دانم که از زحمات فراوان استاد توانمندم سرکار خانم دکتر دهرآزما که با راهنمایی‌ها و نظرات ارزنده و صبر و حوصله فراوان، نقش مهمی در به ثمر رساندن این پژوهش داشته‌اند صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم، بی‌تردید انجام این پایان‌نامه بدون همکاری و راهنمایی ایشان هرگز ممکن نبود. از اساتید مشاور بزرگواریم آقایان دکتر محمد شیوا و دکتر محمدحسین ابراهیم‌زاده که با تائنی مرا در انجام این رساله یاری دادند کمال تشکر را دارم. از اساتید دوره کارشناسی ارشد، آقایان دکتر کرمی، دکتر حافظی مقدس، دکتر قاسمی و دکتر امیدوی بسیار سپاسگذارم. از کارکنان دانشگاه صنعتی شاهرود آقای مهندس خانعلی‌زاده و خانم‌ها مهندس سعیدی و مهندس فارسی بسیار ممنونم. همچنین برای دوستان بسیار خوبم که هیچگاه مرا در طول این دوره تنها نگذاشته و همواره مرا یاری کرده‌اند به خصوص آقایان گراوند، امیری شهرپور، خداداده، مسعودی، حسینی، فیضی، غزنوی، برهمند، بساکی، سلیم، عسگری، زارعی، افشاری، خواجه، رستمی، قاسم‌زاده، شمسی، جانفدا، گلی خطیر، یگانه، ثوابی، زاهدی، درویش‌پور، درستکار، آدینه‌وند و نعیمی و خانم‌ها کریمی، موسوی، حسنونند، ندایی، حیدریان و رحیمی از صمیم قلب آرزوی بهترین‌ها را دارم.

انجام این پایان نامه با حمایت مالی شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خراسان جنوبی و دانشگاه صنعتی شاهرود امکان پذیر گردید. لذا متحقیین بر خود لازم می دانند از مسئولین محترم دانشگاه

صنعتی شاهرود و مدیران و بهکاران محترم و دولوز شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خراسان جنوبی جناب آقای مهندس بسکبادی، مدیریت محترم، جناب آقای مهندس کاگر، قائم

مقام محترم، جناب آقای مهندس علی آبادی، معاونت محترم و جناب آقای مهندس نخعی، مدیریت محترم اداره آب و فاضلاب روستایی شهرستان نهبندان و دیگر بهکاران جناب آقایان

توکل، بانی مرد و روشندل و سرکار خانم مهندس اکبری، ضامن و برنی کمال شکر و قدردانی را ابراز نمایند.

چکیده

پژوهش حاضر جهت ارزیابی آلودگی منابع آب موجود در بخش جنوب شرقی دشت طبسین و بررسی زمین پزشکی منطقه صورت پذیرفته است. به این منظور ۴ نمونه سنگی و ۱۶ نمونه رسوب به روش ICP-MS آنالیز شدند. به علاوه ۱۸ نمونه آب شامل ۱۱ نمونه مربوط به چاه‌ها، ۳ نمونه مربوط به قنوات، ۳ نمونه مربوط به رودخانه و ۱ نمونه مربوط به چشمه، به منظور تعیین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و نیز تعیین عناصر فرعی به روش ICP-MS آنالیز گردیدند. از بین عناصر و فلزات سنگین آنالیز شده در نمونه‌های سنگ، رسوب و آب، عناصر Al و As ، Cr ، Cu ، Fe ، Mg ، Ni ، P ، S ، Sr ، V ، Zn ، F ، B ، Br ، Sr ، Si بر حسب اهمیت زیست‌محیطی و غلظت آن‌ها در منطقه، انتخاب شدند. مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد که سنگ‌های منطقه بیشتر از جنس سنگ‌های آذرین اولترامافیک و روانه‌های بازالتی-آندزیتی و سنگ‌های رسوبی مانند سنگ آهک، مارن، شیل و توالی‌های تبخیری هستند. نتایج تحقیقات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که غلظت برخی از عناصر مانند

آرسنیک، مس، آهن و وانادیم در نمونه رسوب سرچشمه گرفته از روانه‌های بازالتی-آندزیتی بیشتر از سایر نمونه‌های رسوب است. همچنین در نمونه‌های رسوب مشتق شده از سنگ‌های اولترامافیک، غلظت کروم، نیکل و منیزیم بسیار بیشتر از سایر نمونه‌های رسوب است، در حالی که بسیاری از عناصر در این نمونه‌های رسوب تهی‌شدگی نشان می‌دهند. به لحاظ مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده، نمونه‌های رسوب حاصل از سنگ‌های اولترامافیک، بالاترین درجه آلودگی را به خود اختصاص داده‌اند. مقادیر به دست آمده از فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور آلودگی نشان‌دهنده آلودگی نسبتاً بالای کروم و نیکل در نمونه رسوب سرچشمه گرفته از توده‌های اولترامافیک است. همچنین با استفاده از نتایج به دست آمده از ماتریس همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی، می‌توان عناصر مذکور را به سه گروه تقسیم‌بندی کرد: ۱- Cr، Ni و Mg ۲- Sr، P و F و ۳- V، Fe، Al و Zn. نتایج آزمایشات انجام شده بر روی منابع آب مشخص می‌کند که غلظت سولفات، کلر، سدیم، منیزیم، سختی کل، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی، برم و استرانسیم در نمونه‌های آب موجود در اطراف محیط دریاچه‌ای قدیمه، واقع در قسمت‌های شرقی حوضه، بالاتر از سایر منابع آب است. همچنین غلظت کروم در منابع آب موجود در نزدیکی نوار افیولیتی واقع در بخش‌های غربی حوضه بالاتر از سایر منابع آب است. پراکندگی غلظت عناصر و فلزات سنگین در منابع آب منطقه همچنین نشان می‌دهد که غلظت عناصری همچون مس، وانادیم، سیلیسیم و فلئور در قنات واقع در بالادست حوضه، که در تماس مستقیم با رسوبات مشتق شده از روانه‌های بازالتی-آندزیتی هستند، از سایر نمونه‌های آب بالاتر می‌باشد. مقایسه غلظت عناصر در منابع آب با مقادیر استاندارد مجاز اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳)، نشان داد که مقدار فلئور در کلیه منابع آب منطقه و از جمله در منبع آب شرب منطقه (Q1) بالاتر از حد مجاز است. مطالعات آماری صورت پذیرفته بر روی ساکنین منطقه در بازه سنی ۱۶-۷ سال، نشان‌دهنده بالا بودن شیوع فلورورسیس دندان‌دانی در ساکنین منطقه است به طوری که درجه فلورورسیس دندان‌دانی در حدود ۶۵٪ از افراد با سن ۱۶-۱۳ سال ۳ و بالاتر از ۳ است. مطالعات نشان دادند که شدت فلورورسیس دندان‌دانی با افزایش سن افزایش می‌یابد، ضمن آنکه در بین جنس ذکور نیز بیشتر شایع می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، ژئوشیمی، منابع آب، فلورورسیس، دشت طبسین

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

- ارزیابی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت طبسین به آرسنیک و ارتباط آن با سایر پارامترهای شیمیایی

همایش ملی آب با رویکرد آب پاک، ۱۱ و ۱۲ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

- بررسی آلودگی فلئور در قنات واقع در جنوب شرقی نهبندان

چهارمین همایش مهندسی محیط زیست، آبان ۱۳۸۹، دانشگاه تهران

- بررسی تأثیر توده‌های اولترامافیک بر آلودگی کروم در منابع آب زیرزمینی موجود در جنوب
شرق نهبندان

پنجمین همایش مهندسی محیط زیست، آبان ۱۳۹۰، دانشگاه تهران

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: کلیات
۱-۱	مقدمه ۲
۲-۱	بیان مسئله ۳
۳-۱	خصوصیات منطقه مورد مطالعه ۴
۱-۳-۱	موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه .. ۴
۲-۳-۱	اقلیم منطقه ... ۴
۳-۳-۱	پراکندگی جکعیت در دشت طبسین ۶

۷	۳-۱ ضرورت انجام پژوهش
۸	۴-۱ اهداف تحقیق
۹	۵-۱ مراحل انجام تحقیق
۱۰	۶-۱ سازمان‌بندی پایان نامه

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

۱۲	۱-۲ مقدمه ...
۱۳	۲-۲ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ...
۱۴	۱-۲-۲ زمین‌شناسی ساختاری حوضه ...
۱۴	۲-۲-۲ پراکندگی ارتفاعات و مورفولوژی منطقه
۱۶	۳-۲ سنگ‌شناسی منطقه
۱۶	۱-۳-۲ افیولیت‌ها
۱۹	۲-۳-۲ واحدهای سنگی مربوط به بعد از کرتاسه
۲۱	۴-۲ مشخصات حوضه آبریز

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

۲۴	۱-۳ مقدمه ..
۲۴	۲-۳ سنگ‌شناسی و ارتباط آن با ژئوشیمی رسوبات .
۲۴	۱-۲-۳ سنگ‌های اولترامافیک و ژئوشیمی رسوبات .
۲۶	۲-۲-۳ سنگ‌های بازیک تا حدواسط و ژئوشیمی رسوبات .
۲۶	۳-۲-۳ سنگ‌های آهکی و ژئوشیمی رسوبات ..
۲۷	۳-۳ فرایندهای ژئوشیمیایی تعیین‌کننده پویایی فلزات سنگین
۲۹	۴-۳ هیدروژئوشیمی منابع آب
۲۹	۱-۴-۳ کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محلول در آب
۳۱	۲-۴-۳ عناصر فرعی در آب
۳۲	۵-۳ زمین‌پزشکی فلئوئور
۳۳	۱-۵-۳ کانی‌های حاوی فلئوئور
۳۳	۲-۵-۳ رفتار هیدروژئوشیمیایی فلئوئور ...
۳۴	۳-۵-۳ فلئوئور و سلامت مردم
۳۶	۶-۳ مطالعات پیشین در منطقه مورد مطالعه ..

فصل چهارم: مواد و روش‌ها

۳۸	۱-۴ مقدمه
----	-----------------

۳۸	..... ۲-۴ نمونه برداری
۳۸	..... ۱-۲-۴ نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای و سنگ‌های منطقه
۳۹	..... ۲-۲-۴ نمونه برداری از منابع آب منطقه
۳۹	..... ۳-۴ آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها
۳۹	..... ۱-۳-۴ تعیین pH و EC آب
۳۹	..... ۲-۳-۴ تعیین pH رسوبات
۴۳	..... ۳-۳-۴ اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب
۴۳	..... ۴-۳-۴ تعیین غلظت فلزات سنگین و سایر عناصر مختلف در آب
۴۴	..... ۵-۳-۴ تعیین غلظت عناصر در سنگ‌ها و رسوبات

فصل پنجم: ژئوشیمی منطقه

۴۶	..... ۱-۵ مقدمه
۴۶	..... ۲-۵ پراکندگی غلظت عناصر در سنگ‌ها و رسوبات آبراهه‌ای منطقه
۴۶	..... ۱-۲-۵ آرسنیک (As)
۴۸	..... ۲-۲-۵ آلومینیم (Al)
۵۰	..... ۳-۲-۵ استرانسیم (Sr)
۵۱	..... ۴-۲-۵ آهن (Fe)
۵۲	..... ۵-۲-۵ روی (Zn)
۵۳	..... ۶-۲-۵ فسفر (P)
۵۴	..... ۷-۲-۵ فلوئور (F)
۵۵	..... ۸-۲-۵ کروم (Cr)
۵۷	..... ۹-۲-۵ مس (Cu)
۵۸	..... ۱۱-۲-۵ منیزیم (Mg)
۵۹	..... ۱۲-۲-۵ مولیبدن (Mo)
۶۰	..... ۱۳-۲-۵ نیکل (Ni)
۶۱	..... ۱۴-۲-۵ وانادیم (V)
۶۲	..... ۳-۵ همبستگی عناصر و برخی پارامترهای شیمیایی در رسوبات
۶۶	..... ۴-۵ فاکتور غنی‌شدگی (EF)
۶۹	..... ۵-۵ شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo)
۷۱	..... ۶-۵ فاکتور آلودگی (Cf) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)
۷۳	..... ۷-۵ آنالیز خوشه‌ای

۷۵	۸-۵ تحلیل مؤلفه اصلی
	فصل ششم: بررسی کیفیت منابع آب
۷۸	۱-۶ مقدمه
۷۸	۲-۶ همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و برخی عناصر در منابع آب
۸۶	۳-۶ بررسی تغییرات برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی
۸۶	۱-۳-۶ تغییرات pH
۸۷	۲-۳-۶ تغییرات کل جامدات محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC)
۸۹	۳-۳-۶ تغییرات قلیائیت کل (TA)
۹۰	۴-۳-۶ تغییرات سختی کل (TH)
۹۲	۴-۶ تغییرات غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در منابع آب
۹۲	۱-۴-۶ غلظت کلراید
۹۳	۲-۴-۶ غلظت سولفات
۹۴	۳-۴-۶ غلظت بیکربنات و کربنات
۹۶	۴-۴-۶ غلظت سدیم
۹۸	۵-۴-۶ غلظت پتاسیم
۹۹	۶-۴-۶ غلظت کلسیم
۱۰۱	۷-۴-۶ غلظت منیزیم
۱۰۲	۵-۶ تیپ و رخساره منابع آب
۱۰۶	۶-۶ شاخص اشباع‌شدگی (SI) کانی‌های اصلی در منابع آب
۱۰۷	۷-۶ تغییرات غلظت برخی از عناصر در منابع آب
۱۰۷	۱-۷-۶ آلومینیم (Al)
۱۱۰	۲-۷-۶ آرسنیک (As)
۱۱۲	۳-۷-۶ بور (B)
۱۱۴	۴-۷-۶ برم (Br)
۱۱۶	۵-۷-۶ کروم (Cr)
۱۱۸	۶-۷-۶ مس (Cu)
۱۲۰	۷-۷-۶ آهن (Fe)
۱۲۲	۸-۷-۶ وانادیم (V)
۱۲۴	۹-۷-۶ مولیبدن (Mo)
۱۲۵	۱۰-۷-۶ سیلیسیم (Si)

۱۲۷	..... ۱۱-۷-۶ روی (Zn)
۱۲۹	..... ۱۲-۷-۶ استرانسیم (Sr)
۱۳۱	..... ۱۳-۷-۶ فلئور (F) ..
۱۳۳	..... ۸-۶ منشأیابی برخی عناصر محلول در آب با استفاده از روش تعادل جرمی
۱۴۰	..... ۹-۶ آزمون فیشر بر روی نمونه‌های رسوب و آب منطقه ...

فصل هفتم: زمین‌پزشکی منطقه

۱۴۴	..... ۱-۷ مقدمه ..
۱۴۴	..... ۲-۷ مقایسه مقادیر فلئور در منابع آب با استانداردهای تعیین شده ...
۱۴۶	..... ۳-۷ منشأ فلئور در آب
۱۴۸	..... ۴-۷ تأثیرات سوء مصرف بیش از اندازه فلئور در ساکنین منطقه

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۵۶	..... ۱-۸ مقدمه
۱۵۷	..... ۲-۸ غلظت عناصر در رسوبات و سنگ‌ها
۱۵۸	..... ۳-۸ غلظت عناصر و تیپ و رخساره در منابع آب ..
۱۶۱	..... ۴-۸ آزمون فیشر بر روی نمونه‌های رسوب و آب منطقه
۱۶۰	..... ۵-۸ زمین‌پزشکی و سلامت مردم منطقه ..
۱۶۲	..... ۶-۸ پیشنهادات .
۱۶۳	..... پیوست
۱۶۴	..... منابع

فهرست شکل‌ها

۱۲	..... شکل ۱-۲ پهنه بندی حوضه‌های رسوبی ایران
۱۳	..... شکل ۲-۲ موقعیت زون فلیشی شرق ایران در بین گسل‌های هریرود و نهبندان
۱۵	..... شکل ۳-۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه
۱۶	..... شکل ۴-۲ نمایی کلی از نوار اولترامافیکی واقع در غرب منطقه (دید به غرب)
۱۷	..... شکل ۵-۲ پدیدتیت‌های سرپانتینیته شده با ابفت غربالی (۱۲/۵×) ۱- نور پلاریزه، ۲- نور معمولی
۱۷	..... شکل ۶-۲ گابروهای موجود در مجموعه افیولیتی (۱۲/۵×) ۱- نور پلاریزه، ۲- نور عادی
۱۸	..... شکل ۷-۲ بازالت‌های موجود در افیولیت‌ها با بافت پروپیلیتیک (۱۲/۵×)

- شکل ۲-۸ بازالت‌های حفره‌دار (۱۲/۵×) ۱۸
- شکل ۲-۹ توف‌های بازیک (۱۲/۵×) ۱۸
- شکل ۲-۱۰ توف‌های بازیک در کنار روانه‌های بازالتی-آندزیتی واقع در شمال حوضه (دید به سمت غرب) ۱۹
- شکل ۲-۱۱ سنگ آهک و تخریبی‌ها بر روی توده‌های اولترامافیک (دید به سمت شمال شرق) ۱۹
- شکل ۲-۱۲ آهک ریفی (دید به جنوب شرق) ۲۰
- شکل ۲-۱۳ آهک‌های نومولیتی (۱۲/۵×) ۲۰
- شکل ۲-۱۴ سنگ آهک‌های پالئوسن (Pepu) واقع در جنوبی‌ترین بخش حوضه (دید به سمت غرب) ۲۱
- شکل ۲-۱۵ نقشه آبراهه‌های موجود در منطقه ۲۲
- شکل ۳-۱ تأثیر pH و Eh بر انحلال‌پذیری فلزات سنگین ۲۸
- نقشه ۴-۱ موقعیت مکانی نمونه‌های آب، سنگ و رسوب ۴۰
- شکل ۵-۱ پراکندگی غلظت آرسنیک در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۴۸
- شکل ۵-۲ پراکندگی غلظت آلومینیم در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۴۹
- شکل ۵-۳ پراکندگی غلظت استرانسیم در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۰
- شکل ۵-۴ پراکندگی غلظت آهن در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۱
- شکل ۵-۵ پراکندگی غلظت روی در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۳
- شکل ۵-۶ پراکندگی غلظت فسفر در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۴
- شکل ۵-۷ پراکندگی غلظت فلئوئور در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۵
- شکل ۵-۸ پراکندگی غلظت کروم در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۶
- شکل ۵-۹ پراکندگی غلظت گوگرد در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۷
- شکل ۵-۱۰ پراکندگی غلظت مس در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۸
- شکل ۵-۱۱ پراکندگی غلظت منیزیم در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۵۹
- شکل ۵-۱۲ پراکندگی غلظت مولیبدن در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۶۰
- شکل ۵-۱۳ پراکندگی غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۶۱
- شکل ۵-۱۴ پراکندگی غلظت وانادیم در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه ۶۲
- شکل ۵-۱۵ حداکثر (max)، حداقل (min) و میانگین (mean) فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر مختلف ۶۸
- شکل ۵-۱۶ میزان شاخص زمین‌انباشتگی در رسوبات ۷۰
- شکل ۵-۱۷ مقادیر میانگین فاکتور آلودگی برای نمونه‌های رسوب ۷۲
- شکل ۵-۱۸ مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب ۷۳
- شکل ۵-۱۹ نمودار آنالیز خوشه‌ای عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه ۷۵
- شکل ۵-۲۰ نمودار سه‌بعدی PCA برای عناصر مورد مطالعه در رسوبات ۷۶

شکل ۱-۶	تغییرات pH در منابع آب منطقه	۸۶
شکل ۲-۶	تغییرات میزان TDS در منابع آب	۸۸
شکل ۳-۶	تغییرات EC در منابع آب	۸۹
شکل ۴-۶	تغییرات قلیابیت کل (TA) در منابع آب منطقه	۹۰
شکل ۵-۶	تغییرات سختی کل (TH) در منابع آب منطقه	۹۱
شکل ۶-۶	تغییرات غلظت کلر در منابع آب منطقه	۹۳
شکل ۷-۶	تغییرات غلظت سولفات در منابع آب منطقه	۹۴
شکل ۸-۶	تغییرات غلظت بیکربنات در منابع آب منطقه	۹۵
شکل ۹-۶	تغییرات غلظت سدیم در منابع آب منطقه	۹۷
شکل ۱۰-۶	تغییرات غلظت پتاسیم در منابع آب منطقه	۹۹
شکل ۱۱-۶	تغییرات غلظت کلسیم در منابع آب منطقه	۱۰۰
شکل ۱۲-۶	تغییرات غلظت منیزیم در منابع آب منطقه	۱۰۲
شکل ۱۳-۶	نمودار پاییر منابع آب	۱۰۵
شکل ۱۴-۶	نمودار استیف منابع آب	۱۰۶
شکل ۱۵-۶	شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های اصلی در نمونه‌های آب	۱۰۷
شکل ۱۶-۶	پراکندگی غلظت آلومینیم در منابع آب	۱۰۹
شکل ۱۷-۶	نمودار Eh-pH مربوط به آلومینیم	۱۰۹
شکل ۱۸-۶	شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی آلومینیم در منابع آب	۱۰۹
شکل ۱۹-۶	پراکندگی غلظت آرسنیک در منابع آب	۱۱۱
شکل ۲۰-۶	نمودار Eh-pH مربوط به آرسنیک	۱۱۱
شکل ۲۱-۶	شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی آرسنیک در منابع آب	۱۱۱
شکل ۲۲-۶	پراکندگی غلظت بور در منابع آب	۱۱۳
شکل ۲۳-۶	نمودار Eh-pH مربوط به بور	۱۱۳
شکل ۲۴-۶	شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی بور در منابع آب	۱۱۳
شکل ۲۵-۶	پراکندگی غلظت برم در منابع آب	۱۱۵
شکل ۲۶-۶	نمودار Eh-pH مربوط به برم	۱۱۵
شکل ۲۷-۶	شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی برم در منابع آب	۱۱۵
شکل ۲۸-۶	پراکندگی غلظت کروم در منابع آب	۱۱۷
شکل ۲۹-۶	نمودار Eh-pH مربوط به کروم	۱۱۷
شکل ۳۰-۶	شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی کروم در منابع آب	۱۱۷

- شکل ۳۱-۶ پراکندگی غلظت مس در منابع آب ۱۱۹
- شکل ۳۲-۶ نمودار Eh-pH مربوط به مس ۱۱۹
- شکل ۳۳-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی مس در منابع آب ۱۱۹
- شکل ۳۴-۶ پراکندگی غلظت آهن در منابع آب ۱۲۱
- شکل ۳۵-۶ نمودار Eh-pH مربوط به آهن ۱۲۱
- شکل ۳۶-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی آهن در منابع آب ۱۲۱
- شکل ۳۷-۶ پراکندگی غلظت وانادیم در منابع آب ۱۲۳
- شکل ۳۸-۶ نمودار Eh-pH مربوط به وانادیم ۱۲۳
- شکل ۳۹-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی وانادیم در منابع آب ۱۲۳
- شکل ۴۰-۶ پراکندگی غلظت مولیبدن در منابع آب ۱۲۴
- شکل ۴۱-۶ نمودار Eh-pH مربوط به مولیبدن ۱۲۵
- شکل ۴۲-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی مولیبدن در منابع آب ۱۲۵
- شکل ۴۳-۶ پراکندگی غلظت سیلیسیم در منابع آب ۱۲۶
- شکل ۴۴-۶ نمودار Eh-pH مربوط به سیلیسیم ۱۲۷
- شکل ۴۵-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی سیلیسیم در منابع آب ۱۲۷
- شکل ۴۶-۶ پراکندگی غلظت روی در منابع آب ۱۲۸
- شکل ۴۷-۶ نمودار Eh-pH مربوط به روی ۱۲۹
- شکل ۴۸-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی روی در منابع آب ۱۲۹
- شکل ۴۹-۶ پراکندگی غلظت استرانسیم در منابع آب ۱۳۰
- شکل ۵۰-۶ نمودار Eh-pH مربوط به استرانسیم ۱۳۱
- شکل ۵۱-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی استرانسیم در منابع آب ۱۳۱
- شکل ۵۲-۶ پراکندگی غلظت فلئوئور در منابع آب ۱۳۲
- شکل ۵۳-۶ نمودار Eh-pH مربوط به فلئوئور ۱۳۳
- شکل ۵۴-۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی فلئوئور در منابع آب ۱۳۳
- شکل ۱-۷ مقایسه تغییرات غلظت فلئوئور با برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب ۱۴۷
- شکل ۲-۷ متوسط غلظت فلئوئور در منابع آب به تفکیک قنوات، چاه‌ها، رودخانه و چشمه ۱۴۸
- شکل ۳-۷ نمونه‌هایی از فلوروسیس دندان‌ها با شدت‌های مختلف در مردم منطقه ۱۵۱
- شکل ۴-۷ درصد فراوانی نسبی فلوروسیس به تفکیک جنسیت ۱۵۲
- شکل ۵-۷ نمودار درصد شیوع فلوروسیس به تفکیک سن ۱۵۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱	جمعیت روستاهای موجود در منطقه	۷
جدول ۱-۳	عناصر کمیاب در کانی‌های معمول موجود در پوسته زمین	۲۵
جدول ۲-۳	تأثیر شرایط محیطی بر تحرک پذیری عناصر	۲۸
جدول ۳-۳	غلظت متوسط آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی محلول در آب	۳۰
جدول ۴-۳	غلظت برخی عناصر در محیط‌های مختلف	۳۲
جدول ۵-۳	تأثیر غلظت‌های مختلف فلوئور بر سلامتی	۳۶
جدول ۱-۴	موقعیت مکانی نمونه‌های سنگ و رسوب	۴۱
جدول ۲-۴	محل‌های نمونه‌برداری از منابع آب	۴۲

- جدول ۱-۵ مقادیر pH و غلظت عناصر در رسوبات و سنگ‌های منطقه بر حسب ppm ۴۷
- جدول ۲-۵ ماتریس همبستگی عناصر مختلف و pH در رسوبات منطقه ۶۴
- جدول ۳-۵ مقایسه میانگین غلظت عناصر در پوسته، شیل و رسوبات منطقه ۶۷
- جدول ۴-۵ طبقه‌بندی شدت فاکتور غنی‌شدگی ۶۷
- جدول ۵-۵ میزان فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب ۶۸
- جدول ۶-۵ طبقه‌بندی مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در تعیین آلودگی رسوبات ۷۰
- جدول ۸-۵ طبقه‌بندی آلودگی رسوبات بر اساس فاکتور آلودگی ۷۱
- جدول ۹-۵ طبقه‌بندی آلودگی رسوبات بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده ۷۱
- جدول ۱۰-۵ مقادیر فاکتور آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب ۷۲
- جدول ۱۱-۵ نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی ۷۶
- جدول ۱-۶ برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اصلی در نمونه‌های آب ۷۹
- جدول ۲-۶ غلظت برخی از فلزات سنگین و عناصر در منابع آب ۸۱
- جدول ۴-۶ طبقه‌بندی مقادیر سختی ۹۰
- جدول ۵-۶ تیپ و رخساره و توالی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در منابع آب ۱۰۴
- جدول ۶-۶ مقادیر بحرانی در روش تعادل جرمی ۱۳۵
- جدول ۷-۶ تعیین منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های آب به روش تعادل جرمی ۱۳۶
- جدول ۸-۶ مقادیر وارینانس نرمال شده برخی عناصر موجود در آب و رسوبات به همراه مقادیر مربوط به آزمون فیشر .. ۱۴۲
- جدول ۱-۷ غلظت فلوتور در برخی از مواد غذایی ۱۴۴
- جدول ۲-۷ حدود مجاز فلوتور در آب آشامیدنی (استاندارد ۱۰۵۳ ایران) ۱۴۵
- جدول ۳-۷ مقایسه مقادیر فلوتور در منابع آب منطقه با استانداردهای مختلف ۱۴۶
- جدول ۴-۷ نمونه‌ای از پرسشنامه تکمیل شده توسط دانش‌آموزان منطقه ۱۴۹
- جدول ۵-۷ شیوع فلوروسیس دندانی در دانش‌آموزان ۱۶-۷ ساله منطقه به تفکیک جنسیت ۱۵۲
- جدول ۶-۷ شیوع فلوروسیس دندانی در دانش‌آموزان ۱۶-۷ ساله منطقه به تفکیک سن ۱۵۲
- جدول ۷-۷ میزان FCI در سنین مختلف ۱۵۴

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

کره زمین به عنوان تنها سیاره شناخته شده دارای موجودات زنده است. زیستن این همه مخلوق خداوند در کنار یکدیگر را تنها می‌توان در آب جستجو کرد " و از آب همه چیز زنده گشتند" (قرآن کریم). پس از آفرینش اولین باکتری‌ها، موجودات زنده شروع به تکامل کردند تا اینکه خداوند انسان را آفرید؛ "انسان را در بهترین زمان خلق کردیم" (قرآن کریم). از زمان پانهادن انسان بر روی زمین، این سیاره آستان حوادث تلخ و شیرین بسیاری برای انسان بوده است. زمین از یک طرف با دارا بودن منابع بسیار زیاد غذایی و معدنی نیاز انسان را برآورده می‌کند و از طرف دیگر حوادث ناگواری مانند سیل، زلزله، آتشفشان و ... را به همراه داشته است. یکی از پدیده‌های طبیعی، تحت تأثیر قرار گرفتن کیفیت منابع آب توسط فرایندهای زمین‌شناسی مانند انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها و یا تداخل آب‌های هیدروترمال با منابع آب شرب توسط گسل‌ها و در نتیجه کاهش کیفیت آب است.

اهمیت استفاده از منابع آب سالم باعث شد تا سازمانی با عنوان سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization) در سال ۱۹۸۳، برای بسیاری از پارامترهای فیزیکیوشیمیایی حد آلاینده‌گی تعیین کند. از آن به بعد شناسایی منابع آب آلوده به عناصر مختلف مانند آرسنیک، فلئور، بور، مس، سرب، روی و ... و نیز تعیین منشأ این آلودگی‌ها موضوع بحث بسیاری از مجامع علمی گردید. کشور ما هم از این قاعده مستثنی نبوده و با تأخیر نسبت به کشورهای توسعه یافته شروع به این کار نمود. منشأ اغلب قریب به اتفاق آلودگی‌های طبیعی موجود در منابع آب، کانه‌زایی در مناطق بالادست منابع آب آلوده است. بنابراین پی بردن به چگونگی واکنش میان آب، خاک و سنگ نخستین و اصلی‌ترین گام در شناسایی منبع یا منابع آلاینده آب است.

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، بخش جنوب شرقی دشت طبسین واقع در ۶۰ کیلومتری جنوب شرق نهبندان را شامل می‌شود. با توجه به ضرورت داشتن آب سالم برای مصارف شرب و آشامیدنی و به

دلیل کم بودن نزولات جوی در منطقه، یافتن یک منبع آب مناسب برای مصارف شرب و بهداشتی امری ضروری و البته مشکل است. از طرف دیگر ساختار زمین‌شناسی متنوع در منطقه مورد مطالعه یکی از دلایلی است که باعث ورود انواع ترکیبات مختلف و متنوع به داخل آب می‌گردد. این پژوهش با هدف بررسی میزان غلظت و توزیع عناصر در سنگ‌ها، رسوبات و منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه، تعیین میزان ارتباط غلظت عناصر موجود در رسوبات و خصوصیات ژئوشیمیایی منطقه با کیفیت منابع آب و بررسی تأثیر کیفیت آب بر سلامت مردم منطقه پایه‌گذاری گردیده است. این فصل به معرفی منطقه مورد مطالعه، مرور برخی از ویژگی‌های کلی آن، بیان مسئله، ضرورت انجام تحقیق و اهداف آن اختصاص یافته است.

۲-۱ بیان مسئله

دشت طبسین با وسعت حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع از بزرگترین دشت‌های استان خراسان جنوبی است و در جنوب شرقی شهرستان نهبندان واقع است. منطقه مطالعاتی در این پژوهش، بخش جنوب شرقی این دشت می‌باشد. نکته قابل توجه در مورد هیدروژئولوژی این دشت این است که آب از بخش‌های شمالی، غربی و شرقی حوضه به صورت متمرکز از تنگه بندان واقع در جنوبی‌ترین نقطه حوضه خارج می‌شود و رودخانه بندان را می‌سازد. علاوه بر این، رواناب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در برخی ارتفاعات جنوب شرقی و شرق حوضه به یک محیط دریاچه‌ای قدیمه واقع در جنوب شرقی حوضه می‌ریزند. به استثناء رودخانه بندان، سایر منابع آب سطحی حوضه به صورت فصلی بوده و منبع قابل اتکایی برای مصارف کشاورزی و شرب به حساب نمی‌آیند و بیشتر مصارف کشاورزی و شرب از آب زیرزمینی است. به دلیل حرکت آب از شمال به جنوب حوضه و قرار داشتن ارتفاعات جنوبی حوضه به عنوان یک سد زیرزمینی طبیعی در مقابل جریان‌ات آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی به سمت قسمت‌های جنوبی‌تر حوضه کم عمق‌تر بوده و اغلب منابع آب زیرزمینی در حال استفاده در این بخش از حوضه قرار دارند و از این میان

تعداد قابل توجهی از چاه‌ها در اطراف محیط دریاچه‌ای قدیمه که به آن اشاره شد مستقر شده‌اند. تنها منبع آبی واقع در بخش‌های شمالی حوضه، قناتی متعلق به شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خراسان جنوبی می‌باشد که به منظور استفاده شرب مردم منطقه استفاده می‌گردد. دلیل انتخاب بخش جنوبی از دشت به عنوان منطقه مطالعاتی، تمرکز بیشتر منابع آب در این بخش و در نتیجه تراکم جمعیت بیشتر این قسمت، تنوع ساختارهای زمین‌شناسی بیشتر و شیوع بیماری‌های مرتبط با آلودگی آب در این بخش، بوده است.

لذا در پژوهش حاضر به بررسی ژئوشیمیایی سنگ‌ها و رسوبات و چگونگی واکنش آن‌ها با منابع آب، تعیین ارتباط زمین‌شناسی با کیفیت آب منطقه و در نهایت زمین پزشکی منطقه پرداخته شده است.

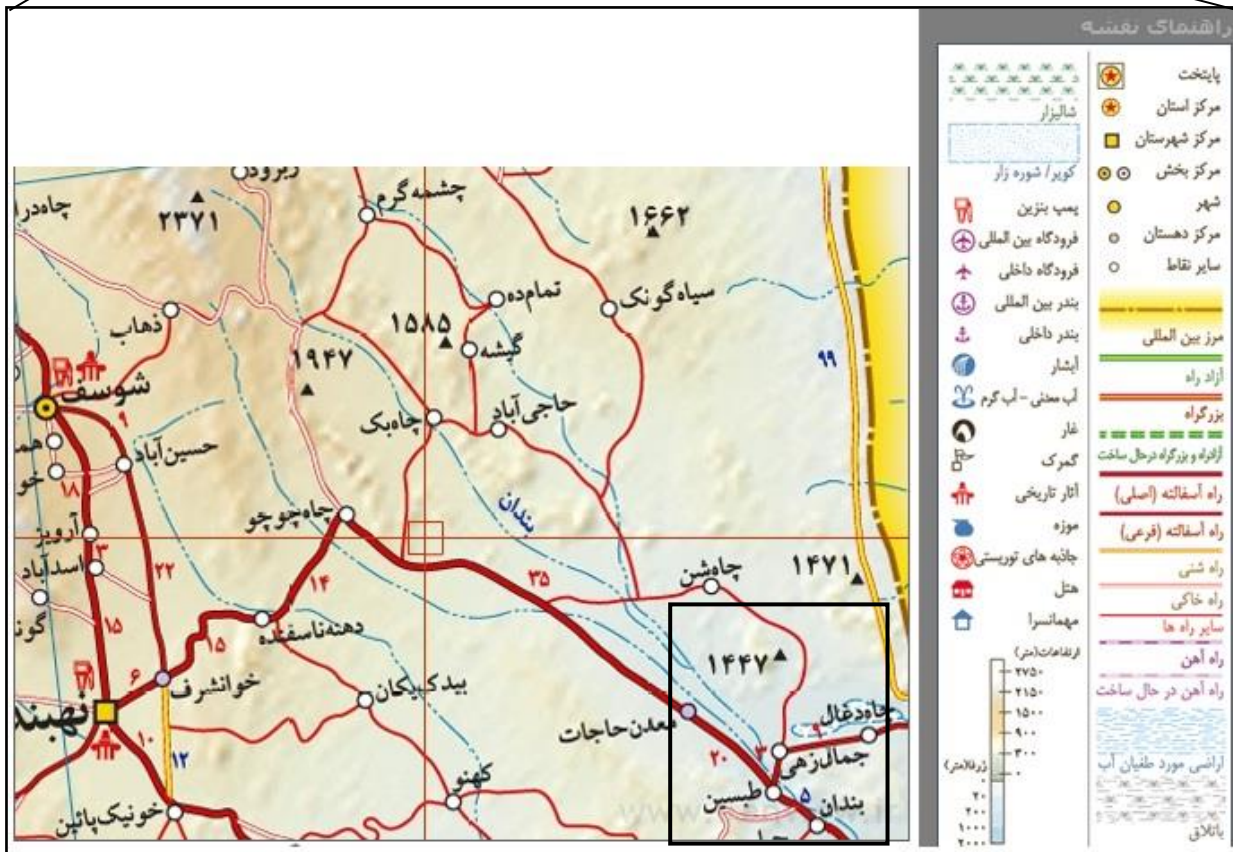
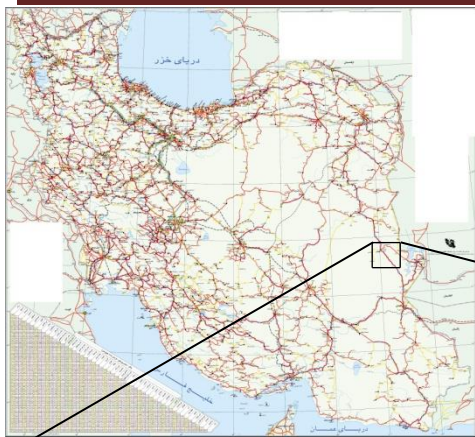
۳-۱ خصوصیات منطقه مورد مطالعه

۱-۳-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۷۵ کیلومتری شهرستان نهبندان، در طول جغرافیایی بین $30^{\circ} 00' 30''$ و $30^{\circ} 30' 30''$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 45' 00''$ و $31^{\circ} 21' 00''$ شمالی امتداد دارد. مساحت منطقه حدود ۹۵۰ کیلومتر مربع است که در بخش جنوب شرقی دشت طبسین واقع می‌باشد. دسترسی به منطقه از طریق جاده اصلی نهبندان-زابل است (شکل ۱-۱).

۲-۳-۱ اقلیم منطقه

آب و هوای غالب منطقه مورد مطالعه، خشک و بیابانی است و مهمترین توده‌های هوای موثر بر این منطقه عبارتند از:



شکل ۱-۱ موقعیت منطقه و راه‌های دسترسی به آن

- توده هوای سرد و قطبی: از اواخر فصل پاییز شهرستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب انتقال هوای سرد سیبری به منطقه می‌گردد. برخورد توده‌های مذکور با توده مدیترانه‌ای غالباً ریزش‌های جوی را باعث می‌شود.

- توده هوای مرطوب غربی و جنوب غربی: در زمستان و اواخر بهار به منطقه شرق کشور نفوذ کرده و نقش عمده‌ای را در ایجاد بارندگی های منطقه دارد.

- توده‌های هوای جنوب شرقی (موسمی): که از اقیانوس هند سرچشمه گرفته و از سمت جنوب شرق بر منطقه تأثیر می‌گذارد. این توده هوا در فصل تابستان رگبارهای پراکنده را به وجود می‌آورد.

نکته قابل توجه دیگر اقلیمی در منطقه وزش بادهای گرم و خشک جنوبی و نیز بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که غالباً با وقوع توفان شن و گرد و خاک همراه می‌گردد. عوامل دیگری مانند عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، مجاورت با کویر لوت، دوری از منابع رطوبتی و نیز جهت و امتداد کوه‌ها بر شرایط جوی منطقه تأثیرگذار است.

به دلیل نبود ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه و نیز قرار داشتن این منطقه بین نهبندان و زابل، داده‌های مربوط به دما و بارش منطقه از طریق میانگین‌گیری ساده و رابطه ارتفاع- بارش بین داده‌های آمار ایستگاه‌های سینوپتیک نهبندان و زابل به دست آمده است. میانگین دمای سالیانه ۲۲/۱ درجه سانتیگراد و میانگین بارش سالانه ۹۸/۲ میلیمتر می‌باشد.

طبق رابطه دمارتن، ضریب خشکی منطقه ۳/۰۶ بوده که بر اساس نمودار اقلیمی، نوع اقلیم منطقه مطالعاتی خشک می‌باشد. با توجه به مقایسه نمودار تغییرات دما و بارش، پایان فصول کم‌آبی و پرآبی به ترتیب اواخر آبان و اواسط اردیبهشت است.

۱-۳-۳ پراکندگی جمعیت در دشت طبسین

به دلیل واقع بودن بیشتر منابع آبی، اعم از زیرزمینی و سطحی، در بخش‌های جنوبی دشت، تراکم جمعیت در این مناطق بیشتر است، به طوری که طبق سرشماری سال ۱۳۸۵ روستاهای پر جمعیت مانند طبسین بالا، طبسین پایین، بندان و چاه‌شند به ترتیب با جمعیت‌های ۱۰۴۴، ۹۲۵، ۹۴۶ و ۸۰۴ نفر در بخش‌های جنوبی دشت متمرکزند (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱ جمعیت روستاهای موجود در منطقه (اداره آمار ایران، ۱۳۸۵)

نام روستا	تعداد خانوار	جمعیت
تلمبه نصرت	۸	۳۷
چاه حمزه	۸	۵۰
چاه دغال /حسین ده هرده	۶۷	۳۰۰
سه پود	۱۹	۸۱
علی اباد چاه شنند	۱۵۱	۸۰۴
بندان	۲۲۲	۹۴۶
طبسین بالا	۱۸۳	۱,۰۴۴
طبسین پائین	۱۷۱	۹۲۵
چاه موتورحاجی عباس اردنی	۱۴۸	۶۸۲
مجموع	۹۷۷	۴,۸۶۹

۴-۱ ضرورت انجام پژوهش

بررسی کیفیت و ارزیابی میزان آلودگی در منابع آب زیرزمینی در دشت‌ها و بررسی تأثیر ارتفاعات منطقه بر کیفیت آب دشت از جمله تحقیقات مهم در سطح جهانی می‌باشد. بررسی‌های اولیه در ارتباط با کیفیت آب شرب در منطقه توسط اداره آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی در سال ۱۳۸۶ انجام پذیرفت که نتایج آن حضور $1/5\text{ppm}$ فلئور را در آب آشامیدنی مردم منطقه معلوم می‌سازد. همچنین بازدیدهای صحرائی از منطقه و ساکنان موجود در آن، وجود بیماری‌های دندان را معلوم می‌سازد. با توجه به جمعیت ساکن در بخش‌های جنوبی دشت طبسین و با عنایت به اینکه تاکنون هیچ گونه مطالعه و بررسی جامعی در مورد ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی در دشت طبسین و تعیین ارتباط کیفیت آب با زمین‌شناسی و ژئوشیمی منطقه و نیز بررسی‌های زمین پزشکی صورت نگرفته است، انجام این تحقیق ضروری و لازم به نظر می‌رسد.

۱-۵ اهداف تحقیق

هدف کلی این تحقیق بررسی و ارزیابی کیفیت منابع آب و تعیین میزان آلودگی فیزیکوشیمیایی در منابع آب زیرزمینی در جنوب شرقی دشت طبسین و نیز تأثیر آن بر سلامت مردم منطقه، انجام مطالعات زمین‌شناسی و بررسی ارتباط شرایط زمین‌شناسی با کیفیت آب منطقه است. علاوه بر این هدف کلی، اهداف جزئی به تفکیک عبارتند از:

۱- بررسی سنگ‌شناسی منطقه با استفاده از تعیین غلظت عناصر در نمونه‌های سنگی و تهیه مقاطع

میکروسکوپی

۲- تهیه نقشه پراکنش عناصر و پارامترهای مختلف در منابع آب حوضه بر روی نقشه زمین‌شناسی

منطقه

۳- تهیه میزان تمرکز و پراکنش عناصر مختلف در رسوبات و سنگ‌های موجود در ارتفاعات بر روی نقشه

زمین‌شناسی منطقه

۴- بررسی دقیق کیفیت منابع آب زیرزمینی در منطقه از طریق اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی و

غلظت فلزات سنگین

۵- مقایسه نتایج حاصله از آنالیزهای فیزیکوشیمیایی با مقادیر استانداردهای جهانی و بین‌المللی و

تعیین نحوه توزیع آلودگی در منطقه مورد مطالعه

۶- تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌شناسی و منابع آب منطقه و

برقراری ارتباط میان کیفیت منابع آب با ژئوشیمی و سنگ‌شناسی منطقه

۷- تأثیر آلاینده‌های فیزیکوشیمیایی موجود در منابع آب بر سلامت مردم منطقه و بررسی زمین‌پزشکی

منطقه

۱-۶ مراحل انجام تحقیق

انجام این تحقیق در پنج مرحله صورت پذیرفته است:

۱- جمع آوری اطلاعات:

- جمع آوری اطلاعات شامل مطالعات پیشین انجام شده در منطقه

- بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بندان و شمال بندان و ۱:۲۵۰۰۰۰۰ زابل و نیز نقشه

توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ زابل

۲- نمونه گیری از آب، سنگ و رسوب

پس از بررسی‌های اولیه بر روی نقشه‌های منطقه و نیز تعیین مناطق نمونه برداری، به منظور نیل به اهداف پژوهش، شناسایی رابطه و واکنش‌های انجام شده بین آب و رسوبات، در انتهای فصل تر (اردیبهشت ماه) از منابع آب منطقه نمونه‌برداری صورت پذیرفت. در همین زمان با توجه به موقعیت ارتفاعات نسبت به منابع آبی، از رسوبات بالادست منابع آبی نیز نمونه‌برداری انجام شد. همچنین با عنایت به تنوع سنگ‌های منطقه و رسوبات برداشت شده از سنگ‌های عامل ایجاد رسوبات نمونه‌برداری صورت پذیرفت.

۳- انجام آنالیزهای فیزیکوشیمیایی

پس از اندازه گیری pH و EC نمونه‌های آب در محل، نمونه‌های جمع آوری شده به منظور آنالیز آنیون و کاتیون به آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خراسان جنوبی ارسال گردیدند. علاوه بر این، نمونه‌های آب، رسوبات و سنگ برای آنالیز ICP-MS و تعیین میزان فلئور به آزمایشگاه‌های Labwest در استرالیا و ACME در کانادا ارسال گردیدند.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از آنالیزها

با مطالعه مقالات و کتاب‌های مرتبط با موضوع این تحقیق و پس از رسم نمودارهای مرتبط، نتایج آنالیزها مورد بررسی و تفسیر قرار گرفتند. این مهم با استفاده از نرم افزارهای Chemistry Rockwork، AqQa، Globalmapper، WATEVAL، PHREEQC و SPSS صورت پذیرفت.

۵- بررسی زمین پزشکی منطقه

جهت بررسی تأثیر آلاینده‌های فیزیکوشیمیایی در منابع آب منطقه بر سلامت مردم، در مهر ۱۳۸۹ میزان شیوع بیماری فلوروسیس حاصل از آلودگی فلوتور در کودکان و نوجوانان ۷ تا ۱۶ ساله با استفاده از تهیه فرم‌های اطلاعاتی، تهیه عکس دندان‌های افراد و ترسیم نمودارها و گراف‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۷ سازمان بندی پایان نامه

نتایج این پژوهش در ۸ فصل سازمان بندی گردیده که به ترتیب ذیل می‌باشند:

فصل اول: کلیات

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

فصل سوم: مروری بر مطالعات پیشین

فصل چهارم: مواد و روش‌ها

فصل پنجم: ژئوشیمی منطقه

فصل ششم: بررسی کیفیت منابع آب

فصل هفتم: زمین پزشکی منطقه

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فصل دوم

زمین شناسی منطقه

۱-۲ مقدمه

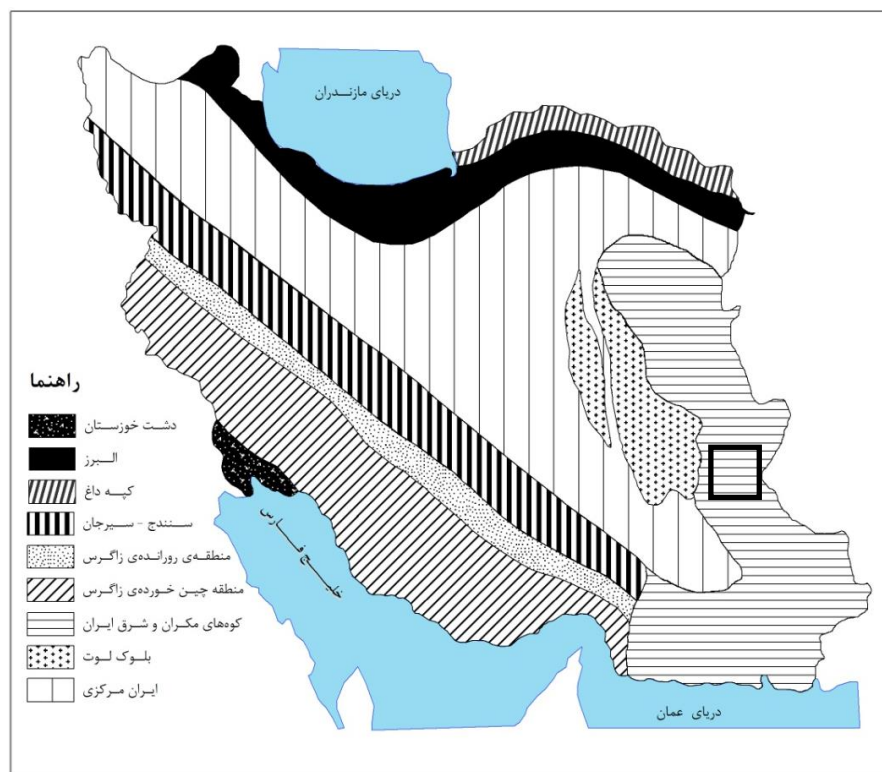
منطقه مورد نظر در شرق بلوک لوت و در زیر پهنه آهنگران-بندان (زون فلیشی شرق ایران) قرار دارد (شکل ۱-۲ و ۲-۲). قسمت غربی منطقه محل اتصال بلوک لوت و زون فلیشی شرق ایران تحت عنوان زون نهبندان-خاش است (درویش‌زاده، ۱۳۸۰).

در این فصل ابتدا زمین‌شناسی زون فلیشی ایران و زیرپهنه آهنگران-بندان معرفی گردیده است. سپس زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه به همراه عکس‌هایی از منطقه و مقاطع نازک تهیه شده از سنگ‌ها بحث و بررسی گردیده و در انتها در مورد خواص هیدروژئولوژی دشت طبسین به اختصار

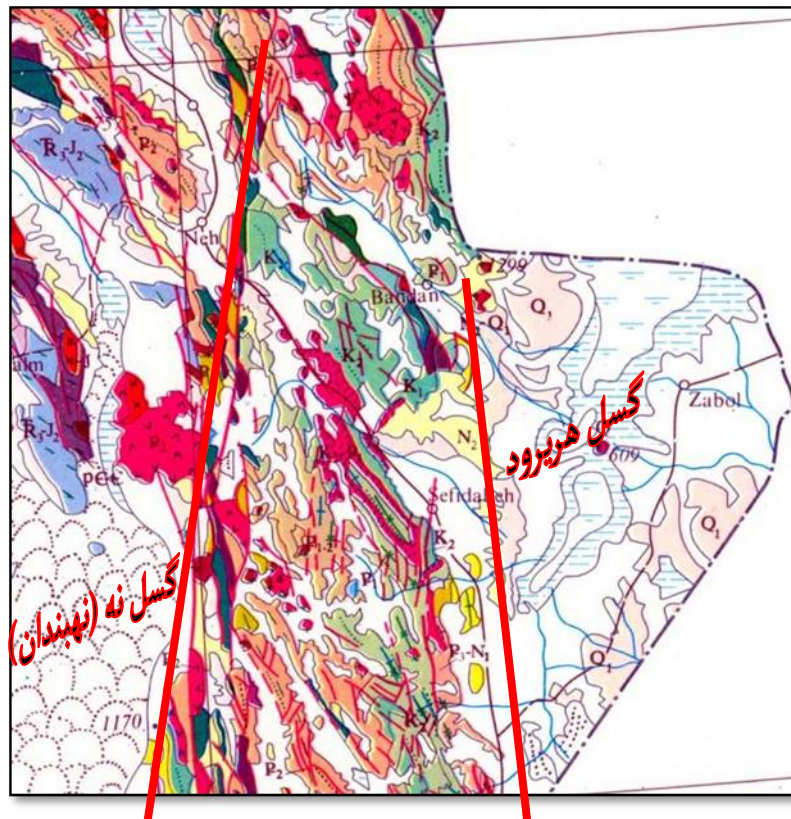
آورده

توضیحاتی

شده است.



شکل ۱-۲ پهنه‌بندی حوضه‌های رسوبی ایران (اشتوکلین ۱۹۷۲)



شکل ۲-۲ موقعیت زون فلیشی شرق ایران در بین گسل‌های هریرود و نه‌بندان (آقنابتی ۱۳۸۳)

۲-۲ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

همان‌گونه که در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲-۳) مشاهده می‌شود، منطقه مورد مطالعه به لحاظ سنگ‌شناسی از دو واحد عمده افیولیتی (cm) و سنگ‌های آذرین و واحدهای رسوبی تشکیل شده است. واحدهای افیولیتی اغلب به علت گسل خوردگی شدید و به هم ریختگی واحدها دچار تجزیه شده‌اند. به طور مثال بسیاری از واحدهای گابرویی و پریدوتیتی، سرپانتینیتی شده‌اند. این واحدها قدیمی‌ترین واحدها را در منطقه تشکیل می‌دهند و مربوط به سیمبرین می‌باشند. غالب این واحدها در غرب و جنوب غرب حوضه رخنمون دارند. علاوه بر این قسمت، این واحدها در شرق و شمال شرق نیز به صورت پراکنده‌تر وجود دارند. روانه‌های بازالتی- آندزیتی (Kua) مربوط به کرتاسه در شمال حوضه و کمی هم در

مرکز حوضه دیده می‌شوند. بر روی واحدهای افیولیتی، رسوبات پلاژیک مانند گل سنگ، سنگ آهک اوربیتولین دار و گل چرتی و رادیولاریت قرار دارند.

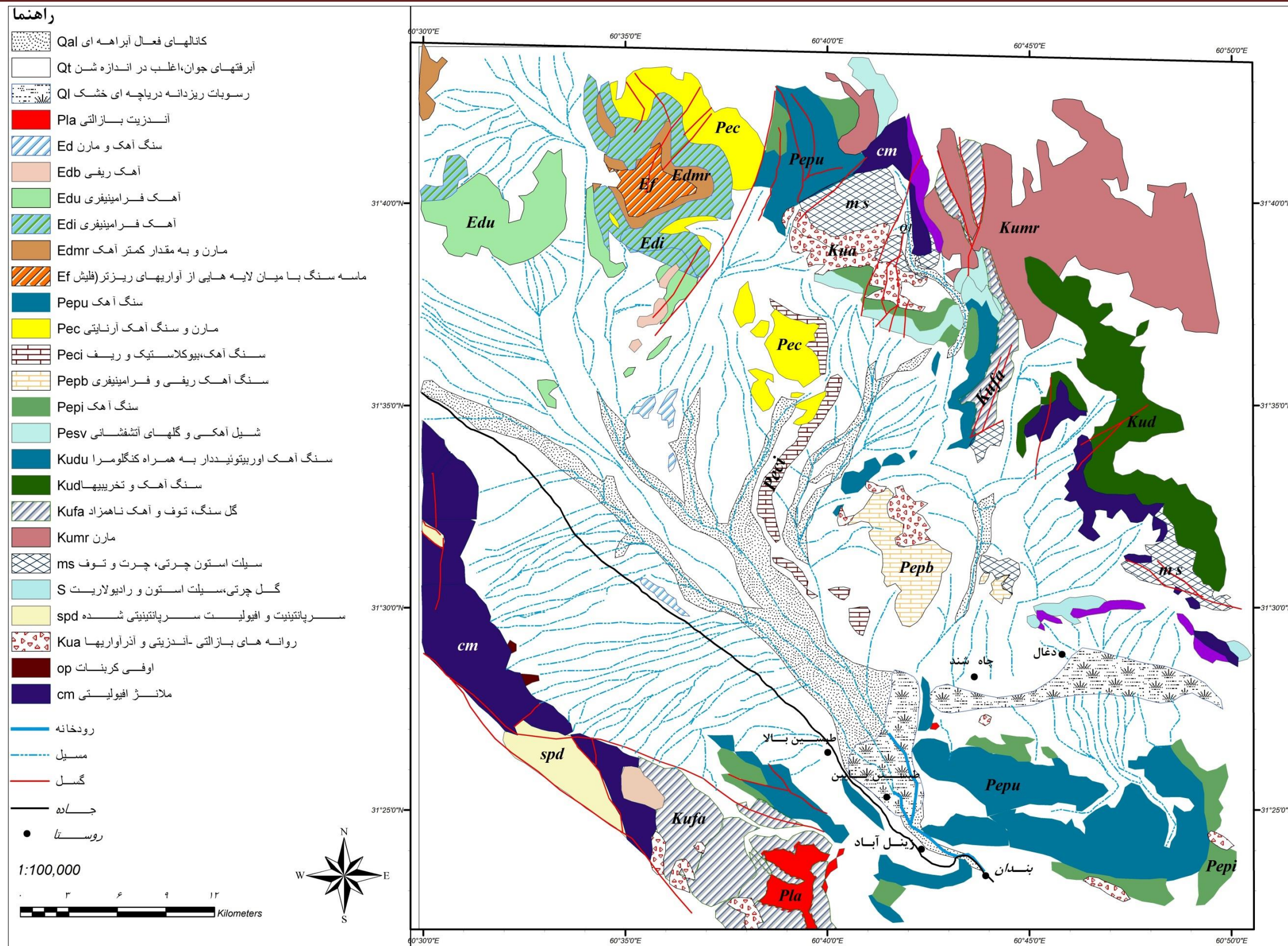
بقیه واحدهای رسوبی که گسترش عمده آن‌ها در شمال، مرکز و جنوب شرقی حوضه است را سنگ آهک، مارن، آهک ریفی و ماسه سنگ تشکیل می‌دهند که سن آن‌ها از پالئوسن تا ائوسن متغیر است. رسوبات کواترنری که همه منابع آبی حوضه اعم از چاه، چشمه و رودخانه در آن جریان دارند به سه قسمت آبرفت‌های جوان بیشتر در اندازه شن، رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای خشک و کانال‌های فعال آبراه‌های تقسیم می‌شوند که از این میان بیشتر منابع آب حوضه در کنار رسوبات دریاچه‌ای و یا کانال‌های فعال آبراه‌های حفر شده‌اند (گزارش پشت نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بندان و شمال بندان).

۲-۲-۱ زمین‌شناسی ساختاری حوضه

الگوی ساختاری حوضه آبریز طبسین به لحاظ جاگیری بین دو ورق قاره‌ای لوت و هیرمند و به ویژه چیرگی زمین ساخت برخوردی، بسیار پیچیده بوده و نشانگر یک کوهزایی درون قاره‌ای است. در قسمت‌های غربی حوضه یک سری گسل امتداد لغز در حاشیه افیولیت‌ها مشاهده می‌شود که از شاخه‌های گسل نه‌بندان است (خسروتهرانی، ۱۳۸۰). همچنین در قسمت‌های شمالی حوضه گسل‌های امتدادلغز راستگرد با روند تقریبی شمالی- جنوبی و با شیب به سمت خاور به فراوانی دیده می‌شوند.

۲-۲-۲ پراکندگی ارتفاعات و مورفولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه حوضه‌ای است که آب زیرزمینی و سطحی مناطق بالادست از تنگه بندان واقع در جنوبی‌ترین بخش حوضه خارج می‌شوند. به لحاظ توپوگرافی و ژئومورفولوژی، منطقه مورد مطالعه توسط کوه‌های نسبتاً کم ارتفاعی محصور شده است. بلندترین نقطه حوضه در ارتفاعات غربی ۱۳۵۰ متر،



شکل ۲-۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه (بر پایه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بندان و شمال بندان)

در ارتفاعات جنوبی کوه چرمگو، ۸۵۰ متر، در ارتفاعات شرقی کوه دربندبار، ۱۴۷۰ متر و در ارتفاعات شمالی ۱۳۹۰ متر است، البته ارتفاعات محدود به اطراف حوضه نمی‌شوند و در بخش‌های مرکزی حوضه نیز ارتفاعاتی به صورت پراکنده وجود دارند که بلندترین آن کوه مکی با ارتفاع ۱۴۵۰ متر است.

۳-۲ سنگ‌شناسی منطقه

واحدهای سنگی منطقه را می‌توان به دو قسمت عمده تقسیم‌بندی کرد، گروه افیولیت‌ها و واحدهای سنگی مربوط به بعد از کرتاسه.

۱-۳-۲ افیولیت‌ها

در اثر عمل فرورانش، بخشی از گوشته بالایی و پوسته اقیانوسی به صورت مجموعه درهمی (ملائژ افیولیتی) بر جای مانده است که متشکل از آمفیبولیت، متادیاباز، پیلولاوا و رسوبات پلاژیک نظیر رادیولاریت‌ها می‌باشد (درویش‌زاده، ۱۳۸۰). همچنین سنگ‌های اولترابازیک، بازیک و حدواسط با درهم ریختگی شدید نیز در این مجموعه به چشم می‌خورند (شکل ۲-۴).

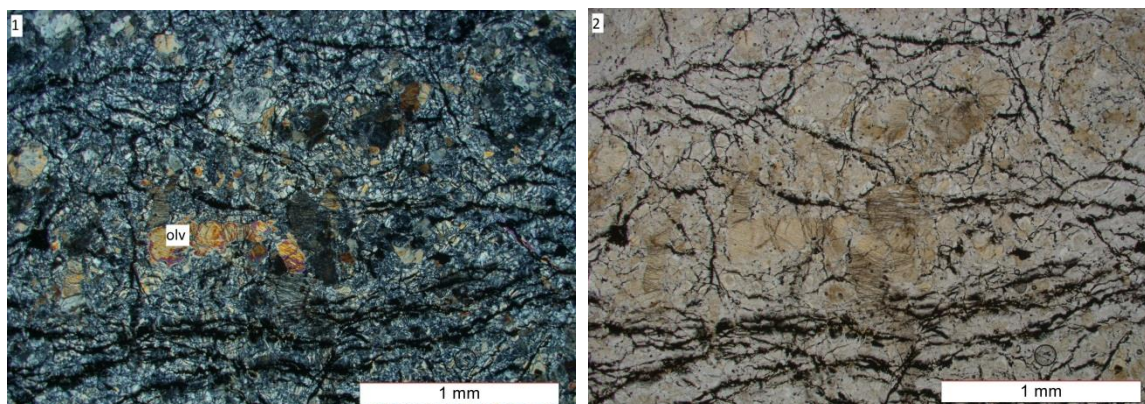
آنچه بیشتر در افیولیت‌های منطقه مشاهده می‌شود عبارتند از:



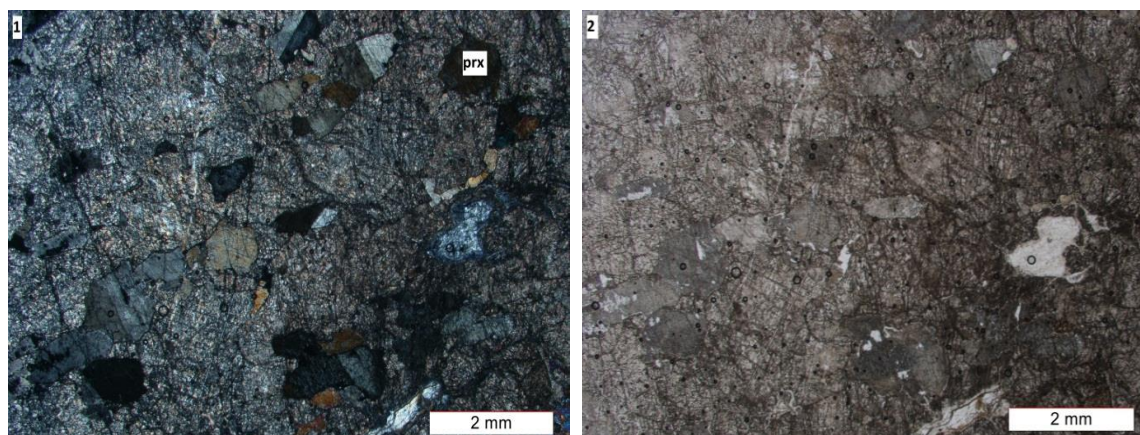
شکل ۲-۴ نمای کلی از نوار اولترامافیک واقع در غرب منطقه (دید به غرب)

الف- مجموعه سنگ‌های اولترامافیکی: با ترکیب دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت که معمولا فرایندهای دگرشکلی- دگرگونی را متحمل شده و کم و بیش سرپانتینی شده‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۸۰). این واحدها بیشتر در غرب و به صورت پراکنده‌تر در شرق و شمال شرق حوضه رخنمون دارند (شکل ۲-۵).

ب- مجموعه گابرویی: این مجموعه در زیر شامل پریدوتیت‌های انباشتی، پیروکسنیت‌ها و گابروهای لایه‌ای است و در بالا از گابروهای هم‌گن یا ایزوتوپیک^۱ تشکیل شده‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۸۰). وسعت این مجموعه در منطقه بسیار کم بوده و محدود به بخش‌های غربی حوضه است (شکل ۲-۶).



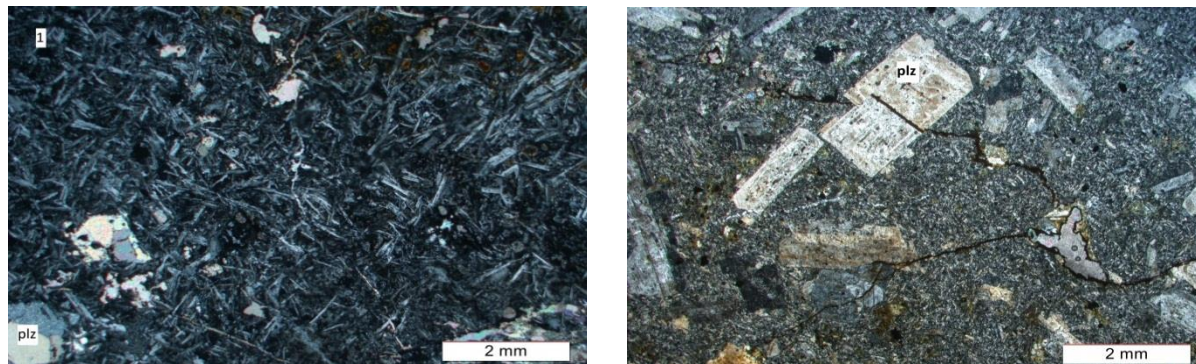
شکل ۲-۵ پریدوتیت‌های سرپانتینی شده با بافت غربالی (۱۲/۵×). ۱- نور پلاریزه، ۲- نور عادی



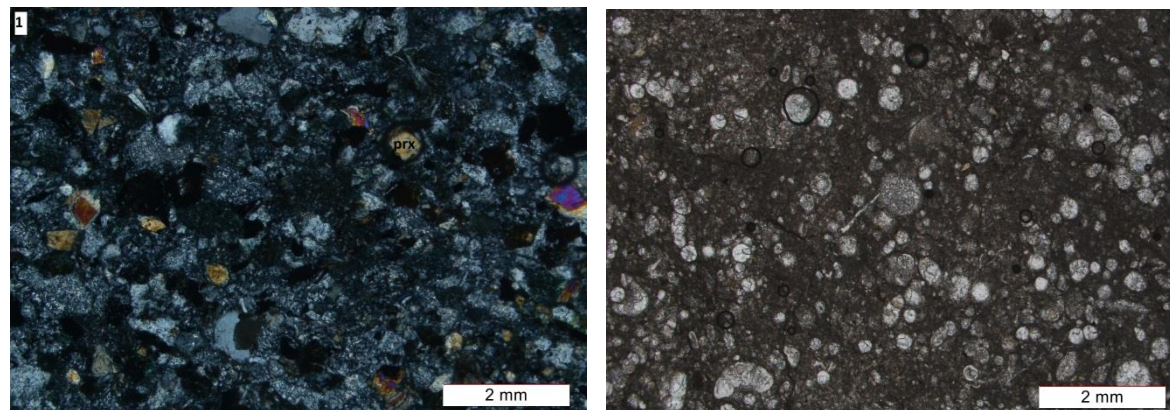
شکل ۲-۶ گابروهای موجود در مجموعه افیولیتی (۱۲/۵×). ۱- نور پلاریزه، ۲- نور عادی

¹ Isotopic

ج- سنگ‌های آتشفشانی: که غالباً به شکل بازالت با بافت پروپیلیتیک (شکل ۲-۷) و یا حفره‌دار (شکل ۲-۸)، گاه همراه با مواد آذرآواری بازیک (توف‌های بازیک) می‌باشند (شکل ۲-۹). بازالت‌های بالشی در این واحدها بر اثر گسل خوردگی و هوازدگی تقریباً شکل خود را از دست داده‌اند. گسترش این واحدها بیشتر در شمال و جنوب و به صورت پراکنده‌تر در شرق حوضه است.



شکل ۲-۷ بازالت‌های موجود در افیولیت‌ها با بافت پروپیلیتیک (۱۲/۵×)

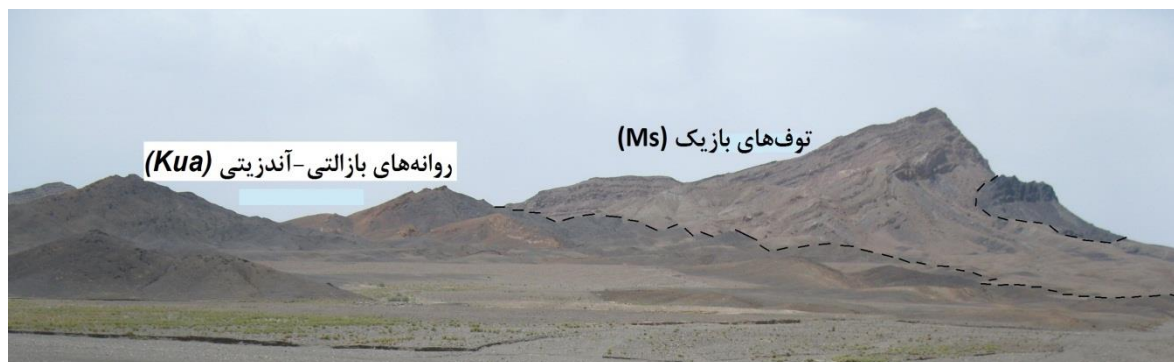


شکل ۲-۹ توف‌های بازیک (۱۲/۵×)

شکل ۲-۸ بازالت حفره‌دار (۱۲/۵×)

د- روانه‌های بازالتی-آندزیتی: این روانه‌ها مربوط به اواخر کرتاسه بوده و بیشتر در قسمت‌های مرکزی و شمالی حوضه رخنمون دارند (شکل ۲-۱۰). نکته قابل توجه در مورد این روانه‌ها این است که به شدت هوازده هستند به نحوی که نمی‌توان یک نمونه تازه و دست نخورده را از آن برای تهیه مقطع نازک انتخاب کرد زیرا تمامی نمونه‌های برداشت شده از زمین، زیر دستگاه برش خرد شده و از بین می‌روند.

ه- بخش رسوبی: پوششی که شامل چرت‌های نواری، رادیولاریت، لایه‌های نازک شیل و آهک پلاژیک بر روی واحدهای آذرین است. گسترش این واحدها بیشتر در شرق حوضه است (شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۰ توفهای بازیک در کنار روانه‌های بازالتی-آندزیتی واقع در شمال حوضه (دید به سمت غرب)



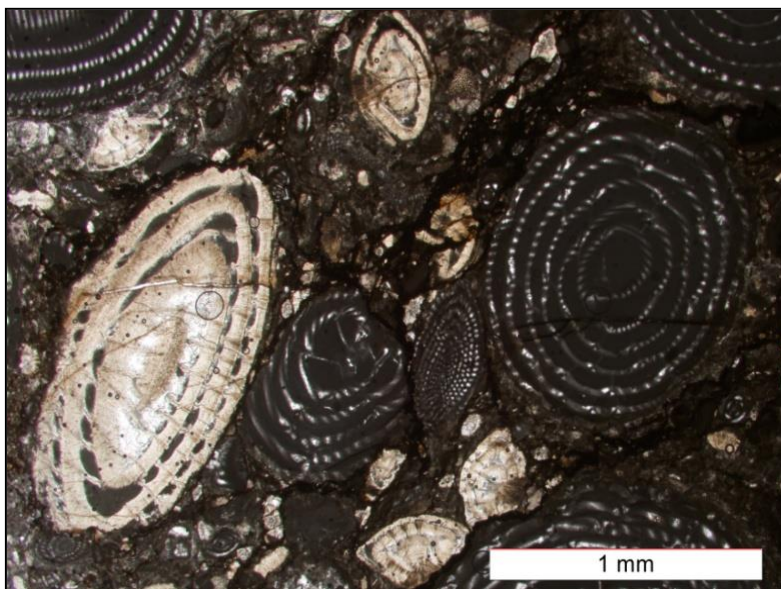
شکل ۲-۱۱ سنگ آهک و تخریبی‌ها بر روی توده‌های اولترامافیک واقع در شرق حوضه (دید به سمت شمال شرق)

۲-۳-۲ واحدهای سنگی مربوط به بعد از کرتاسه

در دوران سوم (سنوزوئیک) فعالیت‌های آذرین تقریباً متوقف شده و رسوبات بیشتر نوع آهک‌های ریفی (شکل ۲-۱۲)، سنگ آهک فسیل‌دار (شکل ۲-۱۳)، ماسه سنگ، شیل و مارن هستند. این واحدها به جز در مناطق غربی، در سایر نقاط حوضه رخنمون دارند. در اواخر سنوزوئیک با باز شدگی جزئی پوسته،



شکل ۲-۱۲ آهک‌های ریفی (دید به جنوب شرق)



شکل ۲-۱۳ آهک‌های نومولیتی (۱۲/۵ \times)



شکل ۲-۱۴ سنگ آهک‌های پالتوسن (Pepu) واقع در جنوبی‌ترین بخش حوضه (دیده به سمت غرب)

می‌توان علاوه بر مشاهده واحدهای آندزیتی-بازالتی در جنوب حوضه، گسل خوردگی‌ها و در هم ریختگی شدید را در اکثر واحدهای حوضه مشاهده کرد.

۲-۴ مشخصات حوضه آبریز

همان‌طور که قبلاً عنوان شد، حوضه آبریز طبسین حوضه‌ای است تقریباً بسته که آب زیرزمینی موجود در آن از یک نقطه متمرکز تحت عنوان تنگه بندان از حوضه خارج می‌شود و رودخانه بندان را به وجود می‌آورد. رودخانه بندان تنها رودخانه دائمی در حوضه است که آب آن به مصارف کشاورزی می‌رسد؛ البته در گذشته از آب آن به عنوان منبع آب شرب نیز برای مردمان ساکن در روستای بندان استفاده می‌شده است. به جز رودخانه بندان در منطقه مورد مطالعه، سایر منابع آبی به صورت منابع آب زیرزمینی اعم از چاه، چشمه و قنات می‌باشند. جهت کلی جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی از سرتاسر حوضه به سمت جنوبی‌ترین بخش حوضه (تنگه بندان) است. علاوه بر تنگه بندان، در قسمت‌های شرقی یک محیط دریاچه‌ای قدیمه وجود دارد که آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در ارتفاعات شرقی و جنوب شرقی حوضه به آن ختم می‌شود. به همین علت است که تعداد قابل توجهی از چاه‌های منطقه در اطراف این محیط دریاچه‌ای قدیمه وجود دارند. در کل در منطقه مورد مطالعه ۳۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۳ رشته قنات و ۱ دهنه چشمه وجود دارد. همان‌طور که در نقشه آبراهه‌ها نیز نشان داده شده است (شکل ۲-۱۵)، الگوی مسیل‌ها و طریقه به هم پیوستن آن‌ها شاخه‌ای می‌باشد. جهت احتمالی حرکت آب زیرزمینی از مناطق شمالی و غربی به سمت رودخانه بندان و در برخی مناطق شرقی و جنوب شرقی به سمت محیط دریاچه‌ای قدیمه می‌باشند.



شکل ۲-۱۵ نقشه آبراهه‌های موجود در منطقه (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بندان و شمال بندان)

فصل سوم

مروری بر

مطالعات پیشین

۳-۱ مقدمه

یکی از بخش‌های مهم در هر پژوهشی، مروری بر مطالعات گذشته است که ما را در بهبود نتیجه‌گیری از نتایج آزمایش‌ها یاری می‌رساند. به طور کلی بررسی ویژگی‌های سنگ‌ها و رسوبات یک منطقه و ارتباط آن با کیفیت منابع آب و در نهایت سلامت مردم آن منطقه، یکی از مباحث به روز در مجامع علمی است. در این فصل ابتدا به غلظت عناصر فرعی در سنگ‌ها و رسوبات، طبقه‌بندی عناصر در سنگ‌ها، کیفیت منابع آب بر حسب غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و عناصر فرعی و در نهایت ارتباط آن با سلامت افراد در تماس با آب‌های آلوده پرداخته شده است.

۳-۲ سنگ‌شناسی و ارتباط آن با ژئوشیمی رسوبات

سنگ‌ها و خاک‌ها یکی از منابع اصلی فلزات سنگین در محیط هستند. سنگ‌های مادر، که سنگ‌های آذرین یا آتشفشانی نامیده می‌شوند، از ماگمای در حال سرد شدن به وجود می‌آیند و عناصر فرعی به داخل شبکه بلوری کانی‌های اولیه راه می‌یابند که این پدیده جانشینی ایزومورفیک^۲ نامیده می‌شود. میزان جانشینی به عوامل مختلفی همچون شعاع یونی، بار یونی و الکترون‌گاتیویته عناصر فرعی بستگی دارد (Press & Silvers, 1994). میزان حضور عناصر فرعی در کانی‌های معمول موجود در پوسته زمین در جدول ۳-۱ آمده است.

۳-۲-۱ سنگ‌های اولترامافیک و ژئوشیمیایی رسوبات

هنگامی که ماگما از اعماق به سمت سطح زمین در حال حرکت است، به تدریج سرد شده و برخی کانی‌ها از آن متبلور می‌شوند. این موضوع تا رسیدن ماگما به سطح زمین ادامه می‌یابد. نکته قابل ذکر در اینجا این است که بیشتر عناصر فرعی معمولاً در ماگمای باقی مانده تجمع می‌یابند و به ندرت به شبکه

² Isomorphic Substitution

کانی‌هایی که در ابتدا از ماگما متبلور می‌شوند وارد می‌گردند (Bradl, 2005). البته در این بین استثنائاتی نیز وجود دارند. به طور مثال کروم، به صورت کانی کرومیت (FeCr_2O_4) و یا نیکل در ساختمان کانی فورستریت ($\text{Mg}_2[\text{Ni}]\text{SiO}_4$) جایگزین منیزیم می‌شود که هر دوی این کانی‌ها در ابتدا از ماگما متبلور می‌شوند (Siegel, 2002). سنگ‌های اولترامافیک توده‌هایی تیره‌رنگ هستند که در مراحل ابتدایی تبلور ماگما به وجود می‌آیند.

جدول ۱-۳ عناصر کمیاب در کانی‌های معمول موجود در پوسته زمین (Bradl, 2005)

مقاومت در برابر هوازدگی	عناصر فرعی	کانی	
پایین	Ni, Co, Mn, Li, Zn Cu, Mo	اولیوین	
	Ni, Co, Mn, Se, Li, V, Zn, Cu, Ga, F	هورنبلند	
	Ni, Co, Mn, Se, Li, V, Zn, Pd, Cu Ga	گوتیت	
	Ni, Co, Mn, Se, Li, V, Zn, Pb, Cu, Ga, F	بیوتیت	
	Pb, Sr, F, عناصر نادر خاکی	آپاتیت	
	Sr, Cu, Ga, Mn	آنورتیت	
	Sr, Cu, Ga, Mn	آندزیت	
	Cu, Ga	اولیگوکلاز	
	Cu, Ga	آلبیت	
	Mn, Cr, Ga	گارنت	
حدواسط	Rb, Ga, Sr, Cu	اورتوکلاز	
	F, Rb, Ba, Sr, Cu, Ga, V	مسکوویت	
	عناصر نادر خاکی، V, Sn	تیتانیت	
	Co, Ni, Cr, V	ایلمنیت	
	Zn, Co, Ni, Cr, V	مگنتیت	
	Li, F, Ga	تورمالین	
	Hf, U	زیرکن	
	—	کوارتز	
	بالا		

بررسی ژئوشیمی این توده‌ها و تأثیر آن بر ترکیب رسوبات پایین‌دست موضوع تحقیقات بسیاری از پژوهشگران بوده است (Alloy & Ageres, 1997. Smedly & Kinniburgh, 2001. Shitza et al, 2005). در پژوهشی که بر روی غلظت عناصر کرم، نیکل و منیزیم در توده‌های اولترامافیک انجام شد، نشان داد که غلظت این سه عنصر در رسوبات سرچشمه گرفته از این سنگ‌ها تا چندین برابر بیشتر از غلظت آن‌ها در پوسته زمین است (Farmer et al, 1999). تحقیقات دیگر نشان‌گر تهی‌شدگی بسیاری از فلزات سنگین در سنگ‌های اولترامافیک هستند. به طور مثال پژوهشی که بر روی سنگ‌های اولترامافیک در جمهوری چک انجام شد نشان داد که در رسوبات سرچشمه گرفته از توده‌های اولترامافیک، غلظت بسیاری از عناصر همچون مس، روی، استرانسیم و فسفر پایین‌تر از سایر نمونه‌های رسوب است (Quantin et al, 2008).

۲-۲-۳ سنگ‌های بازیک تا حدواسط و ژئوشیمی رسوبات

سنگ‌های بازیک تا حدواسط به نسبت سنگ‌های اولترامافیک تفریق یافته‌تر بوده و نسبت به بسیاری از فلزات سنگین و عناصر فرعی، غنی‌شدگی بیشتری را نشان می‌دهند (Kampunzu et al, 2009). در این سنگ‌ها بر خلاف بسیاری از عناصر فرعی، از غلظت نیکل و کروم به شدت کاسته می‌شود (Dickson & Steven, 1983). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که رسوبات حاصل از سنگ‌های بازیک تا حد واسط می‌توانند تا حدود قابل توجهی عناصری همچون مس، روی، استرانسیم، آرسنیک، وانادیم و فلوئور را در خود جای دهند (Leinonen, 1989. Lund & Fabian, 1991).

۳-۲-۳ سنگ‌های آهکی و ژئوشیمی رسوبات

سنگ‌های آهکی با وجود قابلیت اندک در جذب فلزات سنگین، از این عناصر تهی شده‌اند. از بین فلزات سنگین تنها استرانسیم به علت خواص ژئوشیمیایی مشابه با کلسیم، در این سنگ‌ها تمرکز بالایی دارد. یکی از مهمترین تأثیرات سنگ‌های آهکی بر رسوبات پایین‌دست، افزایش pH رسوبات و خاک‌ها است.

افزایش pH در رسوبات و خاکها انحلال پذیری بسیاری از عناصر را تحت تأثیر قرار می دهد (Kabata- Pendias & Mukherjee, 2007).

۳-۳ فرایندهای ژئوشیمیایی تعیین کننده پویایی فلزات سنگین

جذب فلزات سنگین توسط سطوح کانی‌های مختلف در دهه ۱۹۳۰ توسط گلداشمیت مطرح گردید، به طوری که غلظت بسیاری از عناصر فرعی در آب دریا چندین برابر کمتر از غلظت آنها در آب‌های شیرین و غلظت آنها در پوسته زمین است. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که جذب فلزات به اکسی هیدروکسیدهای آهن و اکسیدهای منگنز و مواد آلی یک فرایند مهم برای برخی از فلزات مانند نقره، بیسموت، کادمیم، مس، مولیبدن، سرب و روی است که می‌تواند منابع آب را از وجود این عناصر پاک کند و به عبارت بهتر آب را پالایش نماید. پدیده جذب و واجذب یکی از مهمترین عوامل در زدایش و افزایش مواد سمی از قبیل برخی عناصر سنگین در آب است. از مهمترین مواد جذب کننده فلزات سنگین در محیط می‌توان به کانی‌های رسی و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، آلومینیم و منگنز اشاره کرد. این مواد با داشتن سطح ویژه بالا، اندازه بسیار ریز ($<2\mu\text{m}$) و مهم‌تر از همه داشتن بار منفی بر روی سطوح، نقش مهمی را در قابلیت جذب و واجذب فلزات سنگین در خاک بازی می‌کنند. البته پدیده جذب و واجذب علاوه بر میزان حضور کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای آهن و منگنز، به Eh-pH محیط نیز کاملاً وابسته است و در شرایط اسیدی و محیط‌های احیایی از میزان آن کاسته می‌شود (Alloway, 1995).

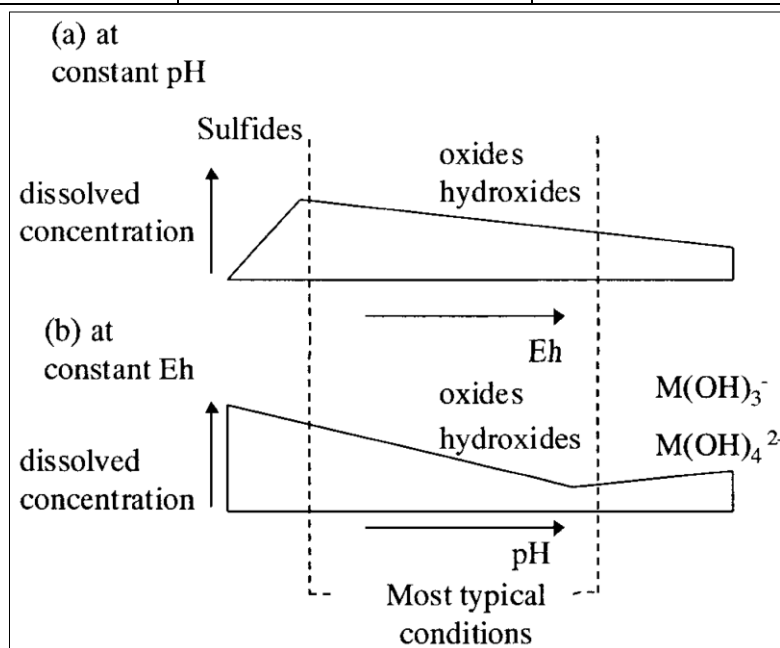
(جدول ۳-۲).

- سازوکار جذب سطحی: جذب سطحی شکلی خاص از جذب است که به صورت تجمع جذب شونده بر روی سطح ماده جذب کننده بین محلول و فاز جذب کننده جامد در جریان است، بدون آن که ساختار

اتمی و مولکولی مواد را تغییر دهد (Brown, 1990). پتانسیل اکسایش و pH نقش مهمی را در پویایی و انحلال پذیری فلزات سنگین در محیط ایفا می کنند (شکل ۱-۳).

جدول ۲-۳ تأثیر شرایط محیطی بر تحرک پذیری عناصر (Hawkes & Webb, 1979)

شرایط محیطی			تحرک نسبی
احیایی	اکسیداسیون ($pH > 4$)	اکسیداسیون ($pH = 5 - 8$)	
Cl, Br, I, Rn, He	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, Se, Te	بالا
Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As, Sb, Sr, Hg	متوسط
K, Rb, Si, P, Fe	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, Cd, In, Ra, Be, W	پایین
Fe, Al, Ga, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, REEs,	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn,	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn,	بی تحرک
Au, Cu, Pt metals, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Se, Te, Mo, In, Cr, Nb, Ta	REEs, Pt metals, Au, As, Mo, Se	REEs, Pt metals, Au, Cr, Nb, Ta, Bi, Cs	



شکل ۱-۳ تأثیر pH و Eh بر انحلال پذیری فلزات سنگین (Adriano, 2001)

۳-۴ هیدروژئوشیمی منابع آب

کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی به شدت وابسته به جنس خاک یا سنگی است که در تماس با این آب‌ها هستند. پارامترهای اصلی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که ترکیب آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارتند از دما، pH، پتانسیل اکسایش-کاهش، فرایندهای جذب و واجذب از مواد معلق آلی یا غیرآلی و یا رسوبات زیرین در تماس با آب، تبادل کاتیون، رقیق سازی، تبخیر و حضور مواد آلی (Bradl, 2005). به طوری که، pH آب در تماس با سنگ آهک، حدود ۸ است و آب در تماس با گرانیت، دارای pH حدود ۶ می‌باشد (Seivering, 1999). اگر پیریت در محیط حاضر باشد، اکسیداسیون آن باعث تولید آب‌های اسیدی شده که می‌توانند انحلال‌پذیری فلزات را تحت تأثیر قرار داده و پویایی آن‌ها را افزایش دهد (Siegel, 2002). انحلال‌پذیری فلزات سنگین محلول در آب به سمت پایین دست حوضه، توسط فرایند جذب سطحی به وسیله هیدروکسیدهای آهن و منگنز و یا کانی‌های رسی کاهش می‌یابد. فلزات سنگین می‌توانند از طریق آب وارد زنجیره غذایی شوند. میزان ورود فلزات سنگین از آب به زنجیره غذایی بستگی به عوامل مختلفی از قبیل غلظت این عناصر در آب و گونه موجود زنده‌ای که از آب استفاده می‌کند دارد. فلزات سنگین می‌توانند تا سطوح بحرانی در بافت‌ها تجمع یابند و منجر به زیان رساندن به بافت‌های بدن شوند.

۳-۴-۱ کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محلول در آب

در جدول ۳-۳ غلظت متوسط کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و منابع آن‌ها در آب آمده است. غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی محلول در آب در محیط‌های مختلف کاملاً متفاوت است. نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد در مناطقی که سنگ‌های آهکی از گسترش بالایی برخوردارند، غلظت کلسیم و بیکربنات نسبت به سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش چشمگیری دارد (Hounslow, 1995). در حوضه‌هایی که آبرفت آن‌ها بیشتر از جنس ماسه‌های کوارتزی است غلظت بسیاری از کاتیون‌ها و

جدول ۳-۳ غلظت متوسط آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی محلول در آب (Appelo and Postma, 1996)

منبع	غلظت متوسط (mg/L)	ترکیب محلول
فلدسپار، سنگ نمک، زئولیت، اتمسفر	۰/۲-۴۶	سدیم
فلدسپار، میکاها	۰/۴-۸	پتاسیم
سنگ آهک، ژیپس، فلدسپار، پیروکسن، آمفیبول	۲-۲۰۰	کلسیم
دولومیت، سرپانتین، پیروکسن، آمفیبول، اولیوین، میکاها	۱/۲-۴۸	منیزیم
سنگ نمک، اتمسفر	۱/۸-۷۰	کلر
سنگ آهک، مواد آلی	۰-۳۰۵	بیکربنات
ژیپس، سولفیدها، اتمسفر	۱-۴۸۰	سولفات

آنیون‌های محلول در آب به نسبت سایر مناطق، پایین‌تر است (Vissers, 2006). در مناطقی که سنگ‌های تبخیری در آن‌جا چیرگی دارند، غلظت بسیاری از آنیون‌ها و کاتیون‌ها همچون کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، سولفات و کلر افزایش چشمگیری پیدا می‌کند و از کیفیت آب تا حد قابل توجهی کاسته می‌شود (van der Perk, 2006). منابع آب موجود در نزدیکی توده‌های اولترامافیک به نسبت سایر منابع آب، از محتوای منیزیم بالاتری برخوردارند (Mokhopadhyay, 2002). انحلال گوگرد در مناطقی که انواع مختلف سولفیدهای فلزی در آن‌جا حضور دارند، باعث افزایش محتوای سولفات در آب و کاهش چشمگیر pH می‌شود (Drever, 2000). به طور کلی در مناطق با آب و هوای گرم و خشک به علت تبخیر زیاد و طولانی بودن زمان ماندگاری آب، غلظت بسیاری از کاتیون‌ها و آنیون‌ها (به جز بیکربنات) در آب افزایش می‌یابد (Hounslow, 1995). نتایج بررسی‌های مختلف بر روی هیدروژئوشیمی منابع آب نشان می‌دهد که بر مقدار غلظت برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آب از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه افزوده می‌شود. از آن جمله می‌توان به سدیم، کلر و سولفات اشاره کرد (Hounslow, 1995; Boers, 2002). دلیل افزایش کلر و سدیم از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه این است که هر دوی این

عناصر، عناصر پایستار بوده و تحت تأثیر جذب توسط مواد جذب‌کننده مثل اکسیدهای آهن، کانی‌های رسی و مواد آلی قرار نمی‌گیرند از حالت محلول خارج نمی‌شوند (Caritat, 1996). یکی از نکات حائز اهمیت در مورد بیکربنات، این است که به طور معمول از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه از میزان غلظت آن در آب کاسته می‌شود (Drever, 2000).

۳-۴-۲ عناصر فرعی در آب

همانطور که عنوان شد، غلظت عناصر فرعی در منابع آب به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از مهمترین عوامل مؤثر در تعیین غلظت عناصر فرعی در آب، جنس سنگ‌ها و رسوبات در تماس با آب است (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). در یکی از پژوهش‌های صورت پذیرفته بر روی غلظت کروم در منابع آب مشخص گردید که غلظت این فلز در منابع آب موجود در نزدیکی توده‌های اولترامافیکی به شکل معناداری افزایش می‌یابد (Guo & Wang, 2005). پژوهش‌های مشابه تأثیرات ترکیب رسوبات در تماس با منابع آب بر روی ترکیب و تمرکز عناصر در آب را بیش از پیش آشکار می‌کنند. به طور مثال می‌توان به تأثیرات رسوبات مشتق شده از سنگ‌های آذرین حدواسط تا بازیک بر افزایش غلظت مس (Halim et al, 2009)، مولیبدن (Sjostedt et al, 2009)، وانادیم (Wallstedt, 2010) و فلوراید (Madhavan & Subraminian, 2006) اشاره نمود. در منابع آب موجود در نزدیکی کانی‌های تبخیری سولفات، محتوای استرانسیم در منابع آب به شدت افزایش می‌یابد (Bradl, 2005). محتوای عناصر فرعی در منابع آب در تماس با ماسه‌سنگ‌های سیلیسی و نیز رسوبات مشتق شده از سنگ‌های آهکی خالص به طور معمول پایین است (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). در جدول ۳-۴ غلظت متوسط برخی از عناصر در سنگ‌های آذرین، سنگ‌های رسوبی و آب آمده است.

جدول ۳-۴ غلظت برخی عناصر در محیط‌های مختلف (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007)

آب		سنگهای رسوبی			سنگهای آذرین		پوسته زمین	
دریا (ppb)	رودخانه (ppb)	آرژیلیکی (ppm)	ماسه سنگ (ppm)	آهکی (ppm)	مافیک (ppm)	اسیدی (ppm)	ppm	
۰/۰۳_۲	۳۲	۷۰۰۰۰_۱۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰_۴۳۰۰۰	۴۰۰۰_۱۳۰۰۰	۷۳۰۰۰_۸۸۰۰۰	۶۰۰۰۰_۸۳۰۰۰	۸۲۰۰۰	Al
۱/۲_۳/۷	۰/۱_۹/۴	۵_۱۳	۰/۵_۱/۲	۱_۲/۵	۰/۵_۲/۵	۱_۲/۵	۰/۵_۲/۵	As
۴۵۰۰	۱۰_۱۰۰	۱۲۰_۱۳۰	۳۰_۳۵	۲۰_۳۰	۵_۲۰	۱۰_۳۰	۱۰	B
۶۵۰۰	۲_۴۴۷۰	۵_۱۰	۱_۵	۱_۶	۰/۲_۳	۰/۲_۴/۵	۱_۲/۴	Br
۲۰۰۰۰	۱۰	۱۰۰_۲۰۰	۱۰_۲۰	۵۰_۳۵۰	۴۰_۳۰۰	۱۳۰_۳۰۰	۱۴۵_۶۴۰	Cl
۰/۳	۰/۳_۲/۱	۸۰_۱۲۰	۲۰_۴۰	۵_۱۶	۱۷۰_۳۴۰۰	۱۰_۵۰	۱۲۶_۱۸۵	Cr
۱_۸	۰/۲۷_۳/۵۳	۴۰_۶۰	۵_۳۰	۲_۱۰	۱۰_۱۲۰	۵_۳۰	۲۵_۲۷	Cu
۳۰_۱۳۵۰	۵۰_۲۷۰۰	۵۰۰_۸۰۰	۵۰_۲۷۰	۵۰_۳۵۰	۳۰۰_۱۲۰۰	۳۰۰_۸۵۰	۵۲۵_۶۵۰	F
۲	۱۱_۴۰	۳۳۰۰۰_۴۷۰۰۰	۱۰۰۰۰_۳۰۰۰۰	۴۰۰۰_۱۰۰۰۰	۳۷۰۰۰_۸۷۰۰۰	۱۴۰۰۰_۲۷۰۰۰	۵۰۰۰۰	Fe
۰/۰۱	۰/۰۴_۱/۳	۲_۲/۵	۰/۲_۰/۸	۰/۲_۰/۴	۰/۲_۱/۵	۱_۲	۱/۱	Mo
۰/۷	۰/۸	۴۰_۹۰	۵_۲۰	۵_۲۰	۱۴۰۰_۲۰۰۰	۵_۲۰	۲۰	Ni
۲۸۰۰	۱۳۰۰	۲۵۰۰۰۰_۲۸۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰_۴۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰_۳۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰_۳۰۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰_۳۴۰۰۰۰	۲۶۰۰۰۰_۲۹۰۰۰۰	Si
۱۶۸۰_۲۵۹۰	۳۰۰_۵۰۰۰	۳۰۰_۴۵۰	۲۰_۱۴۰	۴۶۰_۶۰۰	۱۴۰_۴۶۰	۶۰_۴۰۰	۲۶۰_۳۷۰	Sr
۲/۵	۰/۰۲_۵/۸	۸۰_۱۳۰	۱۰_۶۰	۱۰_۴۵	۴۰_۲۵۰	۴۰_۹۰	۵۳_۶۰	V
۰/۰۴_۴/۹	۳/۳_۱۰/۳	۸۰_۱۲۰	۱۵_۳۰	۱۰_۲۵	۴۰_۱۲۰	۴۰_۱۰۰	۵۲_۸۰	Zn

۳-۵ زمین پزشکی

در طی قرن بیستم، زمین‌شناسان ادراک بیشتری را از ارتباط پدیده‌های زمین‌شناسی و سلامت انسان به دست آوردند و وجود فلزات با سمیت بالا و شناسایی روابط میان نوع تغذیه و سلامتی بیش از پیش آشکار شد. به طوری که دریافتند حضور بیش از حد یا اندک یک عنصر خاص در محیط می‌تواند باعث ایجاد بیماری شود و در مورد مواد سمی، حتی حضور اندک آن‌ها بر سلامت موجودات زنده خطر محسوب می‌شود. مواد سمی موجود در محیط می‌توانند از طریق گرد و غبار موجود در هوا و یا به وسیله آب یا غذا وارد بدن موجودات زنده شوند. به عنوان مثال وجود بیش از حد آرسنیک در محیط باعث ایجاد بیماری‌های پوستی می‌شود و یا فقدان کبالت در رژیم غذایی باعث ایجاد مشکلات متعدد در گیاهان و جانوران می‌گردد. مسمومیت با سرب می‌تواند موجب بیماری‌های تنفسی و عقب ماندگی در کودکان شود.

سلنیم یکی از عناصر ضروری مورد نیاز بدن است و کمبود آن در رژیم غذایی، عدم کارایی آنزیم‌ها در بدن را به دنبال دارد. یکی از عناصر ضروری مورد نیاز بدن فلوراید است که بالا رفتن غلظت آن از حد مجاز در آب، باعث ایجاد بیماری‌های مختلف (به ویژه بیماری‌های دندانی و استخوانی) می‌شود.

۳-۵-۱ کانی‌های حاوی فلوراید

متوسط غلظت فلوراید در پوسته زمین (۶۲۵ppm) از سایر هالوژن‌ها مانند کلر (۱۳۰ppm) بسیار بالاتر است. کلر در محیط‌های آبی بسیار متحرک است و بیشتر در آب اقیانوس‌ها دیده می‌شود. بنابراین آنچه آشکار است، این است که فلوراید بیشتر در کانی‌های حاوی آن باقی می‌ماند (Pickering, 1985). فلوراید سبک‌ترین هالوژن و الکترون‌گاتیوترین عنصر در جدول مندلیف است. فلوریت (CaF_2) یکی از معمول‌ترین کانی‌های حاوی فلوراید است که در طیف وسیعی از سنگ‌های آذرین دیده می‌شود. شعاع یونی این عنصر بسیار شبیه به OH^- است و به راحتی در کانی‌های دارای عامل OH^- تجمع می‌یابد. همچنین فلوراید در چشمه‌های ژئوترمال نیز به فراوانی یافت می‌شود (Mahon, 1984). بنابراین، معمولاً غلظت فلوراید در آب تابع رخدادهای زمین‌شناسی آن منطقه است. بیشترین غلظت فلوراید در سنگ‌های آذرین حد واسط گزارش شده است. فلوراید در کانی‌های اولیه مانند میکاها و آمفیبول‌ها، جانشین عامل OH^- شده و در آن‌ها تمرکز می‌یابد. در طی هوازدگی، فلوراید تمایل دارد تا از سنگ‌های حاوی آن به درون منابع آب راه یابد. کانی آپاتیت نیز یکی از کانی‌های مهم حاوی فلوراید است که انحلال‌پذیری نسبتاً بالایی دارد. در رسوبات دریایی، فلوراید یا جذب کانی‌های رسی شده و یا توسط فرایندهای بیوژئوشیمیایی که با فسفات در ارتباط‌اند، از محیط آبی خارج شده و تولید فلوراید آپاتیت می‌کند (Hitchon, 1995).

۳-۵-۲ رفتار هیدروژئوشیمیایی فلوراید

انحلال‌پذیری فلوراید با دما رابطه مستقیم دارد و هر چه دما بالاتر رود، انحلال‌پذیری فلوراید در آب نیز افزایش می‌یابد. از دیگر عوامل مهم تعیین‌کننده غلظت فلوراید در آب زیرزمینی، زمان ماندگاری آب و

در واقع زمان تماس آب با فاز جامد در سطح یا زیر زمین است. پرواضح است که هر چه این زمان بالاتر باشد، محتوای فلوراید آب نیز افزایش می‌یابد. بنابراین آب زیرزمینی موجود در مناطق گرم و خشک از طرفی با دارا بودن هوای گرم و از طرف دیگر با وجود کمبود بارش و در نتیجه افزایش زمان ماندگاری آب، حاوی فلوراید بالاتری نسبت به مناطق سرد و مرطوب هستند (Handa, 1975; Fuhang & Shunquin, 1988; Smedly et al, 2002). مقادیر بالای فلوراید موجود در آب زیرزمینی، از انحلال سنگ‌ها و رسوبات حاوی فلوراید بالا و یا چشمه‌های ژئوترمال تأمین می‌شود. بسیاری از مناطق دارای غلظت فلوراید بالا در سرتاسر کره زمین شناسایی شده‌اند که از آن جمله می‌توان به چین، هند، غرب آمریکا، سریلانکا، مکزیک، آرژانتین و بسیاری از کشورهای آفریقایی اشاره کرد. تعیین دقیق افرادی که در مواجهه با آب آشامیدنی حاوی فلوراید بالا هستند کار آسانی نیست ولی گفته می‌شود حدود ۲۰۰ میلیون نفر در دنیا از این مسئله رنج می‌برند.

۳-۵-۳ فلوراید و سلامت مردم

فلوراید یکی از عناصر ضروری مورد نیاز بدن برای استحکام دندان‌ها و استخوان است به طوری که در برخی مناطق به دلیل کمبود فلوراید در آب آشامیدنی و در نتیجه عدم استحکام کافی دندان‌ها، به آب آشامیدنی و یا خمیردندان‌ها فلوراید اضافه می‌شود. مقادیر بالای فلوراید ابتدا باعث بیماری فلوروسیس دندان‌ها و در موارد شدیدتر باعث ایجاد فلوروسیس استخوانی می‌شود. مقادیر بسیار بالای فلوراید همچنین باعث ایجاد سرطان در بدن می‌گردد (Marshall, 1990) هر چند این امر هنوز کاملاً به اثبات نرسیده است (Hamilton, 1992). یکی از عمده‌ترین منابع دریافت فلوراید در سرتاسر کره زمین، آب آشامیدنی است. تحقیقات مربوط به بیماری‌های دندان‌ها یا فلوروسیس دندان‌ها معمولاً بر روی کودکان و نوجوانان ۸ تا ۱۸ سال (به طور متوسط ۱۲ سال) انجام می‌شود زیرا در این سن می‌توان تقریباً به این امر بیشتر اطمینان داشت که بیماری‌های دندان‌ها از عوامل زیست محیطی و تغذیه تأثیر می‌پذیرند (Smet, 1990).

در اولین پژوهش صورت پذیرفته بر روی فلوروسیس دندان‌ها در سال ۱۹۰۷ در آمریکا، مشخص شد که ۸۷/۵٪ از ساکنین منطقه کلرادو که دارای دندان‌ها خالدار هستند، مهاجرانی می‌باشند که از نزدیکی آتشفشان ناپل ایتالیا به این منطقه آمده‌اند (McKey, 1909). پژوهش‌های بیشتر مک‌کی اثبات کرد که دلیل ایجاد فلوروسیس دندان‌ها مستقیماً به کیفیت آب آشامیدنی بستگی دارد. همچنین ایشان در سال ۱۹۰۸ شهرهای اوکلی (Okley) و ایداهو (Idaho) که به تازگی از آب آشامیدنی بهره‌مند می‌شدند که از نزدیکی چشمه‌های گرمابی بودند را از نظر فلوروسیس دندان‌ها مورد بررسی قرار داد. این پژوهش نشان داد که کودکان ساکن در این شهرها دارای دندان‌های خالدار هستند در حالی که این پدیده در میان بزرگ‌ترها کمتر به چشم می‌خورد. علاوه بر این، یکی از اولین مطالعات جامع و منظم صورت پذیرفته بر روی فلوروسیس در آمریکا و در اواخر دهه ۳۰ میلادی صورت پذیرفت (Dean & Elvove, 1937). این تحقیقات ثابت کرد که دلیل فلوروسیس، وجود مقادیر بالای فلوراید در آب آشامیدنی است. افزایش میزان فلوراید در آب آشامیدنی در ابتدا می‌تواند باعث تغییر رنگ و کاهش شفافیت دندان‌ها شود. اگر فلوراید موجود در منابع آب افزایش یابد، باعث ایجاد لکه‌های قهوه‌ای رنگ در دندان‌ها و در نهایت پوسیدگی شدید دندان می‌شود. در این شرایط استخوان‌سازی نیز تحت تأثیر منفی قرار گرفته و خشکی و سفتی استخوان‌ها (فلوروسیس استخوانی) به وجود می‌آید. در موارد بسیار شدیدتر نیز فلوروسیس استخوانی، فلج را به دنبال خواهد داشت. قرارگیری طولانی مدت در معرض آب آشامیدنی با محتوای فلوراید با بیش از ۱/۵ppm، باعث رخداد فلوروسیس دندان‌ها می‌شود در حالی که اگر این مقدار به بیش از ۴ppm برسد باعث ایجاد فلوروسیس استخوانی شده و آب آشامیدنی که در حدود ۱۰ppm فلوراید داشته باشد، باعث لنگ شدگی و در نهایت فلج شدن افراد در ارتباط با این آب‌ها می‌شود (Dissanayake, 1991). در جدول ۳-۵ تأثیر غلظت‌های مختلف فلوراید بر سلامت بدن آورده شده است.

جدول ۳-۵ تأثیر غلظت‌های مختلف فلوراید بر سلامتی (Dissanayake, 1991)

غلظت فلوراید (mg/L)	تأثیر بر سلامتی
۰	کاهش رشد بدن
۰/۵_۰	پوسیدگی دندان‌ها
۰/۵_۱/۵	افزایش سلامت دهان و دندان
۱/۵_۴	فلوروسیس دندان‌نی
۴_۱۰	فلوروسیس دندان‌نی، فلوروسیس استخوانی
۱۰<	فلج شدگی

در اواخر نیمه اول قرن بیستم، دین و الواو فلوروسیس دندان‌نی را به شش دسته تقسیم کردند که به شاخص دین مشهور بوده و عبارت است از: ۰) عادی^۳، ۱) پرسش برانگیز^۴، ۲) خیلی خفیف^۵، ۳) خفیف^۶، ۴) پیشرفته^۷ و ۵) شدید^۸ (Ramirez et al, 2006).

۳-۶ مطالعات پیشین در منطقه مورد مطالعه

شایان ذکر می‌باشد که به جز رسم نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زابل و نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بندان و شمال بندان توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، در منطقه مورد مطالعه هیچ گونه مطالعه‌ای بر روی ژئوشیمی، کیفیت منابع آب و زمین‌پزشکی صورت نپذیرفته است.

³ normal
⁴ questionable
⁵ very mild
⁶ mild
⁷ moderate
⁸ severe

فصل چهارم

مواد و روش‌ها

۴-۱ مقدمه

در این پژوهش پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای پیرامون موضوع پایان نامه، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه و نیز بررسی‌های صحرایی اولیه، نقاط نمونه‌برداری آب، سنگ و رسوب تعیین گردید و پس از آنالیز نمونه‌ها به روش استاندارد و مشخص شدن وجود آلودگی در منابع آبی دشت، آماربرداری از سلامت مردم منطقه به منظور انجام مطالعات زمین‌پزشکی صورت پذیرفت.

در این فصل ابتدا نحوه نمونه‌برداری، مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری، روش‌های به کار رفته جهت آنالیز نمونه‌ها شامل تعیین اسیدیته، هدایت الکتریکی، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی و عناصر مختلف در آب، تهیه مقاطع نازک سنگی و تعیین عناصر مختلف در نمونه‌های سنگی و رسوبات منطقه بیان گردیده و سپس به کارهای آماری صورت گرفته بر روی نتایج داده‌های سنگ و رسوب و آب به منظور تعیین منشأ آلودگی‌های احتمالی پرداخته خواهد شد.

۴-۲ نمونه‌برداری

پس از چند بار بازدید صحرایی اولیه از کل محدوده مورد مطالعه، نقاط مورد نظر جهت نمونه‌برداری از آب، رسوبات آبراهه‌ای و سنگ با توجه به فراوانی توزیع، تنوع سنگی و راه‌های دسترسی تعیین گردیدند. نمونه‌گیری‌ها به گونه‌ای انجام پذیرفت که بتوان رابطه‌ای منطقی بین ترکیبات موجود در سنگ‌ها و رسوبات با آب را به دست آورد.

۴-۲-۱ نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای و سنگ‌های منطقه

نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای و سنگ‌های منطقه در اردیبهشت ۱۳۸۹ صورت پذیرفت. پس از نمونه‌برداری از مجموع نمونه‌های سنگی، تعداد ۱۱ مقطع نازک تهیه شد. همچنین تعداد ۱۶ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای رودخانه‌ای و ۴ نمونه از سنگ‌های منطقه که بیشترین تأثیر احتمالی را بر کیفیت آب

زیرزمینی دشت داشتند، جهت آنالیز عناصر و فلزات سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه Labwest استرالیا ارسال گردید. شایان ذکر است که نمونه‌های رسوب با علامت اختصاری S و نمونه‌های سنگی، نمونه PI از جنس بازالت‌های حفره‌دار، ba بازالت بالشی موجود در افیولیت‌ها، Ms توف‌های بازیک و Ku روانه‌های آندزیتی-بازالتی هستند. در شکل ۱-۴ و جدول ۱-۴ موقعیت مکانی نمونه‌های سنگ و رسوب آورده شده است.

۲-۲-۴ نمونه‌برداری از منابع آب منطقه

جهت تعیین و بررسی میزان عناصر و ترکیبات محلول در منابع آب منطقه، در پایان فصل تر (اردیبهشت ۱۳۸۹) از منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نمونه‌گیری به عمل آمد. از بین ۱۸ نمونه آب گرفته شده از منطقه، تعداد ۳ نمونه مربوط به قنات (مظهر قنات)، ۱۱ نمونه مربوط به چاه، ۳ نمونه مربوط به رودخانه و ۱ نمونه مربوط به چشمه بوده است. موقعیت مکانی مناطق نمونه‌برداری از منابع آب محدوده مورد مطالعه در شکل ۱-۴ و جدول ۲-۴ آورده است. شایان ذکر می‌باشد که علامت اختصاری نمونه‌های گرفته شده از قنات: Q، چاه: W، رودخانه: R و چشمه: Sp است.

۳-۴ آماده سازی و آنالیز نمونه‌ها

۱-۳-۴ تعیین pH و EC آب

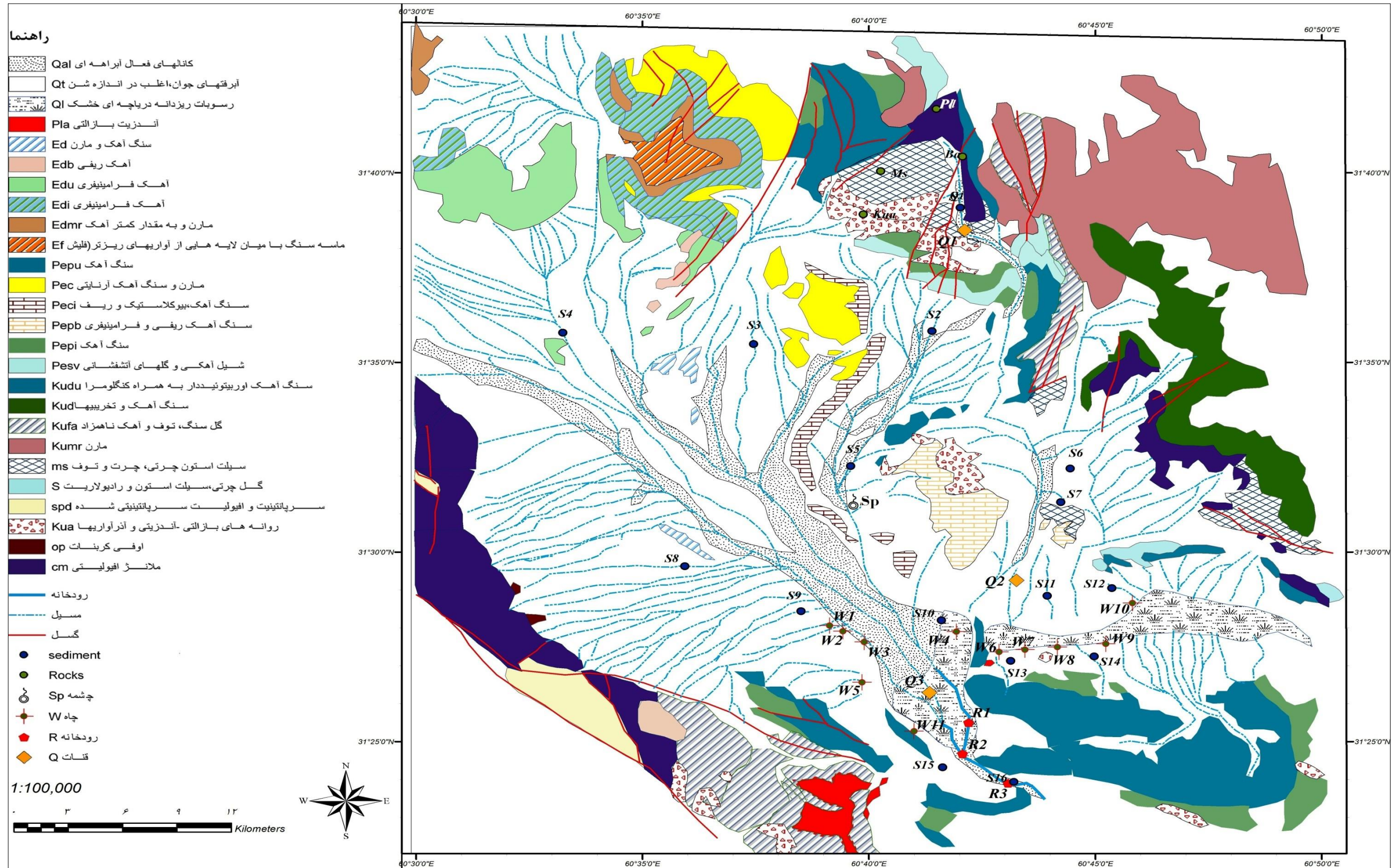
pH و EC آب دو پارامتر مهم و قابل اندازه‌گیری در محل می‌باشد. این دو پارامتر در محل و با استفاده از pH-EC متر مدل WT-410I اندازه‌گیری گردید.

۲-۳-۴ تعیین pH رسوبات

جهت تعیین pH رسوبات برداشت شده از روش استاندارد (US EPA Test Method, 1998, Method 9045) آمریکا استفاده شد. بدین ترتیب که ۲۰ گرم از رسوبات که قبلاً خرد شده و از مش ۶۰ عبور داده شده‌اند را به همراه ۲۰ میلی لیتر آب در یک بشر ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به مدت ۵ دقیقه بر روی هم زن مدل (IKA.RH.Basic2) قرار داده شد.

جدول ۴-۱ موقعیت مکانی نمونه‌های سنگ و رسوب

علامت اختصاری	نوع نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
S1	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۷۰۰ °E	۳۱/۶۵۱ °N
S2	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۶۹۰ °E	۳۱/۵۹۷ °N
S3	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۶۲۴ °E	۳۱/۵۹۱ °N
S4	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۵۵۴ °E	۳۱/۵۹۷ °N
S5	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۶۶۰ °E	۳۱/۵۳۷ °N
S6	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۷۴۱ °E	۳۱/۵۳۶ °N
S7	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۷۳۷ °E	۳۱/۵۲۶ °N
S8	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۵۹۹ °E	۳۱/۴۹۴ °N
S9	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۶۴۲ °E	۳۱/۴۷۴ °N
S10	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۶۹۳ °E	۳۱/۴۷۰ °N
S11	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۷۳۲ °E	۳۱/۴۸۱ °N
S12	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۷۵۶ °E	۳۱/۴۸۴ °N
S13	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۷۱۹ °E	۳۱/۴۵۲ °N
S14	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۷۵۰ °E	۳۱/۴۵۴ °N
S15	رسوبات آبراهه‌ای	۶۰/۶۹۴ °E	۳۱/۴۰۶ °N
S16	رسوبات رودخانه‌ای	۶۰/۷۲۰ °E	۳۱/۳۹۹ °N
PI	بازالت‌های حفره‌دار	۶۰/۶۹۲ °E	۳۱/۶۹۵ °N
Ba	بازالت‌های بالشی	۶۰/۷۰۱ °E	۳۱/۶۷۴ °N
Ms	توف‌های بازیک	۶۰/۶۷۱ °E	۳۱/۶۶۷ °N
Kua	روانه‌های بازالتی - آندزیتی	۶۰/۶۶۵ °E	۳۱/۶۴۸ °N



نقشه ۱-۴ موقعیت مکانی نمونه‌های آب، سنگ و رسوب

جدول ۲-۴ محل‌های نمونه‌برداری از منابع آب

علامت اختصاری	نوع نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
Q1	قنات	۶۰/۷۰۰°E	۳۱/۶۴۰°N
Q2	قنات	۶۰/۷۰۹°E	۳۱/۴۷۳°N
Q3	قنات	۶۰/۶۸۷°E	۳۱/۴۳۵°N
W1	چاه	۶۰/۶۴۲°E	۳۱/۴۶۸°N
W2	چاه	۶۰/۶۵۲°E	۳۱/۴۵۹°N
W3	چاه	۶۰/۶۶۷°E	۳۱/۴۵۵°N
W4	چاه	۶۰/۶۹۱°E	۳۱/۴۵۵°N
W5	چاه	۶۰/۶۶۸°E	۳۱/۴۴۵°N
W6	چاه	۶۰/۷۱۰°E	۳۱/۴۵۱°N
W7	چاه	۶۰/۷۲۲°E	۳۱/۴۵۲°N
W8	چاه	۶۰/۷۳۳°E	۳۱/۴۵۰°N
W9	چاه	۶۰/۷۴۱°E	۳۱/۴۵۳°N
W10	چاه	۶۰/۷۵۵°E	۳۱/۴۶۰°N
W11	چاه	۶۰/۶۷۵°E	۳۱/۴۲۴°N
R1	رودخانه	۶۰/۷۰۰°E	۳۱/۴۲۰°N
R2	رودخانه	۶۰/۷۰۲°E	۳۱/۴۰۳°N
R3	رودخانه	۶۰/۷۱۷°E	۳۱/۳۹۱°N
Sp	چشمه	۶۰/۶۵۸°E	۳۱/۵۰۸°N

سپس مخلوط آب و رسوب را به مدت یک ساعت در حالت سکون قرار داده و در نهایت pH محلول توسط pH متر Jenway مدل ۳۵۱۰ اندازه‌گیری شد.

۳-۳-۴ اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر اصلی در منابع آب

برای رسیدن به این هدف، نمونه‌های آب برداشته شده به آزمایشگاه شیمی آب شرکت آب و فاضلاب

روستایی استان خراسان جنوبی ارسال و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب به همراه میزان فلوراید اندازه‌گیری شد.

۴-۳-۴ تعیین غلظت فلزات سنگین و سایر عناصر مختلف در آب

بدین منظور نمونه‌های آبی گرفته شده که قبلاً pH آنها توسط اسید نیتریک ۰.۲۵٪ به زیر ۳ رسانده شده بود، به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شده و با روش ICP-MS، غلظت فلزات سنگین و سایر عناصر مختلف (۷۲ عنصر) در آب تعیین گردید.

ICP یا پلاسمای زوج شده القایی محیطی است که حاوی یک گاز مایع یونیزه شده است. این گازها بسیار داغ بوده و تعداد زیادی از الکترون‌ها و یون‌های با بار مثبت در آن وجود دارد و یک مشعل پلاسمایی تشکیل شده از سه لوله هم مرکز می‌باشد. از لوله مرکزی اسپری نمونه به همراه گاز آرگون وارد شده و از لوله میانی هم گاز آرگون دمیده می‌شود و یک لوله خارجی هم دارد. در بالای این لوله سه قسمتی دو یا سه دور سیم قطور با قطر زیاد پیچیده شده است که توسط این سیم‌ها یک میدان رادیوفرکانس (R.F) با قدرت ۲KW و فرکانس ۲۷μHz اعمال می‌شود. چون یک میدان قوی R.F داریم، الکترون‌ها با سرعت بسیار زیادی حرکت می‌کنند و به اتم‌های گاز آرگون که به سمت بالا می‌آید، برخورد می‌کنند. این فرایند به آزاد شدن حرارت می‌انجامد به طوری که دمای محیط خیلی سریع به ۱۰۰۰°K می‌رسد. این روش می‌تواند علاوه بر اندازه‌گیری عناصر کمیاب، ایزوتوپ‌ها را نیز تعیین کند. در این روش، یون‌های موجود در پلاسما، از طریق یک سوراخ کوچک به داخل سیستم خلاء کشیده شده و توسط یک عدسی یونی در درون طیف‌سنج جرمی متمرکز و تعیین می‌گردند.

۴-۳-۵ تعیین غلظت عناصر مختلف در سنگ‌ها و رسوبات

به این منظور ابتدا نمونه‌هایی از سنگ و رسوب انتخاب شدند که بیشترین تأثیر را بر کیفیت منابع آب داشته باشند. در نتیجه تعداد ۱۶ نمونه رسوب و ۴ نمونه سنگی به آزمایشگاه labwest استرالیا ارسال شد

تا با استفاده از روش ICP-MS غلظت فلزات سنگین و سایر عناصر در سنگ‌ها و رسوبات تعیین شود. برای تعیین فلوراید موجود در سنگ‌ها و رسوبات از روش DIN5104 در همان آزمایشگاه استفاده گردید. در این روش ۲۰۰ میلی گرم از رسوبی که قبلاً خرد شده و اندازه آن به کمتر از $100\ \mu\text{m}$ رسیده است به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 950°C با ۳۰۰ میلی گرم ZnO و ۱ گرم Na_2CO_3 در ۱۰۰ میلی لیتر از آبی که pH آن توسط اسید نیتریک ۵/۸ رسیده است قرار داده می‌شود. پس از این مرحله، با اضافه کردن محلول تیزاب سلطانی ۱:۱، به وسیله الکتروود تعیین کننده فلوراید، غلظت فلوراید اندازه‌گیری می‌گردد (Knodel et all, 2007).

فصل پنجم

ژئوشیمی منطقه

۵-۱ مقدمه

به منظور بررسی عناصر محلول در آب‌های زیرزمینی، ابتدا نیاز است تا به بررسی رسوبات در تماس با آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبریز پرداخته شود. نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌های سنگ و رسوبات منطقه در جدول ۵-۱ آورده شده است. در این فصل با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی سنگ‌ها و رسوبات و با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف به بررسی ژئوشیمیایی و پراکندگی غلظت عناصر در رسوبات و سنگ‌های منطقه و همچنین تفسیر همبستگی عناصر، فاکتور غنی شدگی، شاخص زمین انباشتگی، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی، آنالیز خوشه ای و تحلیل مؤلفه اصلی پرداخته شده است.

۵-۲ پراکندگی غلظت عناصر در سنگ‌ها و رسوبات آبراه‌های منطقه

به منظور نشان دادن پراکندگی برخی از عناصر و فلزات سنگین، از تعداد ۴۵ عنصری که غلظت آن‌ها تعیین شد، ۱۵ عنصر بر حسب اولویت‌های زیست‌محیطی و غلظت آن‌ها در نمونه‌های سنگی، رسوبات و آب انتخاب شدند. جهت نمایش پراکنش عناصر با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS 9.3 و Surfer 8.2 مقادیر غلظت عناصر بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه ترسیم گردید.

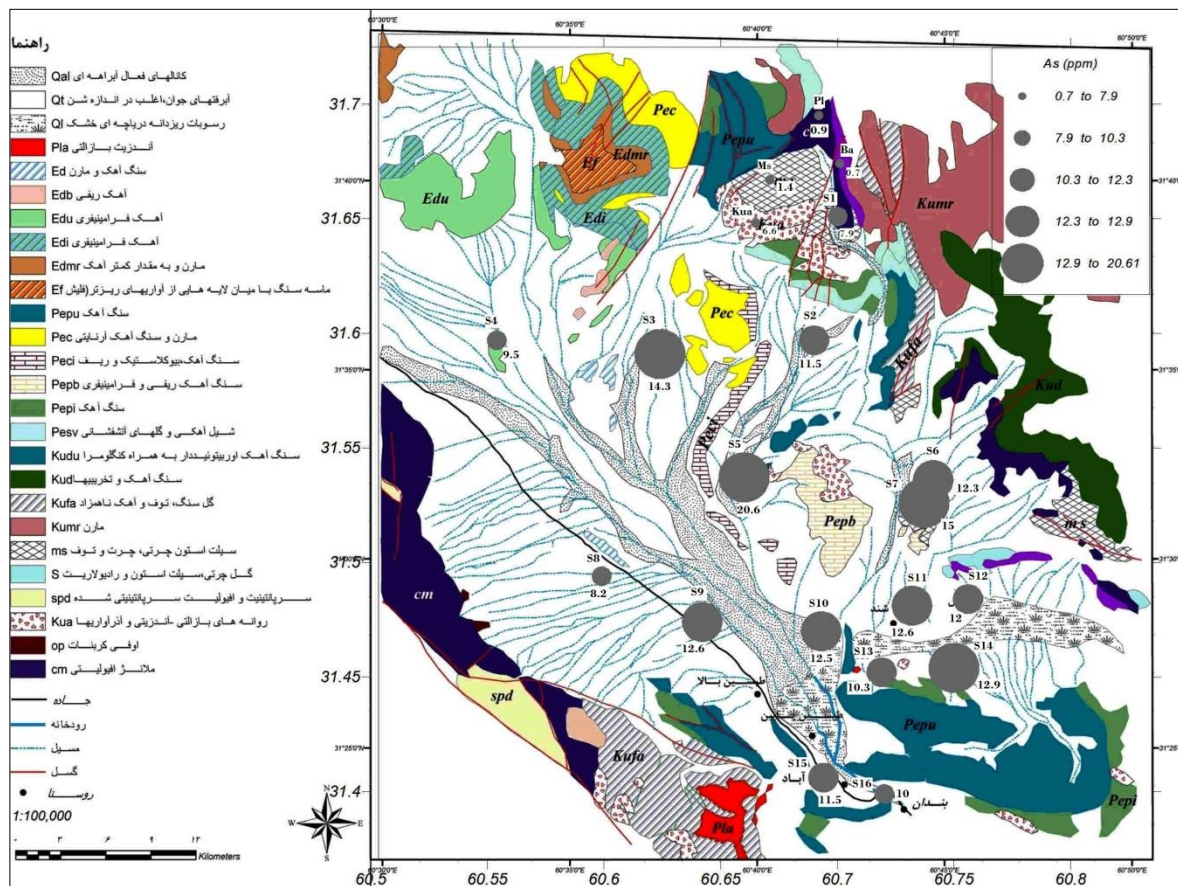
۵-۲-۱ آرسنیک (As)

نحوه پراکنش آرسنیک در منطقه (شکل ۵-۱) نشان می‌دهد که مقادیر آرسنیک در چهار نمونه سنگی (۰/۹-۶/۶ ppm) بسیار کمتر از نمونه‌های رسوب (۷/۹-۲۰/۶ ppm) است. دلیل این امر این است که در مناطق خشک، به علت وجود pH بالا، جذب آرسنیک توسط موادی همچون اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی افزایش می‌یابد، بنابراین آرسنیک در آب خیلی کم حل می‌شود و در نتیجه در رسوبات مشتق شده از واحدهای سنگی تغلیظ می‌گردد (Smedly & Kinniburgh, 2001). از میان نمونه‌های سنگی، روانه‌های آندزیتی - بازالتی (Kua) آرسنیک بالاتری دارند. از میان رسوبات آبراه‌های نیز نمونه S5 که مستقیماً از

جدول ۵-۱ مقادیر pH و غلظت عناصر در رسوبات و سنگ‌های منطقه بر حسب ppm

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mo	Ni	P	S	V	Zn	Sr	F	pH
S1	۶۴۰۰۱	۷/۹	۴۵۲	۲۹/۵	۳۸۷۵۷	۶۴۵۵۲	۰/۷	۲۹۰	۴۵۵	۷۷	۹۸	۵۲/۲	۳۰۶/۲	۳۰۰	۸/۴
S2	۷۴۰۸۳	۱۱/۵	۱۱۱	۲۸/۲	۳۲۹۵۵	۲۰۸۲۷	۰/۹	۵۷/۸	۵۲۵	۸۹۵	۹۵	۵۴	۴۶۷/۹	۴۰۰	۸/۱۲
S3	۷۵۶۹۱	۱۴/۳	۱۷۰	۲۳/۷	۳۸۵۳۴	۲۳۸۲۲	۰/۹	۸۷	۷۹۵	۵۵۴	۹۷	۶۰/۳	۵۴۴	۴۰۰	۸/۴۳
S4	۷۱۳۱۲	۹/۵	۳۶۰	۱۸/۹	۳۱۹۵۹	۲۹۹۳۹	۰/۸	۱۳۵/۸	۴۱۴	۱۵۸	۸۸	۴۸/۹	۴۱۳	۲۰۰	۸/۱۶
S5	۷۲۴۲۰	۲۰/۶	۲۳۱	۳۰/۹	۴۱۰۱۴	۲۷۵۹۴	۰/۹	۹۰/۶	۴۶۵	۱۲۹	۱۱۹	۵۸/۴	۴۳۲/۳	۴۰۰	۸/۰۴
S6	۵۵۴۹۴	۱۲/۳	۱۵۶	۲۶/۹	۲۸۳۲۸	۲۹۰۰۴	۰/۷	۱۳۱	۳۴۰	۱۱۱	۷۳	۴۶/۸	۵۶۵/۸	۲۰۰	۸/۶۳
S7	۵۵۶۹۴	۱۵	۲۰۵	۲۷/۱	۳۲۴۱۳	۲۵۷۲۲	۰/۸	۱۱۲/۸	۳۵۷	۱۱۱	۸۷	۵۳/۱	۵۸۶/۵	۷۰۰	۸/۲۷
S8	۴۴۹۹۳	۸/۲	۱۱۵۲	۱۸/۲	۳۹۹۶۳	۱۱۶۳۱۴	۰/۶	۵۹۲/۱	۲۰۰	۱۷۰	۷۸	۴۲/۶	۳۰۲	۲۰۰	۸/۶۸
S9	۶۸۶۵۵	۱۲/۶	۴۶۱	۲۳/۳	۳۷۱۷۴	۶۰۹۴۲	۰/۸	۲۷۹/۸	۳۷۸	۲۹۴	۹۵	۵۴/۵	۴۶۴	۶۰۰	۸/۸۶
S10	۷۷۲۰۳	۱۲/۵	۲۲۶	۲۴/۹	۳۶۸۵۷	۲۸۸۱۴	۱/۳	۸۸/۵	۶۲۹	۳۰۸	۹۵	۵۳/۳	۵۰۲/۸	۴۰۰	۸/۵۱
S11	۶۹۹۳۶	۱۲/۶	۱۲۴	۲۵/۹	۳۲۶۶۱	۲۲۲۹۰	۰/۷	۷۵/۹	۳۸۹	۱۳۱	۹۴	۵۳/۴	۴۶۷/۶	۵۰۰	۷/۹۶
S12	۶۷۵۴۹	۱۲	۱۷۰	۲۷/۴	۳۲۵۹۲	۳۲۸۴۰	۰/۷	۱۳۴/۵	۵۵۱	۱۴۳	۸۶	۵۶/۸	۴۲۷/۸	۶۰۰	۸/۱۴
S13	۶۳۰۵۲	۱۰/۳	۱۳۱	۲۱/۲	۳۱۱۰۱	۲۰۴۲۱	۰/۷	۶۸/۸	۴۷۹	۱۵۰	۹۱	۴۵/۹	۴۳۹/۹	۴۰۰	۸/۲
S14	۵۶۱۲۷	۱۲/۹	۱۴۷	۲۴	۲۶۱۳۳	۱۸۸۰۴	۰/۶	۷۰/۳	۴۱۵	۲۶۳	۷۱	۴۳/۸	۵۸۴	۴۰۰	۸/۲۹
S15	۶۳۵۲۴	۱۱/۵	۸۴۱	۲۰/۸	۴۰۰۴۸	۵۴۸۷۲	۰/۹	۲۹۹/۲	۳۴۰	۱۵۵	۹۹	۵۰/۵	۴۲۵	۴۰۰	۸/۶۱
S16	۶۷۵۱۱	۱۰	۴۰۸	۱۸/۷	۳۱۲۷۷	۳۵۰۸۸	۱	۱۴۸	۴۴۲	۲۹۴۲	۷۷	۴۱/۷	۶۶۹/۶	۳۰۰	۸/۱۱
P1	۱۰۶۵۸۵	۰/۹	۹۴	۷۸/۷	۵۰۵۷۲	۳۱۹۶۸	۱/۳	۴۸/۵	۶۳۲۱	۱۴۳۵	۱۷۹	۱۱۱/۷	۲۰۲۶/۹	۱۴۰۰	۸/۷۲
ba	۴۲۴۳۰	۰/۷	۳۳	۲۸	۱۷۳۵۷	۱۰۸۵۱	۰/۳	۳۵/۶	۳۷۸	۴۶	۴۷	۳۴/۶	۲۹۸/۸	۳۰۰	۸/۲۶
Ms	۸۹۰۹۱	۱/۴	۷۱	۱۰۸/۲	۳۹۷۲۲	۱۹۳۱۳	۰/۶	۳۳	۴۰۷	۴۵	۱۴۴	۶۵/۸	۱۸۶	۴۰۰	۸/۳۴
Kua	۱۱۰۴۳۸	۶/۶	۲	۴۷/۸	۶۵۷۶۷	۱۴۹۰۳	۱	۴/۲	۱۷۶۷	۴۰	۲۵۹	۹۴/۵	۵۱۱/۱	۶۰۰	۷/۹۹

روانه‌های آندزیتی-بازالتی مشتق می‌شود، محتوای آرسنیک بالاتری نسبت به بقیه دارد. با وجود آنکه مقدار آرسنیک در توف‌های بازالتی (Ms) پایین است (۱/۴ ppm) ولی نمونه S7 که از این سنگ‌ها سرچشمه می‌گیرد، محتوای آرسنیک بالایی (۱۵ ppm) دارد که این امر نشان‌گر غنی‌شدگی بالای آرسنیک در رسوبات مربوط به این واحد سنگی است. همان‌گونه که در فصل ۳ نیز به آن اشاره شد، آرسنیک در رسوبات ریزدانه و کانی‌های رسی تجمع می‌یابد، بنابراین طبیعی است که مقدار آن در رسوبات مشتق شده از مارن و سنگ آهک آرنایتی در نمونه S3 (۱۴/۳ ppm) بالا باشد.

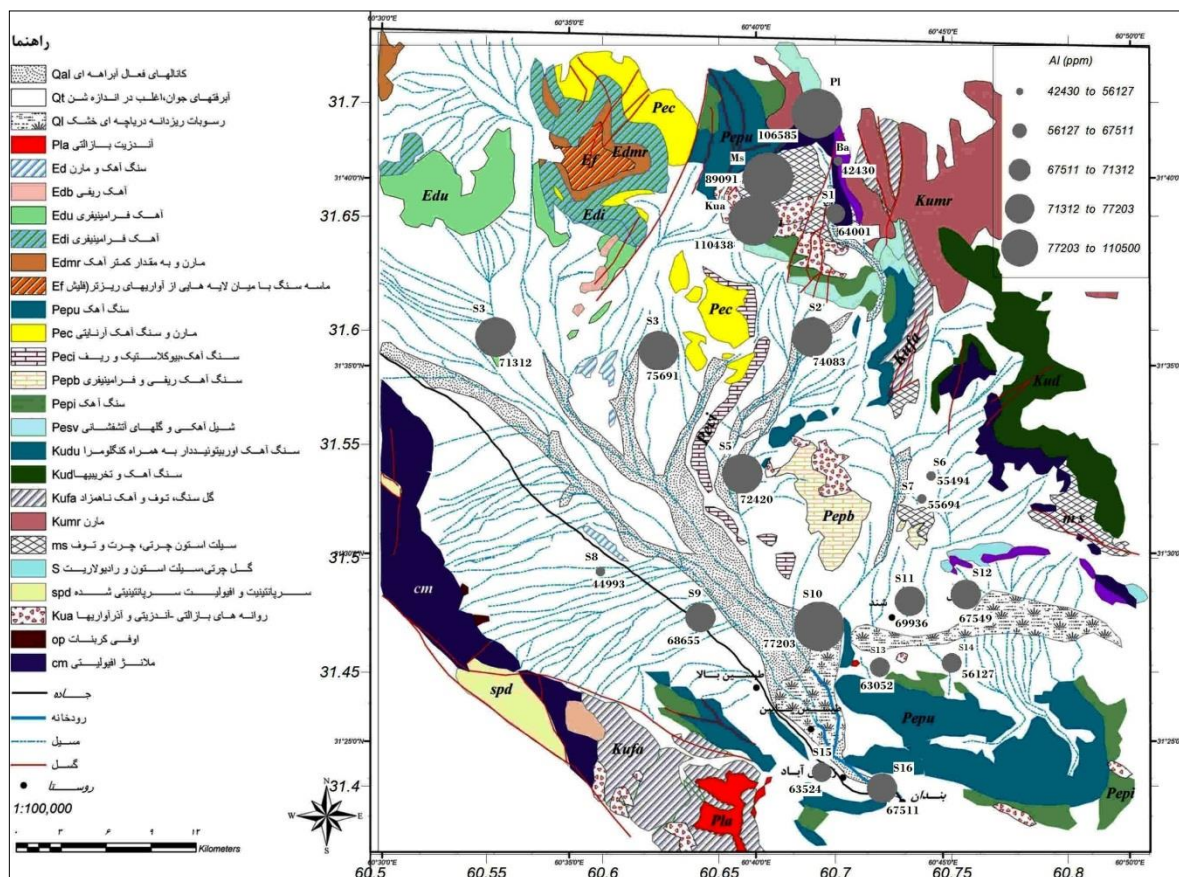


شکل ۵-۱ پراکندگی غلظت آرسنیک در نمونه‌های رسوب و سنگ منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۲ آلومینیم (Al)

همان‌گونه که در شکل ۵-۲ نیز نشان داده شده است، غلظت آلومینیم در سنگ‌ها و رسوبات تفاوت چندانی ندارد. پاسخ این مسئله را می‌توان در عدم شستشوی آلومینیم از رسوبات آبراهه‌ای جستجو کرد. آلومینیم

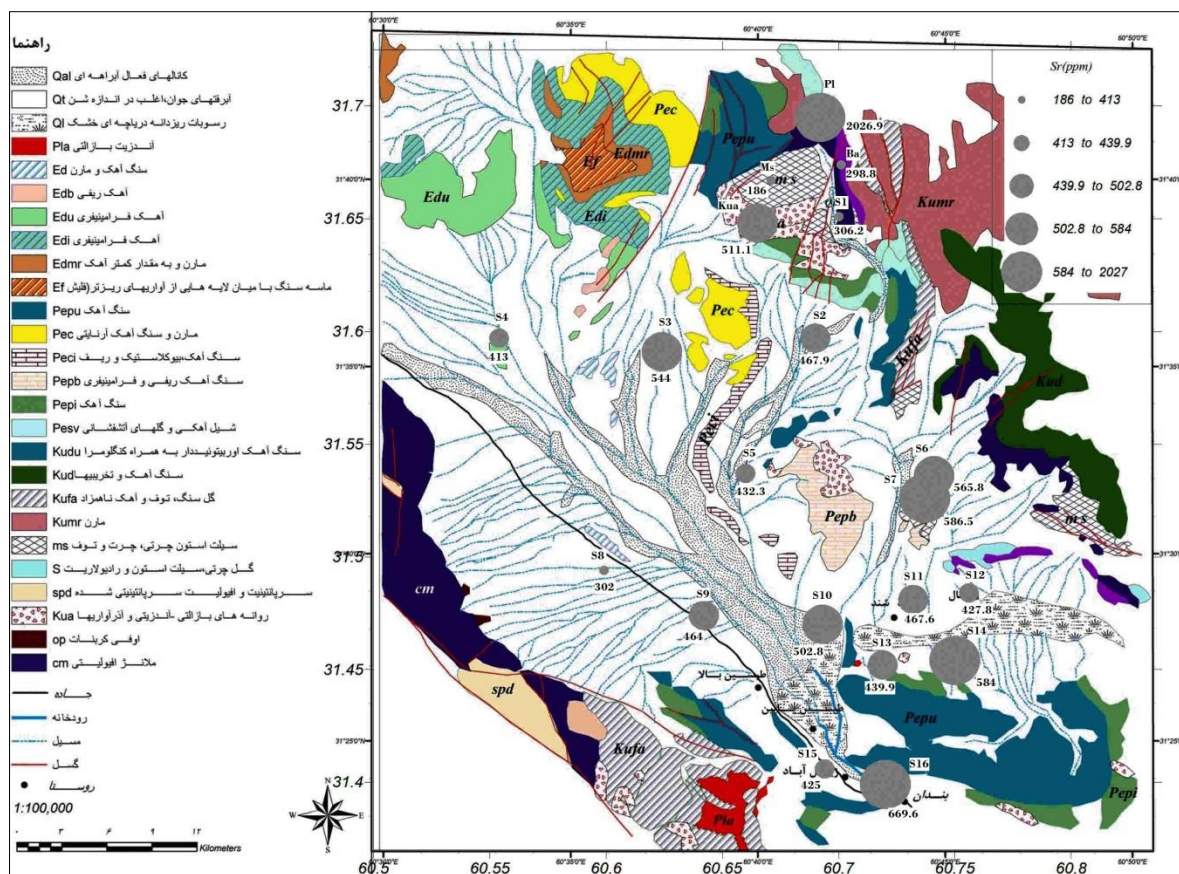
در سنگ‌های آذرین بیشتر در آلومینوسیلیکات‌هایی چون پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، بیوتیت و مسکوویت تمرکز می‌یابد. با توجه به میزان تمرکز آلومینیم در نمونه‌های سنگی، به نظر می‌رسد که روانه‌های بازالتی-آندزیتی (Kua) با 110438 ppm آلومینیم، حاوی بیشترین کانی‌های آلومینوسیلیکاتی در میان سایر نمونه‌های سنگی می‌باشد. به طور کلی هر چه رسوبات ریزدانه‌تر باشند، به علت فراوانی آلومینیم در کانی‌های رسی، محتوای آلومینیم آن‌ها نیز بیشتر می‌شوند. از میان نمونه‌های رسوب، نمونه S10 با توجه به نزدیکی به رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای دارای بالاترین غلظت آلومینیم (77203 ppm) است. همانگونه



شکل ۵-۲ پراکندگی غلظت آلومینیم در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه که در شکل ۵-۲ نیز مشاهده می‌شود، منشأ نمونه‌های رسوب S2 و S3 بیشتر از مارن‌های آهکی و آهک‌های مارنی است بنابراین بالا بودن مقادیر آلومینیم (به ترتیب 74083 و 75691 ppm) در این دو نمونه قابل انتظار است.

۵-۲-۳ استرانسیم (Sr)

مقدار استرانسیم همانند آلومینیم، در رسوبات و سنگ‌ها تفاوت چندانی ندارد. از میان نمونه‌های سنگی، مقادیر استرانسیم در بازالت‌های حفره‌دار (PI) بیشتر (۲۰۲۶/۹ ppm) از سایرین است که به نظر می‌رسد دلیل آن جایگزینی استرانسیم به جای کلسیم به علت خواص شیمیایی مشابه در کانی‌های آلومینوسیلیکاته مانند پلاژیوکلاز است. در نمونه‌های رسوب، مقدار استرانسیم در نمونه S16، رسوب



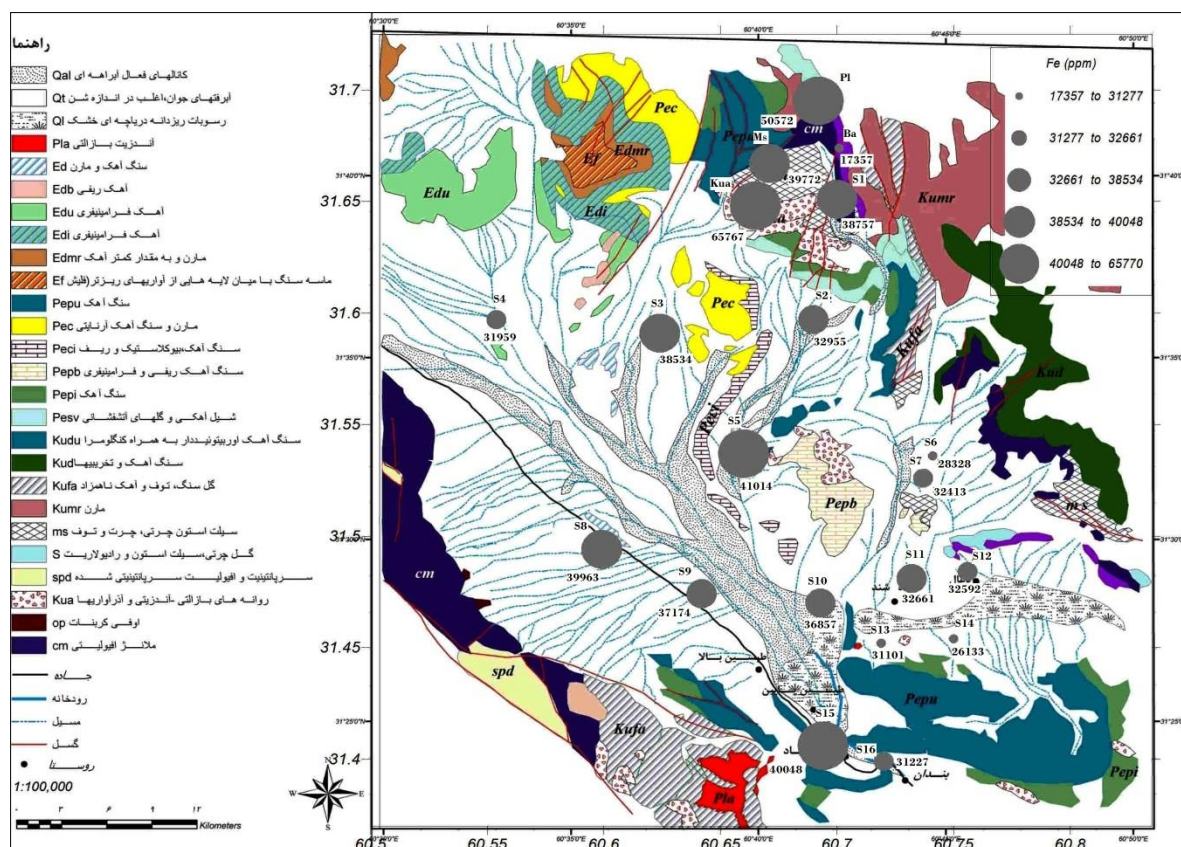
شکل ۵-۳ پراکندگی غلظت استرانسیم در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

مربوط به خروجی حوضه (۶۶۹/۶ppm) بالاتر از سایرین است. با توجه به فراوانی سنگ‌های آهکی با میان لایه‌های نازک کانی‌های تبخیری در خروجی حوضه و جانشینی استرانسیم با کلسیم در بسیاری از کانی‌ها، احتمالاً منشأ استرانسیم در رسوبات موجود در این بخش از رسوبات حوضه نیز از همین سنگ‌ها

است. همچنین میزان استرانسیم در نمونه رسوب سرچشمه گرفته از توفهای بازیک (S7) نیز نسبتاً بالا (۵۸۶/۵ ppm) است. این امر نیز می‌تواند به دلیل محتوای بالای کلسیم در توفهای بازیک و جایگزینی استرانسیم با کلسیم در این سنگ‌ها باشد.

۵-۲-۴ آهن (Fe)

همانگونه که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، مقدار آهن از بین ۴ نمونه سنگی، در روانه‌های بازالتی-آندزیتی (Kua) بیشتر از سایرین (۶۵۷۶۷ ppm) است. دلیل امر این است که به طور کلی آهن در



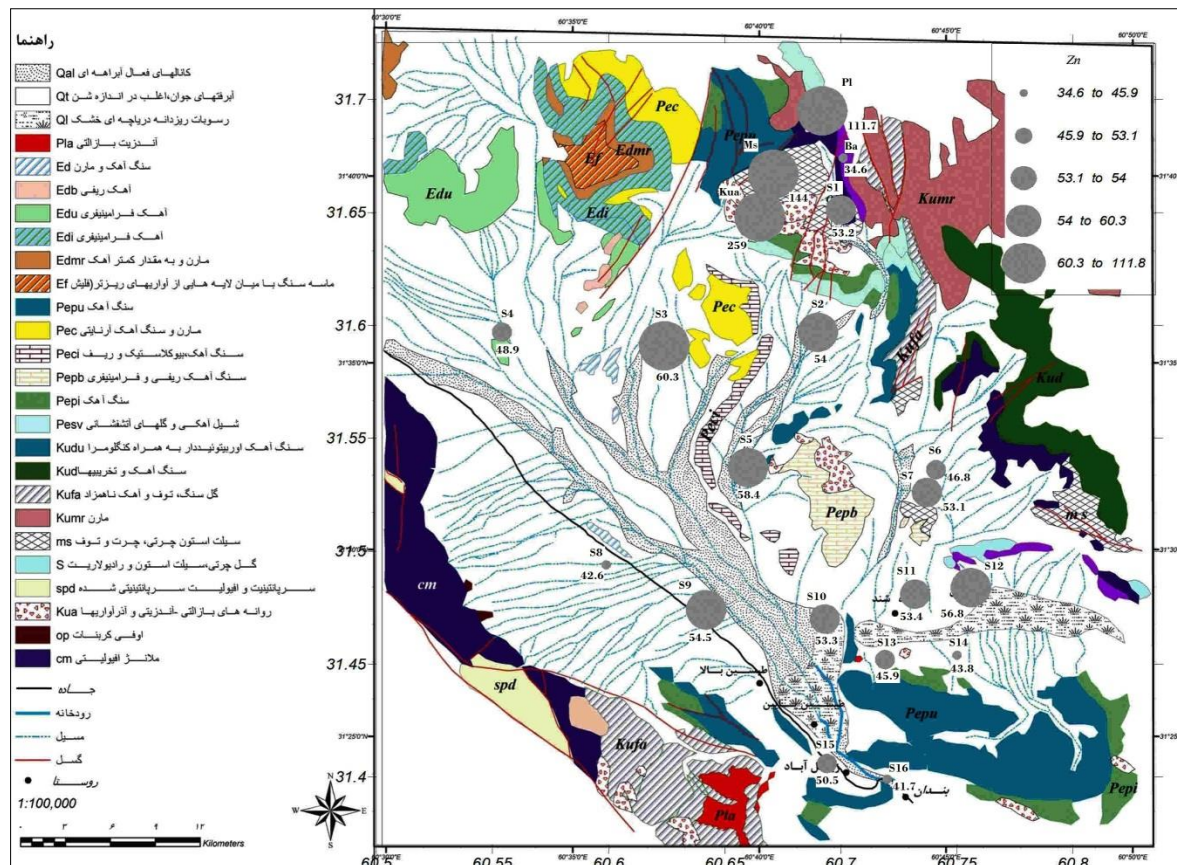
شکل ۴-۵ پراکندگی غلظت آهن در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

سنگ‌های آذرین حدواسط دارای غلظت بالایی است (Kabata-Pendia & Mukherjee, 2007). به طور کلی تفاوت چندانی بین مقدار آهن موجود در رسوبات و سنگ‌های منطقه وجود ندارد. نمونه رسوب سرچشمه گرفته از روانه‌های بازالتی-آندزیتی (S5) نیز در میان سایر نمونه‌های رسوبات آبراه‌ای مقدار

آهن بالاتری (41014 ppm) دارد. پس از آن نمونه رسوب S15 که سنگ مادر آن را بیشتر آندزیت‌های بازالتی پلیوسن (Pla) تشکیل می‌دهند، آهن بیشتری را در خود جای داده است و بعد از این دو نمونه، رسوب نشأت گرفته از افیولیت‌های اولترامافیک (S8) حاوی بیشترین میزان آهن (39963 ppm) است.

۵-۲-۵ روی (Zn)

مطابق شکل ۵-۵ و جدول ۱-۵، اختلاف چندانی در میزان تمرکز روی در سنگ‌ها و رسوبات حاصل از آن‌ها دیده نمی‌شود. از میان نمونه‌های سنگی، بازالت‌های حفره‌دار (PI) بیشترین میزان روی (111/7 ppm) را در خود جای داده است. همان‌گونه که در فصل ۳ به آن اشاره شد، روی قابلیت فراوانی را در جذب شدن توسط کانی‌های رسی دارد (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). بنابراین انتظار می‌رود نمونه رسوب مشتق شده از مارن‌های آهکی (S3) حاوی مقادیر بالای روی (60/3 ppm) نسبت به سایر نمونه‌های رسوب باشند؛ که در این منطقه نیز همین گونه است. پس از آن نمونه‌های رسوب سرچشمه گرفته از روانه‌های بازالتی-آندزیتی (S5) و گل‌سنگ (S12) بالاترین مقادیر روی (به ترتیب 58/4 و 56/8) را به خود اختصاص داده‌اند.



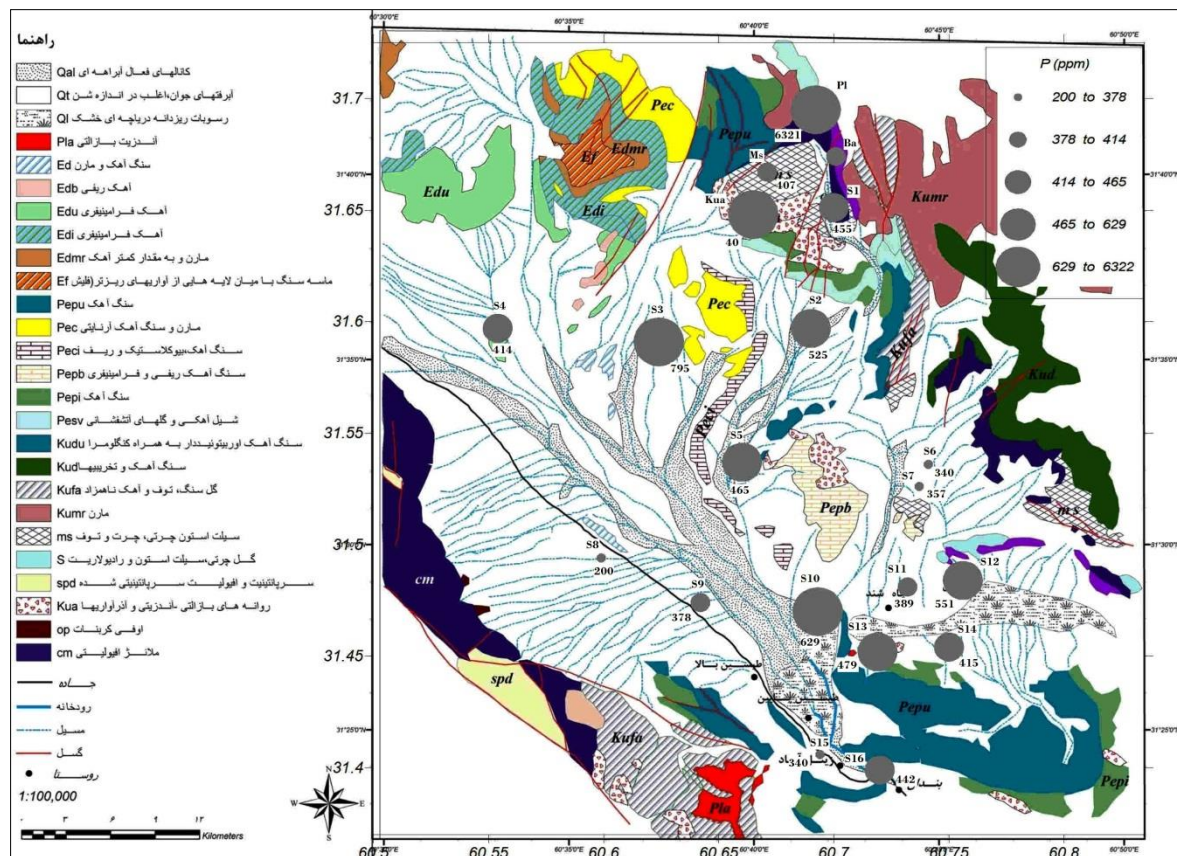
شکل ۵-۵ پراکندگی غلظت روی در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۶ فسفر (P)

همانگونه که در شکل ۵-۶ و جدول ۵-۱ دیده می‌شود، میزان فسفر در نمونه‌های سنگی کمی بیشتر از میزان آن در رسوبات آبراهه‌ای است. بیشترین مقدار فسفر در بازالت‌های حفره‌دار (PI) گزارش شده است (۶۲۳۱ ppm). به طور کلی بیشترین تمرکز فسفات در سنگ‌های آذرین، بیشتر در سنگ‌های حدواسط تا بازیگ است که حاوی آپاتیت هستند (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). بیشترین مقدار فسفر مشاهده شده در رسوبات به ترتیب در رسوبات سرچشمه گرفته از مارن‌های آهکی (S3)، نمونه رسوب نزدیک به رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای (S10) و رسوبات مشتق شده از سیلت‌استون‌ها (S12) دیده می‌شود که به ترتیب ۷۹۵، ۶۲۹ و ۵۵۱ ppm می‌باشند. فسفر در سنگ‌های اولترامافیک مقادیر خیلی کمی دارد

(Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007) بنابراین طبیعی است کمترین میزان فسفر در رسوبات مربوط

به افیولیت‌های اولترامافیک (S8) به میزان ۲۰۰ ppm باشد.

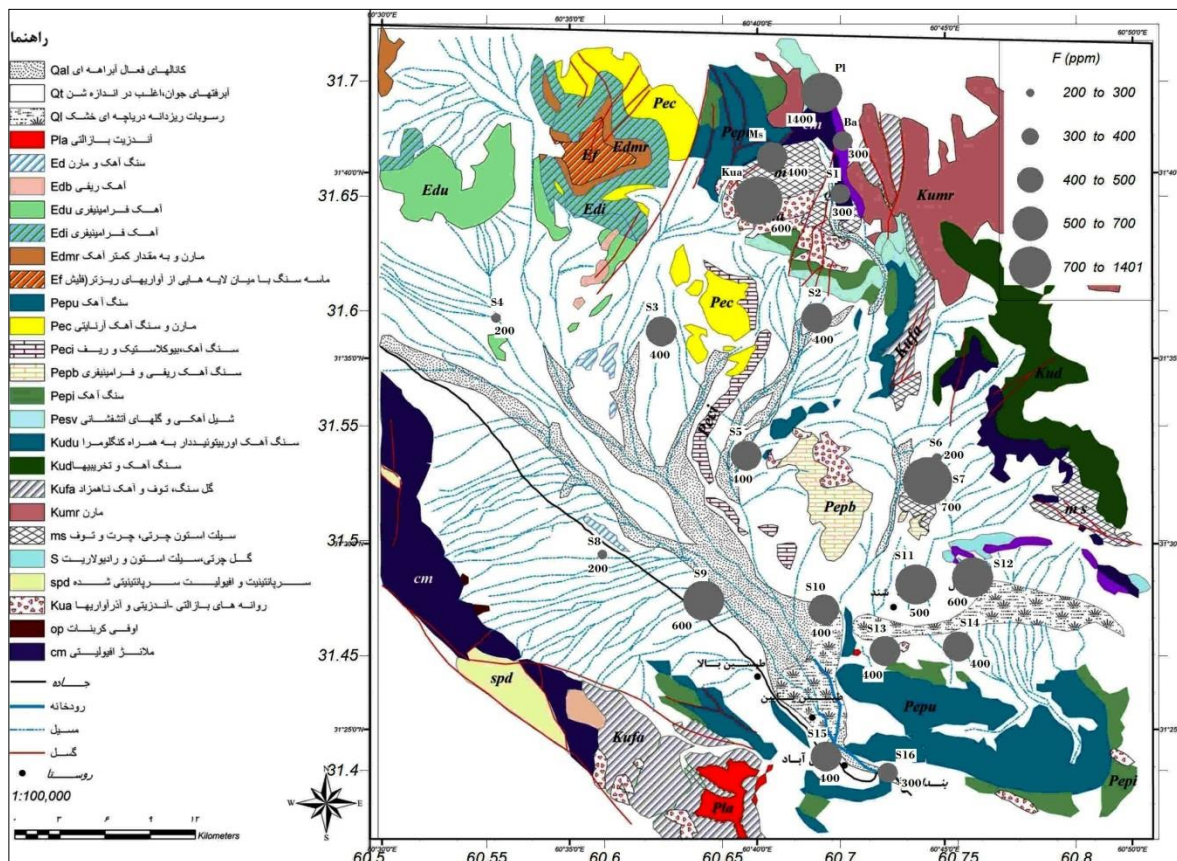


شکل ۵-۶ پراکندگی غلظت فسفر در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۷ فلونور (F)

پراکندگی فلونور در شکل ۵-۷ دیده می‌شود. بیشترین میزان فلونور در بین نمونه‌های سنگی در بازالت-های حفره‌دار (PI) دیده می‌شود (۱۴۰۰ ppm). همانطور که در مورد فسفر به آن اشاره شد، نمونه PI علاوه بر فلونور، حاوی بیشترین غلظت فسفات نیز هست و این امر، احتمال حضور این دو عنصر در این نمونه سنگی به صورت فلونور آپاتیت را تقویت می‌کند. در میان رسوبات آبراهه‌ای، رسوبات برگرفته شده از توف‌های بازیک (S7)، توف‌های لیتیک (S9) و گلسنگ و رادیولاریت (S12) به ترتیب با ۶۰۰، ۷۰۰ ppm،

۶۰۰ بالاترین و رسوبات سرچشمه گرفته از افیولیت‌های اولترامافیک (S8) پایین‌ترین میزان فلئور (ppm) (۲۰۰) را به خود اختصاص داده‌اند که این امر نشان‌دهنده تهی‌شدگی سنگ‌های اولترامافیک از کانی‌های حاوی فلئور، مانند فلئور آپاتیت است.

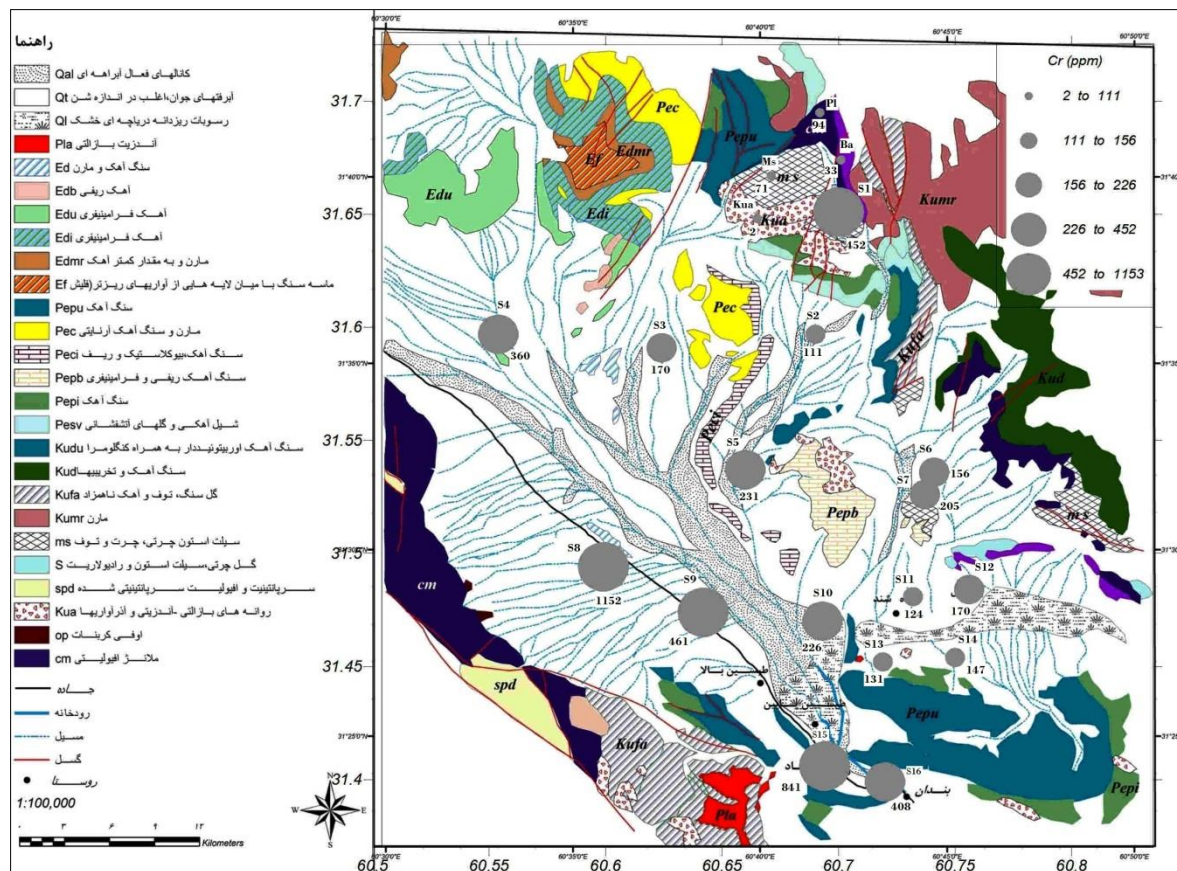


شکل ۵-۷ پراکندگی غلظت فلئور در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۸ کروم (Cr)

بیشترین تمرکز کروم در سنگ‌های اولترامافیک است (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). از آن‌جا که هر ۴ نمونه سنگی از سنگ‌های آذرین حدواسط و نیز توف‌های بازیک گرفته شده‌اند، بنابراین انتظار می‌رود میزان تمرکز کروم در این نمونه‌ها پایین باشد که مقادیر پایین کروم در سنگ‌ها از ۲-۹۴ ppm نیز این مطلب را تأیید می‌کند. همان‌گونه که انتظار می‌رود کروم در نمونه رسوب مشتق شده از افیولیت‌های اولترامافیک (S8)، بالاترین مقدار (۱۱۵۲ ppm) را دارد. به طور کلی کروم در رسوبات برگرفته از نوار

افیولیتی که جهت شمال غرب- جنوب شرق دارند (S9, S15, S8)، بالاترین مقادیر (ppm) ۱۱۵۲، ۸۴۱ و (۴۶) را در بین رسوبات آبراهه‌ای دارد (شکل ۵-۸).

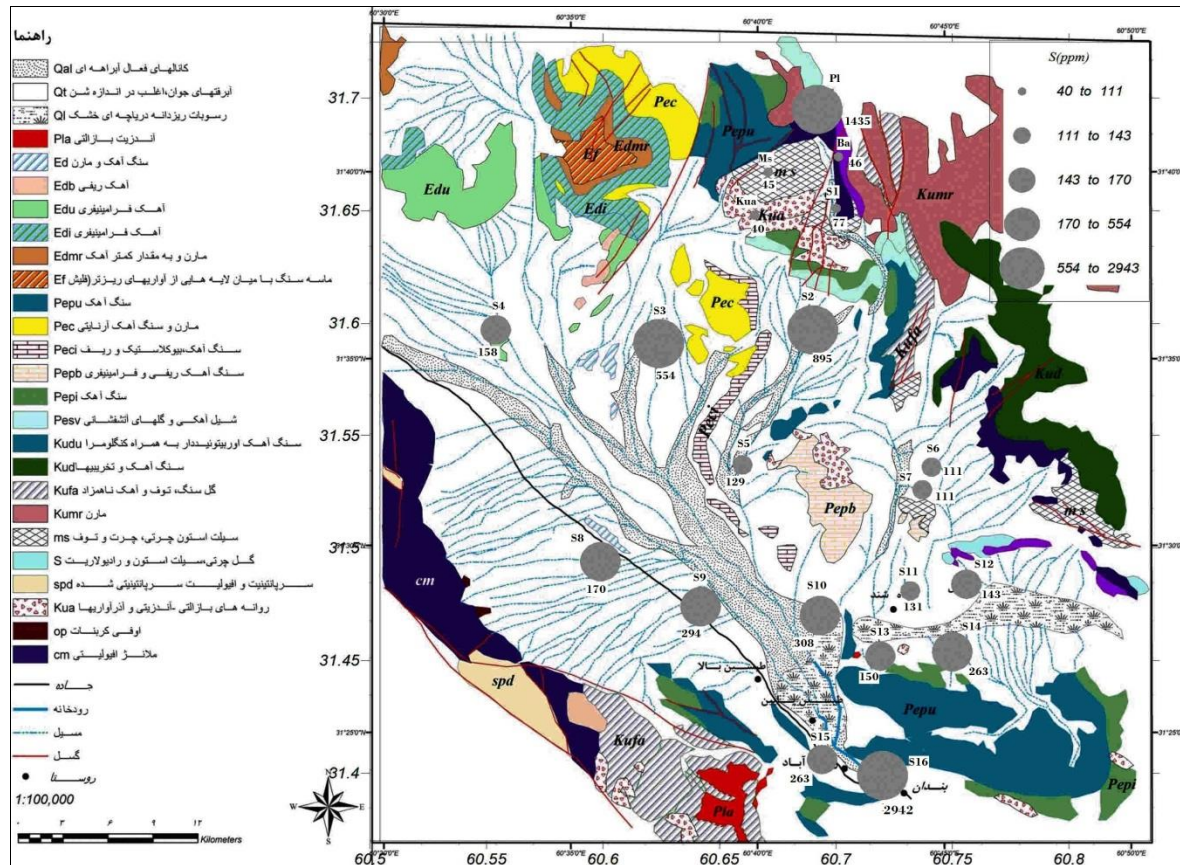


شکل ۵-۸ پراکندگی غلظت کروم در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۹ گوگرد (S)

پراکنش غلظت گوگرد در نمونه‌های رسوب و سنگ موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵-۹ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود محتوای گوگرد در رسوبات بسیار بیشتر از نمونه‌های سنگی است. از بین نمونه‌های سنگی، تنها در بازالت‌های حفره‌دار (PI) میزان گوگرد قابل توجه (۱۴۳۵ ppm) است. بیشترین میزان گوگرد از بین نمونه‌های رسوب، مربوط به انتهای حوضه (S16) به میزان ۲۹۴۲ ppm است. همان‌طور که در بخش ۵-۲-۱ نیز آمده است، از آنجایی که جنس بیشتر ارتفاعات موجود در خروجی حوضه، آهکی با میان لایه‌های نازک لایه کانی‌های تبخیری مانند ژپس است، بنابراین انتظار می-

رود میزان گوگرد در این قسمت از حوضه بالا باشد. نمونه S2 هم که مانند نمونه S16 از همین سنگ‌ها نشأت گرفته است، محتوای گوگرد بالاتری (895 ppm) نسبت به بقیه نمونه‌ها دارد.

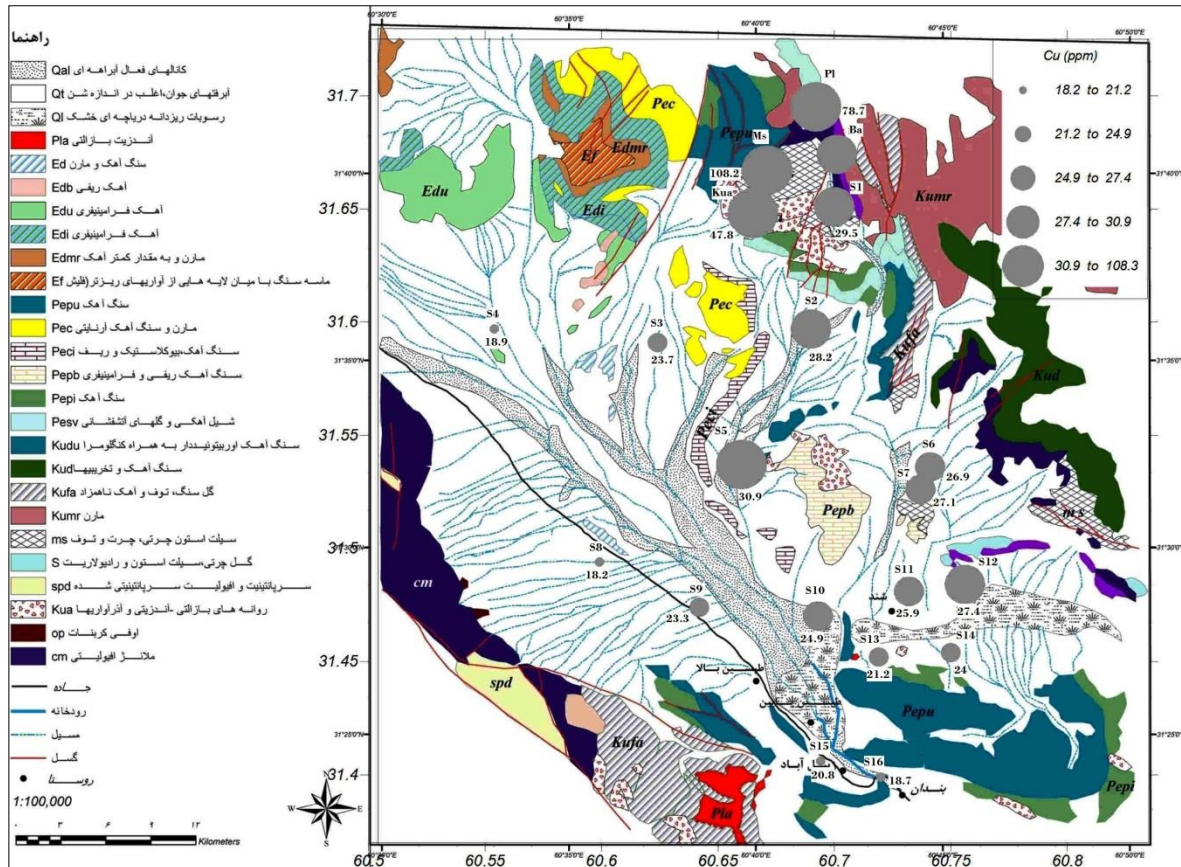


شکل ۵-۹ پراکندگی غلظت گوگرد در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۱۰ مس (Cu)

میزان غلظت این عنصر و پراکندگی آن در رسوبات حوضه به ترتیب در جدول ۵-۱ و شکل ۵-۱۰ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود غلظت مس در سنگ‌ها بیشتر از رسوبات است که این امر قابلیت شستشو شدن مس از رسوبات و ورود احتمالی آنها به منابع آبی منطقه را مشخص می‌سازد. بالاترین میزان مس در نمونه‌های سنگی مربوط به توف‌های بازیک (Ms) به میزان ۱۰۸/۲ ppm است. در رسوبات

نیز بالاترین میزان مس مربوط به نمونه مشتق شده از روانه‌های بازالتی- آندزیتی (S5) به میزان ۳۰/۹ ppm است. به طور کلی مس در منطقه مورد مطالعه، به خصوص در رسوبات، تمرکز بالایی ندارد.

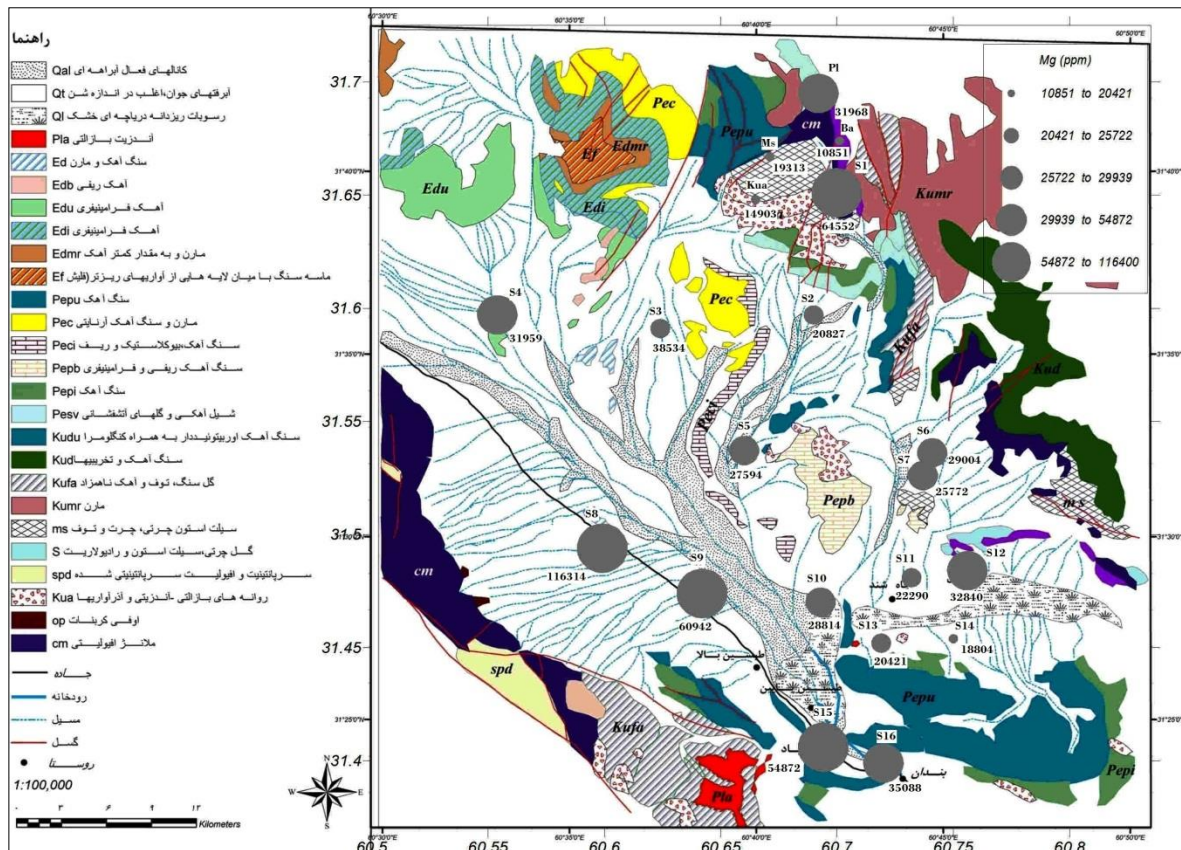


شکل ۵-۱۰ پراکندگی غلظت مس در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۱۱ منیزیم (Mg)

منیزیم هم در سنگ‌های رسوبی تبخیری و کربناته و هم در سنگ‌های آذرین (به خصوص سنگ‌های آذرین اولترامافیک) به فراوانی دیده می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). بالاترین میزان منیزیم در سنگ‌های منطقه مربوط به سنگ‌های آذرین خروجی حفره‌دار (Pl) به میزان ۳۱۹۶۸ppm است. در رسوبات آبراهه‌ای، محتوای منیزیم رسوبات سرچشمه گرفته از افیولیت‌های اولترامافیک (S8) به طور معناداری بالاتر (۱۱۶۳۱۴ ppm) از سایر نمونه‌های رسوب است. کانی‌های حاوی منیزیم (مانند فورستریت) در مقاطع سنگی (شکل ۲-۵) نیز دیده می‌شود. پس از آن نمونه‌های S1 و S9 به ترتیب با

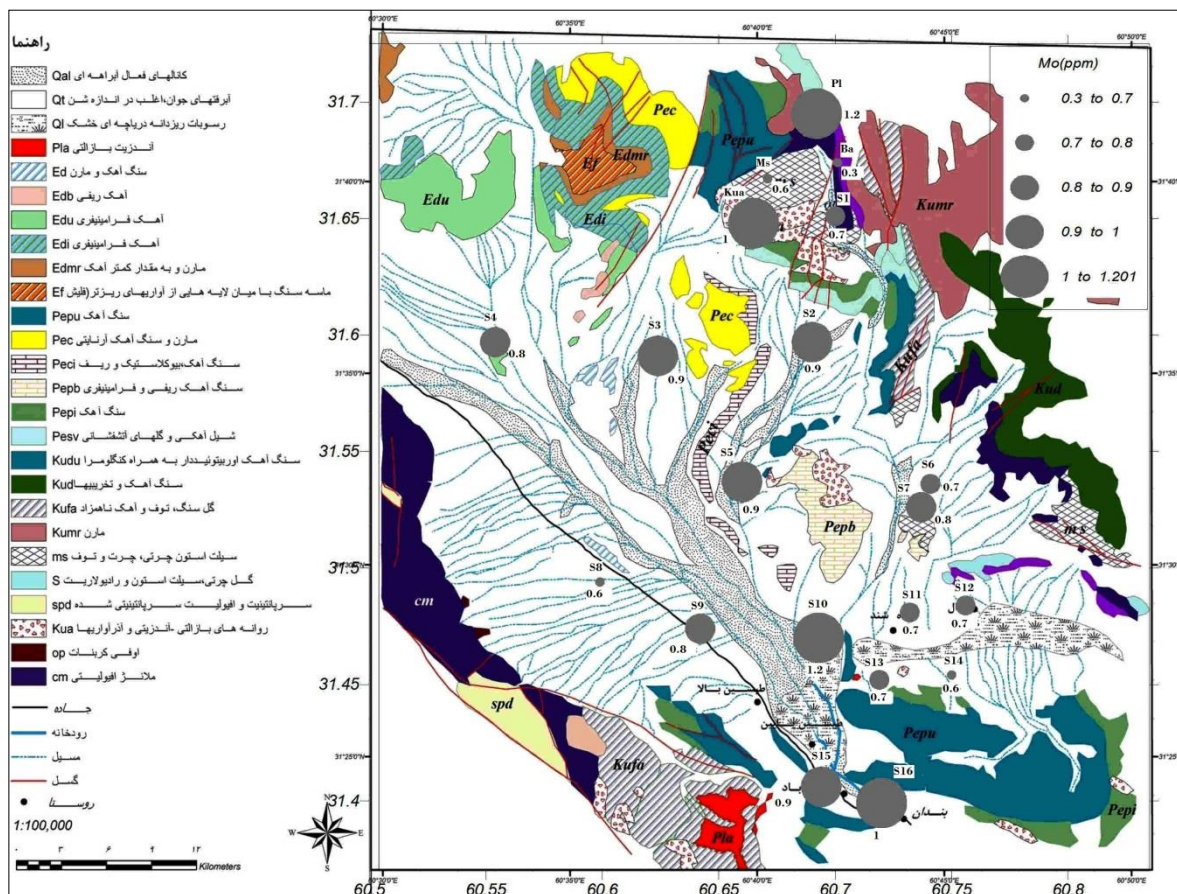
مقادیر ppm ۶۴۵۵۲ و ۶۰۹۴۲ منیزیم که بیشتر از سنگ‌های اولترامافیک سرچشمه می‌گیرند، از سایر نمونه‌ها محتوای منیزیم بالاتری دارند.



شکل ۵-۱۱ پراکندگی غلظت منیزیم در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۱۲ مولیبدن (Mo)

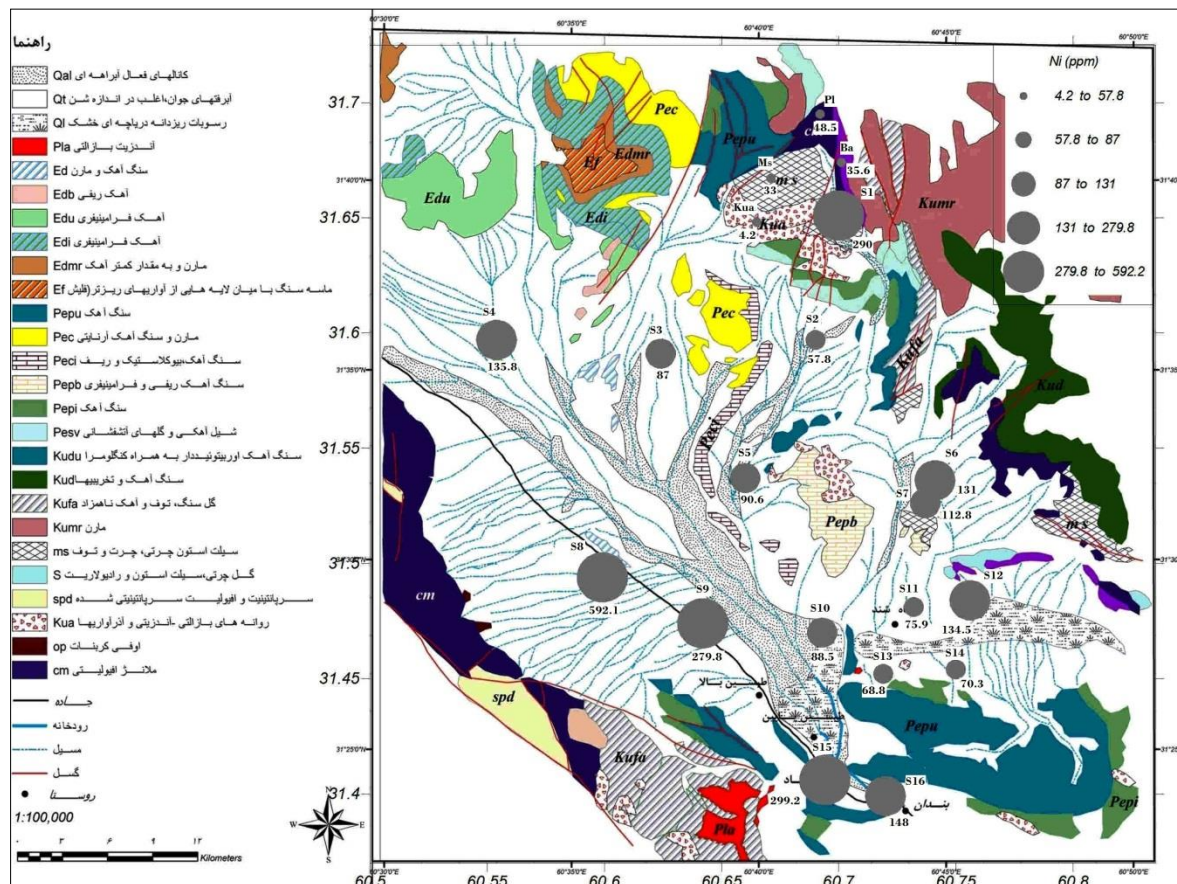
میزان تمرکز مولیبدن در سنگ‌ها و رسوبات منطقه در شکل ۵-۱۲ آمده است. بالاترین میزان مولیبدن در سنگ‌ها، مربوط به بازالت‌های حفره دار (Pl) به میزان ۱/۲ ppm است. بالاترین میزان مولیبدن در رسوبات در نمونه رسوب نزدیک به رسوبات ریزدانه دریاچه‌ای (S10) به مقدار ۱/۲ ppm می‌باشد. به طور کلی مقدار مولیبدن هم مانند مس در منطقه مورد مطالعه چندان بالا نیست.



شکل ۵-۱۲ پراکندگی غلظت مولیبدن در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۱۳ نیکل (Ni)

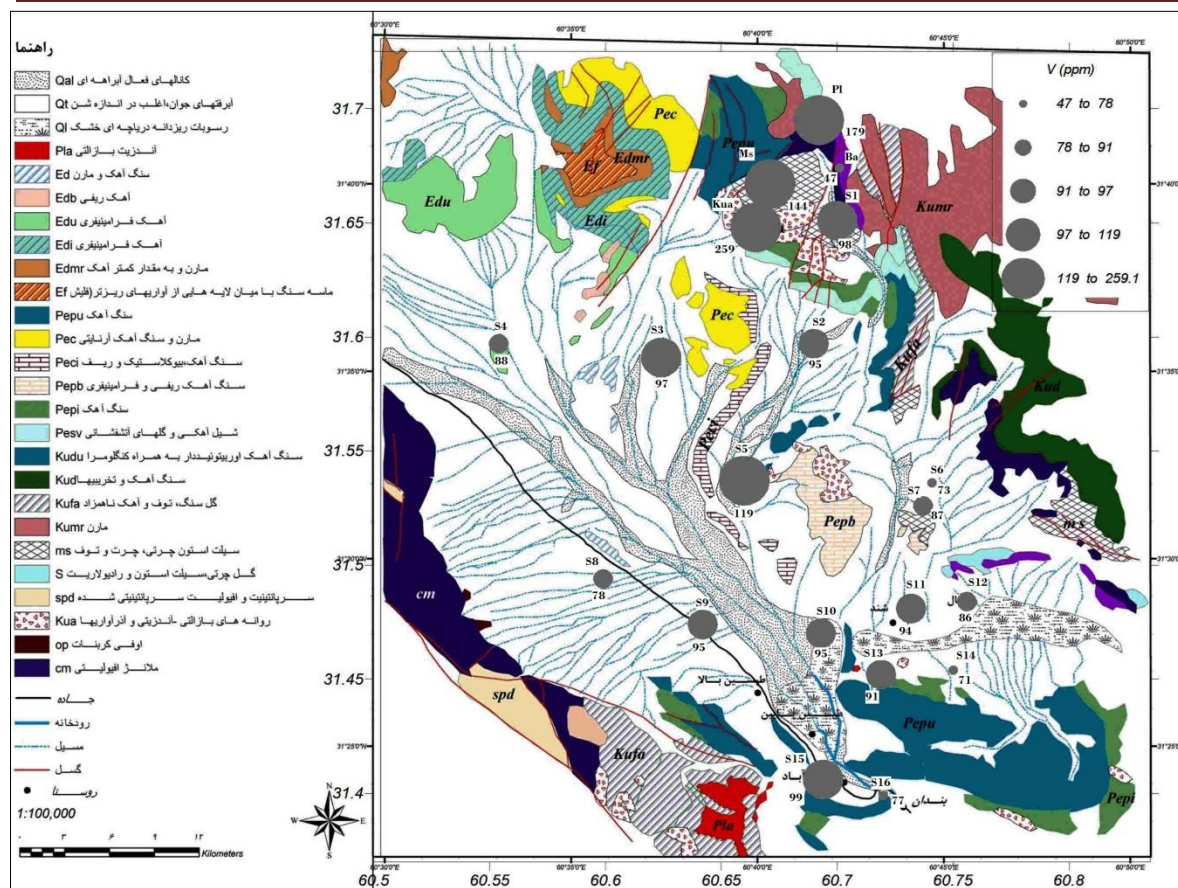
پراکندگی نیکل در منطقه در شکل ۵-۱۳ آمده است. مقایسه بین محتوای نیکل در سنگ‌ها و رسوبات نشان‌دهنده آن است که محتوای نیکل در رسوبات به مراتب بیشتر از نمونه‌های سنگی است و این نشان از غنی‌شدگی رسوبات با نیکل می‌باشد. نیکل هم مانند کروم در سنگ‌های اولترامافیک تمرکز می‌یابد. بالاترین میزان نیکل در نمونه‌های سنگ مربوط به بازالت‌های حفره‌دار (PI) به مقدار ۴۸/۵ppm و بالاترین مقدار آن در رسوبات مربوط به نمونه رسوب سرچشمه گرفته از سنگ‌های اولترامافیک (S8) به میزان ۵۹۲/۱ppm است.



شکل ۵-۱۳ پراکندگی نیکل در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۱۴ و انادیم (V)

میزان پراکنش این عنصر در نمونه‌های سنگی و رسوبات در شکل ۵-۱۴ و جدول ۵-۱ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار این فلز در روانه‌های بازالتی - آندزیتی (Kua) بالاتر (۲۵۹ ppm) از سایر نمونه‌های سنگی است که این امر با توجه به خصوصیات ژئوشیمیایی مشابه وانادیم با آهن (Bradl, 2005) و با توجه به این‌که آهن بیشتر در سنگ‌های آذرین بازیک و حدواسط تجمع می‌یابد، کاملاً توجیه‌پذیر است. از بین نمونه‌های رسوب نیز نمونه‌ای که از روانه‌های بازالتی - آندزیتی سرچشمه گرفته است (S5) محتوای وانادیم بالاتری (۱۱۹ ppm) نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.



شکل ۵-۱۴ پراکندگی وانادیم در نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه مورد مطالعه

۳-۵ همبستگی عناصر و pH رسوبات

به طور کلی همبستگی پارامتری است آماری که برای بیان ارتباط پارامترهای مختلف با یکدیگر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

میزان همبستگی می‌تواند از +۱ تا -۱ تغییر کند. هر چه عدد به دست آمده به +۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده شباهت بیشتری در رفتار ژئوشیمیایی دو پارامتر یا یکدیگر است و هر چه مقدار آن به -۱ نزدیک‌تر باشد میزان رابطه معکوس پارامترها افزایش می‌یابد و نیز هر چه به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده آن است که پارامترها هیچ ارتباطی با هم ندارند. در جدول ۵-۲ میزان همبستگی عناصر با

یکدیگر و با pH آمده است که مقادیر بالاتر از ۰/۷ ضخیم شده‌اند. همانگونه که در فصل ۳ به آن اشاره شد، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم در رسوبات به عنوان یک جاذب قدرتمند شناخته می‌شوند. همبستگی بالای آهن و آلومینیم (۰/۸۰۵۲) را می‌توان چنین استنباط کرد که آلومینیم و آهن هر دو جزء عناصر با انحلال‌پذیری اندک در رسوبات و خاک محسوب می‌شوند و در آن‌ها تمرکز می‌یابند (Anirban & Krishnaswami, 2007). علاوه بر آهن، آلومینیم با وانادیم و روی نیز رابطه مثبت (به ترتیب ۰/۸۹۴ و ۰/۸۹۹) نشان می‌دهد. دلیل بالا بودن ارتباط آلومینیم با روی و وانادیم می‌تواند به دو علت باشد؛ اول این‌که این دو فلز به علت بالا بودن pH رسوبات (۸/۸۶ تا ۷/۹۶) همانند آلومینیم از تحرک پایینی برخوردارند و دوم آن‌که هر دوی این عناصر می‌توانند در سطوح کانی‌های رسی، که حاوی مقادیر بالای آلومینیم هستند، (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007) جذب شوند. آرسنیک رابطه چندانی با سایر عناصر نشان نمی‌دهد. همان‌گونه که در جدول ۵-۲ مشاهده می‌شود، کروم رابطه بالایی با منیزیم و نیکل (به ترتیب ۰/۹۲۱ و ۰/۹۵۴) دارد. دلیل همبستگی بالای کروم با دو عنصر یاد شده احتمالاً شباهت خصوصیات ژئوشیمیایی این سه عنصر در طی تبلور ماگما است، به طوری که هر سه این عناصر در ابتدای تفریق ماگما از آن جدا شده و به صورت کانی‌های مختلف متبلور می‌شوند (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). بنابراین بالا بودن همبستگی کروم، منیزیم و نیکل نشان می‌دهد که منشأ هر سه این عناصر در رسوبات، از افیولیت‌ها و واحدهای آذرین منطقه مشتق شده است. مس تقریباً با هیچ کدام از عناصر موجود در ماتریس همبستگی، ارتباط چندانی نشان نمی‌دهد و بیشترین ارتباط آن با روی (۰/۶۴۶۳) و آلومینیم (۰/۶۳۴۸) است. بالا بودن نسبی رابطه مس با روی احتمالاً به دلیل شباهت در رفتار ژئوشیمیایی این دو عنصر (Anirban & Krishnaswami., 2007) است.

جدول ۵-۲ ماتریس همبستگی عناصر مختلف و pH در رسوبات منطقه

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mo	Ni	P	S	V	Zn	Sr	F	pH
Al	۱														
As	-۰/۲۵۷	۱													
Cr	-۰/۴۱۲۲	۰/۱۱۲۹	۱												
Cu	۰/۶۳۴۷۵	-۰/۶۰۵۴	-۰/۳۶۷۲	۱											
Fe	۰/۸۰۵۲	-۰/۱۲۶۱	۰/۰۴۶۷۷	۰/۴۱۵۳۹	۱										
Mg	-۰/۳۲۸۵	۰/۰۱۶۲	۰/۹۲۱۳	-۰/۲۴۳۸	۰/۱۳۹۴۵	۱									
Mo	۰/۶۷۰۱۱	۰/۲۰۶۶۲	-۰/۰۴۲۴	۰/۰۸۸۱۲	۰/۵۹۶۷۳	-۰/۰۶۳۸	۱								
Ni	-۰/۴۶۵۵	۰/۰۸۶۸	۰/۹۵۴۵	-۰/۳۶۰۶	۰/۰۱۷۱۳	۰/۹۸۱۶	-۰/۱۶۰۶	۱							
P	۰/۶۵۲۶۶	-۰/۴۵۱۶	-۰/۲۴۳۳	۰/۵۱۲۵۱	۰/۵۰۵۴۹	-۰/۱۰۷۸	۰/۵۲۱۴	-۰/۲۵۰۵	۱						
S	۰/۱۹۳۸۶	-۰/۱۰۶	۰/۰۱۷۳	۰/۰۰۴۲۲	۰/۰۰۵۵۸	-۰/۰۲۵۶	۰/۴۶۴۲۶	-۰/۰۷۳۴	۰/۳۳۱۷۵	۱					
V	۰/۸۹۴۲	-۰/۲۸۳۴	-۰/۲۷۳۶	۰/۵۸۱۵۳	۰/۹۲۶۸	-۰/۱۸	۰/۴۹۵۴	-۰/۳۰۱۶	۰/۵۶۶۷۶	-۰/۰۱۱۱	۱				
Zn	۰/۸۹۹۴	-۰/۳۲۹۴	-۰/۳۲۵	۰/۶۴۶۳۱	۰/۸۱۸۷	-۰/۱۷۵۵	۰/۵۸۷۶۳	-۰/۳۲۵۶	۰/۸۵۱۲	۰/۱۱۳۰۳	۰/۸۸۱۱	۱			
Sr	۰/۴۹۱۸۲	-۰/۲۵۵۵	-۰/۲۰۵۹	۰/۳۲۴۱۴	۰/۳۱۸۰۶	-۰/۱۱۳۳	۰/۵۶۷۸۸	-۰/۲۲۸۵	۰/۹۳۸۴	۰/۴۸۳۱۵	۰/۳۵۵۲۳	۰/۶۹۷۷۷	۱		
F	۰/۵۹۷۷۶	-۰/۲۵۰۲	-۰/۳۰۷۲	۰/۴۷۵۷۲	۰/۴۵۳۵۸	-۰/۱۶۹۵	۰/۴۸۰۵۸	-۰/۲۹۳۱	۰/۸۷	۰/۲۱۴۵۲	۰/۵۲۰۱۱	۰/۸۰۹	۰/۸۴۵۵	۱	
pH	-۰/۱۱۷۲	-۰/۱۷۸۸	۰/۴۷۵۰۲	۰/۰۸۰۱۴	۰/۰۴۸۹۳	۰/۵۶۴۱۸	۰/۱۰۱۵۲	۰/۵۲۸۹۵	۰/۲۵۲۹۳	-۰/۰۳۲۱	-۰/۱۲۸	۰/۰۷۹۸۷	۰/۲۸۸۴۹	۰/۱۹۵۶۱	۱

همچنین همبستگی نسبتاً بالای مس با آلومینیم، جذب سطحی این عنصر توسط کانی‌های رسی موجود در رسوبات، که توسط محققین دیگر نیز بیان شده بود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007) را ثابت می‌کند. همبستگی بالای آهن با وانادیم (۰/۹۲۶) احتمالاً به دو علت است. اول اینکه وانادیم و آهن رفتار ژئوشیمیایی مشابهی دارند (Kabata-Pendia & Mukherjee., 2007)؛ به طور مثال مقادیر هر دوی این عناصر در کانی‌هایی همچون پیروکسن، هورنبلند، بیوتیت و منیتیت بالا است و دوم آنکه وانادیم در خاک توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن جذب سطحی می‌شود. علاوه بر وانادیم، آهن با روی نیز همبستگی بالایی (۰/۸۱۸) دارد که دلیل آن را می‌توان بالا بودن جذب سطحی روی توسط اکسیدهای آهن دانست. علاوه بر کروم، منیزیم با نیکل نیز همبستگی بالایی دارد که دلیل آن در توجیه همبستگی بالای کروم، منیزیم و نیکل در بالا آورده شد. همبستگی بالای فسفر با روی (۰/۸۵۱) می‌تواند به دلیل منشأ یکسان این دو عنصر باشد به طوری که هر دو در سنگ‌های آذرین حدواسط تمرکز قابل توجهی دارند. مطالب بیان شده پیشین نیز نشان می‌دهد که بیشترین غلظت این دو عنصر در نمونه‌های سنگی مربوط به بازالت‌های حفره‌دار (PI) می‌باشد. البته از دیگر دلایل بالا بودن همبستگی فسفر با روی می‌توان به تمایل جذب بالای پنتاکسیدفسفر (P_2O_5) (Baradl, 2005) به روی اشاره کرد. اگرچه میزان فسفر در رسوبات منطقه بالا نیست، اما همین میزان کم می‌تواند عاملی برای جذب روی باشد. فسفر همچنین با استرانسیم همبستگی بالایی (۰/۹۳۸) نشان می‌دهد. در توجیه این مطلب می‌توان این گونه عنوان کرد که استرانسیم به دلیل شباهت ژئوشیمیایی فراوان با کلسیم می‌تواند در ساختار کانی‌های فسفات‌ها حاوی کلسیم، مانند آپاتیت با فرمول شیمیایی $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ جایگزین آن شود (Anirban & Krishnaswami., 2007). با این تفاسیر، فسفر با استرانسیم همبستگی بالایی پیدا می‌کند. با توجه به همبستگی بالای فسفر با فلئور (۰/۸۷) می‌توان گفت که فلئور موجود در رسوبات از کانی فلئورآپاتیت سرچشمه می‌گیرد. همان طور که پیشتر نیز عنوان شد، با توجه به جدول همبستگی می‌توان گفت منشأ

فلوئور موجود در سنگ‌ها و رسوبات منطقه از کانی فلوئورآپاتیت است و نیز گفته شد که استرانسیم می‌تواند در ساختار این کانی جانشین کلسیم شود. بنابراین با توجه به توضیحات داده شده دلیل همبستگی بالای فلوئور با استرانسیم (۰/۸۴۵۵) معلوم می‌شود. دلیل همبستگی بالای فلوئور با روی (۰/۸۰۹) هم احتمالاً به دلیل هم منشأ بودن کانیهای در بر دارنده این دو عنصر است. وانادیم می‌تواند به شکل ترکیبات متغیر مانند نمک‌های اکسی‌وانادیم (VO_4^{3-})، نقش مهمی را به عنوان یک جاذب ایفا کند (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). این ترکیبات می‌توانند همانند فسفات‌ها (PO_4^{3-}) عمل کنند و یا حتی جانشین آن در آپاتیت شوند. بنابراین همبستگی بالای میان روی و وانادیم (۰/۸۸۱۱) را می‌توان به دو علت تمرکز هر دوی این عناصر در سنگ آذرین حدواسط و یا قابلیت بالای جذب روی توسط اکسی وانادیم‌ها دانست.

۴-۵ فاکتور غنی شدگی^۹ (EF)

به منظور تعیین فاکتور غنی شدگی در یک نمونه رسوب، غلظت عنصر مورد نظر را نسبت به یک عنصر مبنا می‌سنجند. فاکتور غنی شدگی از رابطه زیر به دست می‌آید (Losketal., 1995).

$$EF = \frac{\frac{C_{1Me}}{C_{1n}}}{\frac{C_{2Me}}{C_{2n}}}$$

فرمول ۲-۵

در این رابطه EF فاکتور غنی شدگی، C_{1Me} غلظت عنصر مورد نظر در محیط، C_{1n} غلظت فلز مبنا (در اینجا آلومینیم) در محیط مورد بررسی، C_{2Me} غلظت متوسط همان عنصر در پوسته زمین، C_{2n} غلظت فلز مبنا (در این جا آلومینیم) در پوسته زمین است. همانطور که در جدول ۳-۵ دیده می‌شود، میانگین غلظت عناصر کروم، نیکل، منیزیم و استرانسیم از متوسط غلظت این عناصر در پوسته زمین و نیز از میانگین

^۹ Enrichment factor

شیل جهانی بالاتر است. در جدول ۴-۵ طبقه بندی شدت غنی شدگی آمده است.

جدول ۳-۵ مقایسه میانگین غلظت عناصر در پوسته، شیل و رسوبات منطقه

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mo	Ni	P	S	V	Zn	Sr	F
میانگین غلظت عناصر در پوسته *	۸۲۳۰۰	۱/۸	۱۰۲	۶۰	۵۶۳۰۰	۲۳۳۰۰	۱/۲	۸۴	۱۰۵۰	۳۵۰	۱۲۰	۷۰	۳۷۰	۵۸۵
میانگین شیل جهانی *	۸۰۰۰۰	۱۳	۹۰	۴۵	۴۸۲۰۰	۱۵۰۰۰	۲/۶	۶۸	۷۰۰	۲۴۰۰	۳۰۰	۱۳۰	۹۷	۷۴۰
میانگین غلظت عناصر در رسوبات منطقه	۶۵۴۵۳	۱۲/۱۰۶	۳۳۴/۰۶۳	۲۴/۳۵	۳۴۴۸۵/۴	۳۸۲۴۰/۳۱	۰/۸۰۶۲۵	۱۶۶/۳۸۱	۴۴۸/۳۷۵	۴۱۱/۹۳۸	۹۰/۱۸۷۵	۵۱/۰۷۵	۴۷۴/۹	۴۰۰

* مر و مدبری ۱۳۸۴

جدول ۴-۵ طبقه بندی شدت غنی شدگی (chen et al, 2007)

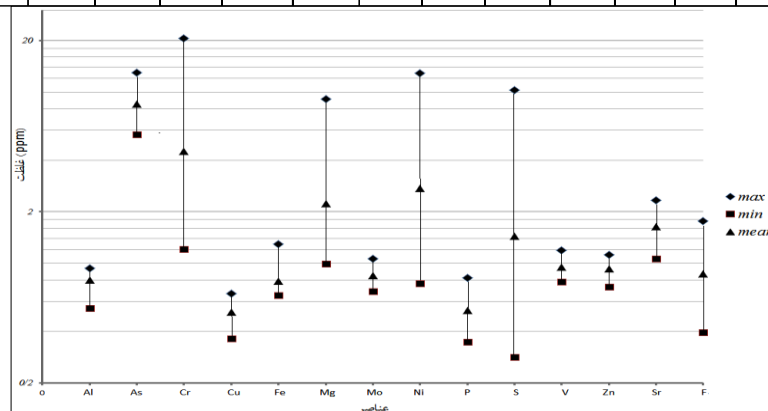
EF	<۱	۱_۳	۳_۵	۵_۱۰	۱۰_۲۵	۲۵_۵۰	>۵۰
شدت غنی شدگی	بدون غنی شدگی	غنی شدگی اندک	غنی شدگی متوسط	غنی شدگی نسبتاً شدید	غنی شدگی شدید	غنی شدگی خیلی شدید	غنی شدگی بینهایت شدید

در بیشتر مناطق عنصر مینا را آلومینیم در نظر می‌گیرند، زیرا این عنصر علاوه بر اینکه تغییرات اندکی در محیط دارد، تحت تأثیر فعالیت‌های بشرزاد غلظت آن تغییر چندانی نمی‌کند (Zoller et al., 1974). البته برخی از پژوهشگران آهن (Dragovic et al., 2008)، برخی تیتانیم (Nael et al., 2009) و برخی دیگر اسکاندیم (Tijani et al., 2006) را به عنوان عنصر مینا در نظر می‌گیرند. در پژوهش حاضر آلومینیم به عنوان عنصر مینا در نظر گرفته شده است. مقدار غنی‌شدگی عناصر مورد بررسی در جدول ۵-۵ و شکل ۱۵-۵ به صورت نمودار نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، در برخی از نمونه‌ها مقادیر آرسنیک، کروم، نیکل و گوگرد غنی‌شدگی شدید نشان می‌دهد که از همه آشکارتر، غنی شدگی ۲۰/۶۵۹ برای کروم در نمونه S8 است که مطالب گفته شده را تأیید می‌کند. آرسنیک در بیشتر نمونه‌های رسوب غنی‌شدگی بالایی دارد. این امر احتمالاً به دلیل حاکم بودن آب و هوای خشک و بیابانی منطقه است. زیرا در این شرایط به دلیل آب و هوای خشک، خاک‌ها اکثراً قلیایی بوده و لذا وجود آب و هوای خشک و قلیایی بودن خاک‌های منطقه (pH بین ۷/۹۶-۸/۸۶) می‌توان غنی‌شدگی آرسنیک را توجیه نمود. آرسنیک موجود در رسوبات در آب حل نمی‌شود، بنابراین در رسوبات غنی شدگی رخ می‌دهد (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). میانگین فاکتور غنی‌شدگی عناصر موجود در جدول ۵-۵، نشان‌گر این امر است که به جز آرسنیک که با متوسط ۸/۵۲۷۴ غنی‌شدگی نسبتاً شدید و کروم با متوسط ۴/۴۹

غنی‌شدگی متوسط دارد، بقیه عناصر غنی‌شدگی اندکی از خود نشان داده و یا بدون غنی‌شدگی‌اند. همچنین میانگین غنی‌شدگی تمامی عناصر در رسوبات منطقه پایین‌تر از ۱۰ بوده و این امر منشأ زمین‌زاد را برای این عناصر تأیید می‌کند (Nolting et al., 1999). در برخی از مناطق خاص در رسوبات منطقه، غنی‌شدگی نسبتاً بالایی به چشم می‌خورد که این مسئله اهمیت و تأثیر سنگ‌شناسی و کانه‌زایی احتمالی را در سنگ‌های مادر بیش از پیش آشکار می‌کند. به طور مثال نمونه S8 که غنی‌شدگی شدید نسبت به کروم و نیکل دارد، از افیولیت‌های اولترامافیک سرچشمه می‌گیرد.

جدول ۵-۵ میزان فاکتور غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mo	Ni	P	S	V	Zn	Sr	F
S1	۰/۷۷۸	۵/۶۴	۵/۷	۰/۶۳	۰/۸۸۵	۳/۵۶	۰/۷۵	۴/۴۴	۰/۵۶	۰/۲۸	۱/۰۵	۰/۹۸	۱/۰۶	۰/۶۶
S2	۰/۹	۷/۱	۱/۲۱	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۵۶	۲/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۶	۱/۴	۰/۷۶
S3	۰/۹۲	۸/۶۴	۱/۸۱	۰/۴۳	۰/۷۴۴	۱/۱۱	۰/۸۲	۱/۱۳	۰/۸۲	۱/۷۲	۰/۸۸	۰/۹۴	۱/۶	۰/۷۴
S4	۰/۸۶۶	۶/۰۹	۴/۰۷	۰/۳۶	۰/۶۵۵	۱/۴۸	۰/۷۷	۱/۸۷	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۸۵	۰/۸۱	۱/۲۹	۰/۳۹
S5	۰/۸۸	۱۳	۲/۵۷	۰/۵۹	۰/۸۲۸	۱/۳۵	۰/۸۵	۱/۲۳	۰/۵	۰/۴۲	۱/۱۳	۰/۹۵	۱/۳۳	۰/۷۸
S6	۰/۶۷۴	۱۰/۱	۲/۲۷	۰/۶۶	۰/۷۴۶	۱/۸۵	۰/۸۷	۲/۳۱	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۹	۰/۹۹	۲/۲۷	۰/۵۱
S7	۰/۶۷۷	۱۲/۳	۲/۹۷	۰/۶۷	۰/۸۵۱	۱/۶۳	۰/۹۹	۱/۹۸	۰/۵	۰/۴۷	۱/۰۷	۱/۱۲	۲/۳۴	۱/۷۷
S8	۰/۵۴۷	۸/۳۳	۲۰/۷	۰/۵۵	۱/۲۹۸	۹/۱۳	۰/۹۱	۱۲/۹	۰/۳۵	۰/۸۹	۱/۱۹	۱/۱۱	۱/۴۹	۰/۶۳
S9	۰/۸۳۴	۸/۳۹	۵/۴۲	۰/۴۷	۰/۷۹۲	۳/۱۴	۰/۸	۳/۹۹	۰/۴۳	۱/۰۱	۰/۹۵	۰/۹۳	۱/۵	۱/۲۳
S10	۰/۹۳۸	۷/۴	۲/۳۶	۰/۴۴	۰/۶۹۸	۱/۳۲	۱/۰۷	۱/۱۲	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۸۱	۱/۴۵	۰/۷۳
S11	۰/۸۵	۸/۲۴	۱/۴۳	۰/۵۱	۰/۶۸۳	۱/۱۳	۰/۶۹	۱/۰۶	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۹۲	۰/۹	۱/۴۹	۱/۰۱
S12	۰/۸۲۱	۸/۱۲	۲/۰۳	۰/۵۶	۰/۷۰۵	۱/۷۲	۰/۷۱	۱/۹۵	۰/۶۴	۰/۵	۰/۸۷	۰/۹۹	۱/۴۱	۱/۲۵
S13	۰/۷۶۶	۷/۴۷	۱/۶۸	۰/۴۶	۰/۷۲۱	۱/۱۴	۰/۷۶	۱/۰۷	۰/۶	۰/۵۶	۰/۹۹	۰/۸۶	۱/۵۵	۰/۸۹
S14	۰/۶۸۲	۱۰/۵	۲/۱۱	۰/۵۹	۰/۶۸۱	۱/۱۸	۰/۷۳	۱/۲۳	۰/۵۸	۱/۱	۰/۸۷	۰/۹۲	۲/۳۱	۱
S15	۰/۷۷۲	۸/۲۸	۱۰/۷	۰/۴۵	۰/۹۲۲	۳/۰۵	۰/۹۷	۴/۶۱	۰/۴۲	۰/۵۷	۱/۰۷	۰/۹۳	۱/۴۹	۰/۸۹
S16	۰/۸۲	۶/۷۷	۴/۸۸	۰/۳۸	۰/۶۷۷	۱/۸۴	۱/۰۲	۲/۱۵	۰/۵۱	۱۰/۲	۰/۷۸	۰/۷۳	۲/۲۱	۰/۶۳
میانگین	۰/۷۹۵	۸/۵۳	۴/۴۹	۰/۵۲	۰/۷۸۳	۲/۲۳	۰/۸۵	۲/۷۴	۰/۵۳	۱/۴۴	۰/۹۵	۰/۹۳	۱/۶۴	۰/۸۷



شکل ۵-۵ حداکثر (max)، حداقل (min) و میانگین (mean) فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر مختلف

۵-۵ شاخص زمین انباشتگی^{۱۰} (I_{geo})

این شاخص توسط مولر (Muller., 1969) پیشنهاد شده و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad \text{فرمول ۲-۵}$$

در این رابطه I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، C_n غلظت عنصر مورد نظر در خاک یا رسوب و B_n غلظت متوسط عنصر مورد نظر در میانگین شیل جهانی است. در این رابطه به منظور بهبود نتیجه به دست آمده، مقدار متوسط عنصر مورد نظر در شیل جهانی را در ۱/۵ ضرب می‌کنند. بر اساس این شاخص، مولر رسوبات و خاک‌ها را به شش گروه تقسیم کرده که در جدول شماره ۵-۶ آمده است. همچنین مقادیر به دست آمده از این رابطه برای ۱۵ عنصر انتخاب شده از نمونه‌های رسوب در جدول ۵-۷ دیده می‌شود. همان‌گونه که از جدول ۵-۷ نیز برمی‌آید، میانگین مقدار شاخص زمین انباشتگی در نمونه‌های رسوب، تنها در مورد کروم، منیزیم، نیکل و استرانسیم بالاتر از صفر است و رسوبات نسبت به این عناصر غیر آلوده تا کمی آلوده می‌باشند. بالا بودن نسبی مقادیر کروم، منیزیم و نیکل نشان‌دهنده تأثیر به سزای سنگ‌های اولترامافیک بر ترکیب رسوبات منطقه است به طوری که حداکثر زمین‌انباشتگی نسبت به سه عنصر ذکر شده در رسوب حاصل از سنگ‌های اولترامافیک (S8) دیده می‌شود. همچنین مقادیر مربوط به عناصر گوگرد، مولیبدن، فلئور، روی و مس به ترتیب کمترین میزان را نسبت به غلظت متوسط آن‌ها در شیل جهانی نشان می‌دهد.

جدول ۵-۶ طبقه‌بندی مقادیر شاخص زمین انباشتگی در تعیین آلودگی رسوبات (Muller., 1969)

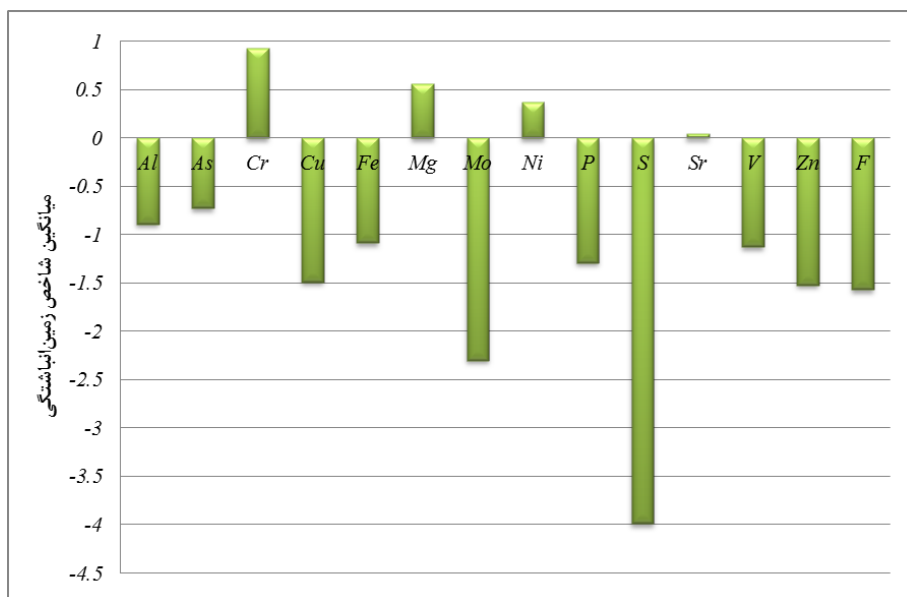
شدت آلودگی	غیر آلوده	غیر آلوده تا کمی آلوده	کمی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده	خیلی آلوده	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده	شدیداً آلوده
(I_{geo}) شاخص زمین انباشتگی	> ۰	۰-۱	۱-۲	۲-۳	۳-۴	۴-۵	۵-۶

¹⁰ Geo Accumulation Index

جدول ۵-۷ مقادیر شاخص زمین انباشتگی در نمونه‌های رسوب

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mo	Ni	P	S	Sr	V	Zn	F
S1	-۰/۹۰۶۹	-۱/۳۰۳۵	۱/۷۴۲۳۶	-۱/۱۹۴۲	-۰/۸۹۹۵	۱/۵۲۰۵۴	-۲/۴۷۸	۱/۵۰۷۴۸	-۱/۲۰۶۵	-۵/۵۴۷	-۰/۵۵۵۵	-۰/۹۹۲۶	-۱/۴۵۱۵	-۱/۸۸۷۵
S2	-۰/۶۹۵۸	-۰/۷۶۱۸	-۰/۲۸۲۴	-۱/۲۵۹۲	-۱/۱۳۳۵	-۰/۱۱۱۵	-۲/۱۱۵۵	-۰/۸۱۹۴	-۱	-۲/۰۰۸	۰/۰۵۶۲۸	-۱/۰۳۷۵	-۱/۴۳	-۱/۴۷۲۵
S3	-۰/۶۶۴۸	-۰/۴۶۷۵	۰/۳۲۲۵۸	-۱/۵۱	-۰/۹۰۷۹	۰/۰۸۲۳۷	-۲/۱۱۵۵	-۰/۳۲۹۵	-۰/۴۰۱۴	-۲/۷	۰/۳۷۳۶۸	-۱/۰۰۷۴	-۱/۳۷۰۸	-۱/۴۷۲۵
S4	-۰/۷۵۰۸	-۱/۰۳۷۵	۱/۴۱۵۰۴	-۱/۸۳۶۵	-۱/۱۷۷۸	۰/۴۱۳۱	-۲/۲۸۵۴	-۰/۴۱۳۹۱	-۱/۳۴۲۷	-۴/۵۱	-۰/۱۲۳۸	-۱/۱۴۷۹	-۱/۵۷۳۱	-۲/۴۷۲۵
S5	-۰/۷۲۸۶	۰/۰۷۹۱۷	۰/۷۷۴۹۳	-۱/۱۲۷۳	-۰/۸۱۷۹	۰/۳۹۴۴۳	-۲/۱۱۵۵	-۰/۱۷۱	-۱/۱۷۵۱	-۴/۸۰۲۶	-۰/۰۵۷۹	-۰/۷۱۲۵	-۱/۳۱۷	-۱/۴۷۲۵
S6	-۱/۱۱۲۶	-۰/۶۶۴۸	۰/۲۰۸۵۹	-۱/۳۲۷۳	-۱/۳۵۱۸	۰/۳۶۶۳۳	-۲/۴۷۸	۰/۳۶۱	-۱/۶۲۶۸	-۵/۰۱۹۴	۰/۳۳۰۳۷	-۱/۴۱۷۵	-۱/۶۳۶۴	-۲/۴۷۲۵
S7	-۱/۱۰۷۴	-۰/۳۷۸۵	۰/۶۰۲۶۶	-۱/۳۱۶۶	-۱/۱۵۷۴	۰/۱۹۳۰۸	-۲/۲۸۵۴	۰/۱۴۵۲	-۱/۵۵۶۴	-۵/۰۱۹۴	۰/۳۸۲۲۱	-۱/۱۶۴۴	-۱/۴۵۴۲	-۰/۶۶۵۱
S8	-۱/۴۱۵۳	-۱/۲۴۹۸	۳/۰۹۳۱۱	-۱/۸۹۰۹	-۰/۸۵۵۳	۲/۳۷۰۰۳	-۲/۷۰۰۴	۲/۵۳۷۲۷	-۲/۳۹۲۳	-۴/۴۰۴۴	-۰/۵۷۵۴	-۱/۳۲۱۹	-۱/۷۷۲۱	-۲/۴۷۲۵
S9	-۰/۸۰۵۶	-۰/۶۳۰۱	۱/۷۷۱۸۱	-۱/۵۳۴۶	-۰/۹۵۹۷	۱/۴۳۷۵۱	-۲/۲۸۵۴	۱/۴۵۵۸۳	-۱/۴۷۳۹	-۳/۶۱۴۱	۰/۰۴۴۲	-۱/۰۳۷۵	-۱/۴۱۶۷	-۰/۸۸۷۵
S10	-۰/۶۳۶۳	-۰/۶۴۱۵	۰/۷۴۳۳۶	-۱/۴۳۸۷	-۰/۹۷۲۱	۰/۳۵۶۸۴	-۱/۷۰۰۴	-۰/۲۰۴۸	-۰/۷۳۹۳	-۳/۵۴۷	۰/۱۶۰۰۶	-۱/۰۳۷۵	-۱/۴۴۸۸	-۱/۴۷۲۵
S11	-۰/۷۷۸۹	-۰/۶۳۰۱	-۰/۱۲۲۶	-۱/۳۸۱۹	-۱/۱۴۶۴	-۰/۰۱۳۵	-۲/۴۷۸	-۰/۴۲۶۴	-۱/۴۳۲۵	-۴/۷۸۰۴	۰/۰۵۵۳۵	-۱/۰۵۲۷	-۱/۴۴۶۱	-۱/۱۵۰۶
S12	-۰/۸۲۹	-۰/۷۰۰۴	۰/۳۲۲۵۸	-۱/۳۰۰۷	-۱/۱۴۹۵	۰/۵۴۵۵۳	-۲/۴۷۸	۰/۳۹۹۰۴	-۰/۹۳۰۳	-۴/۶۵۳۹	-۰/۰۷۳	-۱/۱۸۱۱	-۱/۳۵۷۱	-۰/۸۸۷۵
S13	-۰/۹۲۸۴	-۰/۹۲۰۸	-۰/۰۴۳۴	-۱/۶۷۰۸	-۱/۲۱۷	-۰/۱۳۹۹	-۲/۴۷۸	-۰/۵۶۸۱	-۱/۱۳۲۳	-۴/۵۸۵	-۰/۰۳۲۷	-۱/۰۹۹۵	-۱/۶۶۴۵	-۱/۴۷۲۵
S14	-۱/۰۹۶۳	-۰/۵۹۶۱	۰/۱۲۲۸۶	-۱/۴۹۱۹	-۱/۴۶۸۱	-۰/۲۵۸۹	-۲/۷۰۰۴	-۰/۵۳۷	-۱/۳۳۹۲	-۳/۷۷۴۹	۰/۳۷۶۰۴	-۱/۴۵۷۶	-۱/۷۳۲	-۱/۴۷۲۵
S15	-۰/۹۱۷۷	-۰/۷۶۱۸	۲/۶۳۹۱۵	-۱/۶۹۸۳	-۰/۸۵۲۳	۱/۳۸۶۱۵	-۲/۱۱۵۵	۱/۵۵۲۵۴	-۱/۶۲۶۸	-۴/۵۳۷۷	-۰/۰۸۲۵	-۰/۹۷۸	-۱/۵۲۶۷	-۱/۴۷۲۵
S16	-۰/۸۲۹۸	-۰/۹۶۳۵	۱/۵۹۵۶۱	-۱/۸۵۱۸	-۱/۳۰۸۹	۰/۶۴۱۰۵	-۱/۹۶۳۵	۰/۵۳۷۰۳	-۱/۲۴۸۳	-۰/۲۹۱۲	۰/۵۷۳۳۷	-۱/۳۴۰۵	-۱/۸۰۲۹	-۱/۸۸۷۵
میانگین	-۰/۸۸۷۸	-۰/۷۲۵۵	۰/۹۳۲۹۵	-۱/۴۸۹۴	-۱/۰۷۹۷	۰/۵۶۱۳۹	-۲/۲۹۸۳	۰/۳۷۲۰۱	-۱/۲۸۹	-۳/۹۸۷۲	۰/۰۴۶۹۳	-۱/۱۲۴۱	-۱/۵۱۸۷	-۱/۵۶۸۲

شکل ۵-۱۶ میزان میانگین شاخص زمین انباشتگی در رسوبات



۵-۶ فاکتور آلودگی^{۱۱} (C_f) و درجه آلودگی اصلاح شده^{۱۲} (mCa)

به منظور تعیین میزان آلودگی رسوبات و یا خاک‌های یک محیط می‌توان از فاکتور آلودگی سود برد (Shakery et al., 2010). این فاکتور از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_f = \frac{C_0}{C_n} \quad \text{فرمول ۳-۵}$$

در این رابطه C_f فاکتور آلودگی، C₀ غلظت عنصر مورد نظر در خاک یا رسوب و C_n میانگین غلظت همان عنصر در شیل جهانی است. رابطه مقادیر این فاکتور با میزان آلودگی در جدول ۵-۸ آورده شده است. برای ارزیابی شدت کل آلودگی محیط به عناصر مختلف هاکانسون (Hakanson., 1980) از طریق رابطه زیر درجه آلودگی را معرفی کرد.

$$C_d = \sum_{i=0}^n C_f \quad \text{فرمول ۴-۵}$$

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

$$C_d = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{i=n} C_f^i \quad \text{فرمول ۵-۵}$$

در جدول ۵-۹ طبقه‌بندی آلودگی رسوبات بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده آمده است.

جدول ۵-۸ طبقه بندی آلودگی رسوبات بر اساس مقادیر فاکتور آلودگی (Satyanarayana et al., 1994)

C _f	<۱	۱-۳	۳-۶	۶<
شدت آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی قابل توجه	آلودگی خیلی زیاد

جدول ۵-۹ طبقه بندی آلودگی رسوبات بر اساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده (Abraham., 2005)

میزان آلودگی رسوبات	غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک	آلودگی اندک	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد	آلودگی بسیار زیاد	آلودگی فوق العاده زیاد	آلودگی بینهایت زیاد
درجه آلودگی اصلاح شده (mC _f)	<۱/۵	۱/۵ - ۲	۲ - ۴	۴ - ۸	۸ - ۱۶	۱۶ - ۳۲	>۳۲

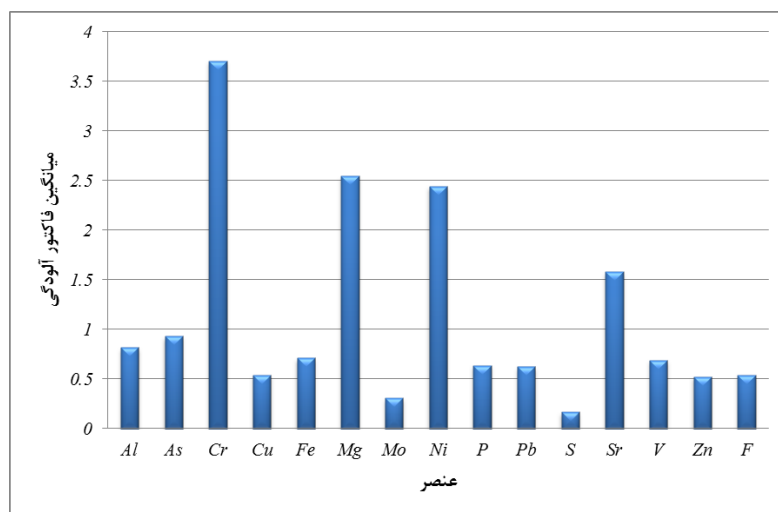
¹¹ Contamination Factor

¹² Modified Contamination Degree

این فرمول با فرمول شماره ۴-۵ مشابه است با این تفاوت که برای به دست آوردن آن بایستی مجموع فاکتور آلودگی عناصر مختلف (C_f) را بر تعداد آن‌ها (n) تقسیم کرد. همان‌طور که در جدول ۵-۱۰ و شکل ۵-۱۷ مشاهده می‌شود، متوسط فاکتور آلودگی عنصر کروم در نمونه‌های رسوب منطقه آلودگی قابل توجه نشان می‌دهد. همچنین مقدار متوسط فاکتور آلودگی عناصر منیزیم، نیکل و استرانسیم در حد آلودگی متوسط است. رسوبات منطقه از نظر دیگر عناصر در محدوده آلودگی کم قرار می‌گیرند.

جدول ۵-۱۰ مقادیر فاکتور آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب

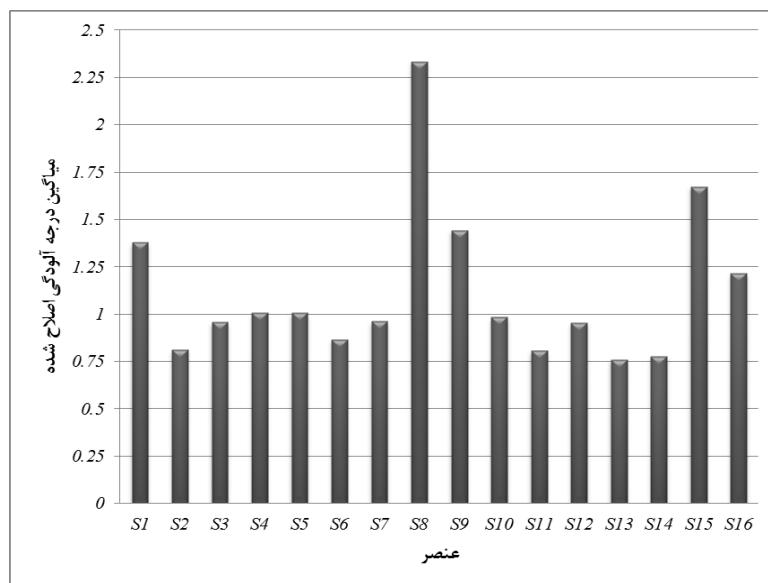
	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mo	Ni	P	S	Sr	V	Zn	F	mCd
S1	۰/۱۸۰۰	۰/۱۶۰۸	۵/۰۲۲	۰/۱۶۵۶	۰/۱۸۰۴	۴/۳۰۳	۰/۲۶۹	۴/۳۶۵	۰/۶۵۰	۰/۰۳۲	۱/۰۲۱	۰/۱۷۵۴	۰/۵۴۸	۰/۴۰۵	۱/۴۳۸
S2	۰/۹۲۶	۰/۱۸۸۵	۱/۳۳۳	۰/۱۶۲۷	۰/۱۶۸۴	۱/۳۸۸	۰/۳۴۶	۰/۸۵۰	۰/۷۵۰	۰/۳۷۳	۱/۵۶۰	۰/۱۷۳۱	۰/۵۵۷	۰/۵۴۱	۰/۱۸۱۸
S3	۰/۹۴۶	۱/۱۰۰	۱/۸۸۹	۰/۵۲۷	۰/۷۹۹	۱/۵۸۸	۰/۳۴۶	۱/۲۷۹	۱/۱۳۶	۰/۲۳۱	۱/۸۱۳	۰/۷۴۶	۰/۶۲۲	۰/۵۴۱	۰/۹۶۹
S4	۰/۱۹۱	۰/۷۳۱	۴/۰۰۰	۰/۴۲۰	۰/۶۶۳	۱/۹۹۶	۰/۳۰۸	۱/۹۹۷	۰/۵۹۱	۰/۰۶۶	۱/۳۷۷	۰/۶۷۷	۰/۵۰۴	۰/۲۷۰	۱/۰۳۵
S5	۰/۹۰۵	۱/۵۸۵	۲/۵۶۷	۰/۶۸۷	۰/۸۵۱	۱/۸۴۰	۰/۳۴۶	۱/۳۳۲	۰/۶۶۴	۰/۰۵۴	۱/۴۴۱	۰/۹۱۵	۰/۶۰۲	۰/۵۴۱	۱/۰۲۴
S6	۰/۶۹۴	۰/۹۴۶	۱/۷۳۳	۰/۵۹۸	۰/۵۸۸	۱/۹۳۴	۰/۲۶۹	۱/۹۲۶	۰/۴۸۶	۰/۰۴۶	۱/۸۸۶	۰/۵۶۲	۰/۴۸۲	۰/۲۷۰	۰/۸۸۷
S7	۰/۶۹۶	۱/۱۵۴	۲/۳۷۸	۰/۶۰۲	۰/۶۷۲	۱/۷۱۵	۰/۳۰۸	۱/۶۵۹	۰/۵۱۰	۰/۰۴۶	۱/۹۵۵	۰/۶۶۹	۰/۵۴۷	۰/۹۴۶	۰/۹۸۳
S8	۰/۵۶۲	۰/۶۳۱	۱۲/۸۰۰	۰/۴۰۴	۰/۸۲۹	۷/۷۵۴	۰/۲۳۱	۸/۷۰۷	۰/۲۸۶	۰/۰۷۱	۱/۰۰۷	۰/۶۰۰	۰/۴۳۹	۰/۲۷۰	۲/۴۷۱
S9	۰/۱۸۵۸	۰/۹۶۹	۵/۱۲۲	۰/۵۱۸	۰/۷۷۱	۴/۰۶۳	۰/۳۰۸	۴/۱۱۵	۰/۵۴۰	۰/۱۲۳	۱/۵۴۷	۰/۱۷۳۱	۰/۵۶۲	۰/۸۱۱	۱/۵۰۳
S10	۰/۹۶۵	۰/۹۶۲	۲/۵۱۱	۰/۵۵۳	۰/۷۶۵	۱/۹۲۱	۰/۴۶۲	۱/۳۰۱	۰/۸۹۹	۰/۱۲۸	۱/۶۷۶	۰/۱۷۳۱	۰/۵۴۹	۰/۵۴۱	۰/۹۹۷
S11	۰/۸۷۴	۰/۹۶۹	۱/۳۷۸	۰/۵۷۶	۰/۶۷۸	۱/۴۸۶	۰/۲۶۹	۱/۱۱۶	۰/۵۵۶	۰/۰۵۵	۱/۵۵۹	۰/۱۷۲۳	۰/۵۵۱	۰/۶۷۶	۰/۸۱۹
S12	۰/۸۴۴	۰/۹۲۳	۱/۸۸۹	۰/۶۰۹	۰/۶۷۶	۲/۱۸۹	۰/۲۶۹	۱/۹۷۸	۰/۷۸۷	۰/۰۶۰	۱/۴۲۶	۰/۶۶۲	۰/۵۸۶	۰/۸۱۱	۰/۹۷۹
S13	۰/۷۸۸	۰/۷۹۲	۱/۴۵۶	۰/۴۷۱	۰/۶۴۵	۱/۳۶۱	۰/۲۶۹	۱/۰۱۲	۰/۶۸۴	۰/۰۶۳	۱/۴۶۶	۰/۷۰۰	۰/۴۷۳	۰/۵۴۱	۰/۷۶۶
S14	۰/۷۰۲	۰/۹۹۲	۱/۶۳۳	۰/۵۳۳	۰/۵۴۲	۱/۲۵۴	۰/۲۳۱	۱/۰۳۴	۰/۵۹۳	۰/۱۱۰	۱/۹۴۷	۰/۵۴۶	۰/۴۵۲	۰/۵۴۱	۰/۷۹۳
S15	۰/۷۹۴	۰/۱۸۸۵	۹/۳۴۴	۰/۴۶۲	۰/۸۳۱	۳/۶۵۸	۰/۳۴۶	۴/۴۰۰	۰/۴۸۶	۰/۰۶۵	۱/۴۱۷	۰/۷۶۲	۰/۵۲۱	۰/۵۴۱	۱/۷۵۱
S16	۰/۸۴۴	۰/۷۶۹	۴/۵۳۳	۰/۴۱۶	۰/۶۴۹	۲/۳۳۹	۰/۳۸۵	۲/۱۷۶	۰/۶۳۱	۱/۲۲۶	۲/۲۳۲	۰/۵۹۲	۰/۴۳۰	۰/۴۰۵	۱/۲۵۹
میانگین	۰/۸۱۸	۰/۹۳۱	۳/۷۱۲	۰/۵۴۱	۰/۷۱۵	۲/۵۴۹	۰/۳۱۰	۲/۴۴۷	۰/۶۴۱	۰/۱۷۲	۱/۵۸۳	۰/۶۹۴	۰/۵۲۷	۰/۵۴۱	۱/۱۵۶



شکل ۵-۱۷ مقادیر میانگین فاکتور آلودگی در نمونه‌های رسوب

همان‌طور که در شکل ۵-۱۸ نشان داده شده است، از نظر درجه آلودگی، نمونه S8 که منشأ آن سنگ-های افیولیتی اولترامافیکی است، دارای آلودگی متوسط است و بالاترین درجه آلودگی اصلاح شده (۲/۴۷۱) را در بین نمونه‌های رسوب دارد. پس از آن، نمونه S15 که برآمده از توف‌های لیتیک و سنگ‌های آذرین اولترامافیکی است، دارای آلودگی اندک است. سایر نمونه‌ها غیرآلوده‌اند یا آلودگی بسیار اندکی

دارند.



شکل ۵-۱۸ مقادیر درجه آلودگی اصلاح شده در نمونه‌های رسوب

به طور کلی، وجود ناهنجاری در غلظت عناصر کروم، منیزیم و نیکل در رسوبات سرچشمه گرفته از سنگ‌های اولترامافیکی مانند S8، S15، S9 و S1، میزان درجه آلودگی را در این نمونه‌ها افزایش داده است. نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص‌هایی که با استفاده از میانگین شیل جهانی به دست می‌آیند، شامل شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده نتایج یکدیگر را تأیید می‌کنند.

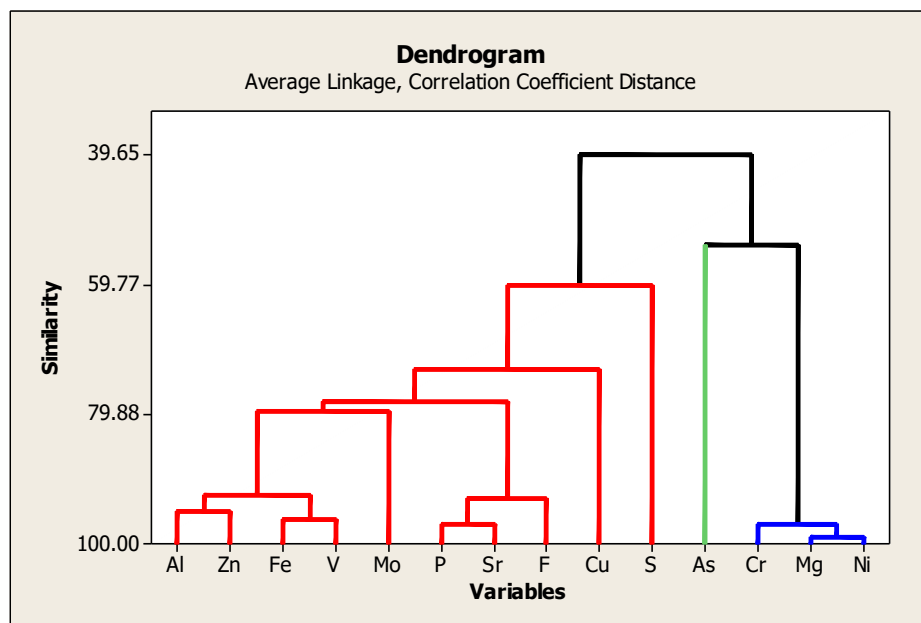
۵-۷ آنالیز خوشه‌ای^{۱۳} (CA)

با استفاده از آنالیز خوشه‌ای و با مشاهده هر یک از خوشه‌ها میزان ارتباط عناصر مختلف با یکدیگر سنجیده و درباره منشأ عناصر تحقیق صورت می‌گیرد. رایج‌ترین روش خوشه‌بندی، اتصال داده‌های با

¹³ Cluster Analysis

بیشترین شباهت در همبستگی با هم است. در این روش، خوشه‌ها بر اساس میزان ارتباط و همبستگی پارامترها با یکدیگر، مرحله به مرحله به هم می‌پیوندند تا اینکه تمامی پارامترها را در برگیرند. در پایان یک نمودار درخت مانند به وجود می‌آید و هر کدام از پارامترهایی که همبستگی بیشتری با هم دارند در شاخه‌های نزدیک به هم قرار می‌گیرند و با کمتر شدن ارتباط پارامترها با یکدیگر، شاخه‌ها نیز از هم فاصله می‌گیرند (حسنی پاک و شرف‌الدین ۱۳۸۰).

در شکل ۵-۱۹ نمودار درختی برای عناصر مورد بحث در رسوبات منطقه با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود عناصر نیکل، کروم و منیزیم رابطه بسیار تنگاتنگی با یکدیگر دارند. این رابطه نشان می‌دهد که به احتمال بسیار زیاد این سه فلز منشأ یکسانی دارند که با توجه به ژئوشیمی سنگ‌ها و عناصر تنها منشأ یکسان که هر سه این عناصر را در بر می‌گیرد، سنگ‌های آذرین اولترامافیک است. در گروه دوم، آلومینیم و روی به دلیل قابلیت بالای روی در جذب شدن توسط کانی‌های رسی، که محتوای آلومینیم بالایی دارند، ارتباط نزدیکی با هم نشان می‌دهند. از طرف دیگر آهن و وانادیم به علت شباهت‌های فراوان در ویژگی‌های ژئوشیمیایی، ارتباط زیادی با یکدیگر دارند. فسفر، استرانسیم و فلئور سه عنصری هستند که رابطه آن‌ها بسیار نزدیک است. دلیل این امر می‌تواند منشأ یکسان فسفر، استرانسیم و فلئور در کانی فلئورآپاتیت باشد. مولیبدن بین گروه فسفر، استرانسیم، فلئور و گروه آلومینیم، روی، آهن، وانادیم قرار می‌گیرد. از آنجایی که تقریباً تمامی این عناصر در سنگ‌های آذرین حدواسط و اسیدی تمرکز می‌یابند، بنابراین می‌توان منشأ مولیبدن را نیز به این سنگ‌ها نسبت داد. مس هم مانند مولیبدن چنین رابطه‌ای را البته با شدت کمتر نشان می‌دهد. نبود رابطه چندان بین گوگرد و آرسنیک با سایر عناصر نشان‌دهنده وجود چندین منشأ مختلف برای این دو عنصر است. زیرا این دو عنصر هم از سنگ‌های رسوبی (مانند شیل) و هم از سنگ‌های آذرین (مانند روانه‌های بازالتی-آندزیتی) سرچشمه می‌گیرند.



شکل ۵-۱۹ نمودار آنالیز خوشه‌ای عناصر مورد بررسی در رسوبات منطقه

۵-۸ تحلیل مؤلفه اصلی^{۱۴} (PCA)

این آزمون این امکان را می‌دهد تا با استفاده از آن بتوان گستره ابعاد داده‌ها را کاهش داد. بدین معنا که در این آزمون تعداد متغیرهای به دست آمده کمتر از متغیرهای اصلی است. در این آزمون، هر متغیر را بسته به تعداد متغیرها، به چند بعد و برای هر بعد یک امتیاز در نظر گرفته می‌شود. با توجه به امتیاز داده شده به هر مؤلفه، می‌توان بین مؤلفه‌های موجود ارتباط برقرار کرد و مؤلفه‌های غیرمرتبط را حذف نمود (Fernandez et al., 2004, Lucho-Constantino et al., 2005). اعداد و امتیازات داده شده برای عناصر موجود در رسوبات منطقه در جدول ۵-۱۱ و شکل ۵-۲۰ با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 آمده است. برای به دست آوردن مجموعه عناصری که در هر مؤلفه جای می‌گیرند، باید در هر ستون عناصری که امتیاز فاکتوری آنها بالاتر از ۰/۶ است را انتخاب کرده و در یک گروه طبقه‌بندی نمود (یوسفی و کاکایی ۱۳۸۵). همان‌گونه که در جدول ۵-۱۱ مشاهده می‌شود، هر کدام از عناصر مورد بررسی به سه مؤلفه تقسیم

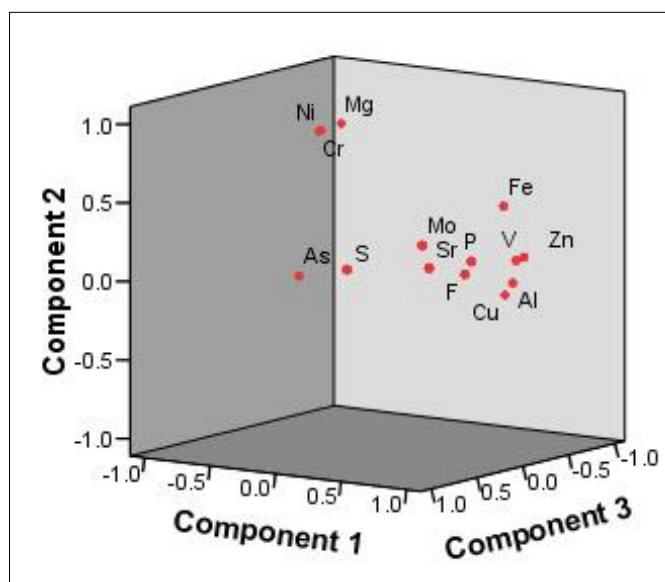
¹⁴ Principal Component Analysis

شده‌اند. در مؤلفه اول آلومینیم، مس، آهن، مولیبدن، فسفر، وانادیم، روی، استرانسیم و فلوئور با یکدیگر مرتبط می‌باشند. در مؤلفه دوم کروم، منیزیم و نیکل ارتباط بسیار نزدیکی با هم دارند. امتیازات داده شده به مؤلفه سوم نشان‌گر نبود ارتباط مشخص بین گوگرد با سایر عناصر است. البته گوگرد با عناصری همچون استرانسیم و مولیبدن رابطه اندکی نشان می‌دهد که بیان‌گر احتمال حضور سولفات‌ها و سولفیدهای این عناصر در محیط است.

جدول ۵-۱۱ نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی

		Al	As	Cr	Cu	Fe	Mg	Mo	Ni	P	S	V	Zn	Sr	F
مؤلفه	۱	۰/۹۱۸	-۰/۳۷۱	-۰/۴۶۷	۰/۶۷۵	۰/۷۰۹	-۰/۳۵۳	۰/۶۲۸	-۰/۴۹۹	۰/۸۶۹	۰/۲۶۴	۰/۸۳۲	۰/۹۶۳	۰/۷۵	۰/۸۲
	۲	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۴	۰/۸۵۶	-۰/۱۲۸	۰/۴۵	۰/۹۰۶	۰/۳۰۳	۰/۸۴۹	۰/۱۹۸	۰/۱۵۶	۰/۱۳۱	۰/۱۶۲	۰/۱۸۵	۰/۱۱۱
	۳	-۰/۱۶۵	۰/۳۲۷	-۰/۰۳	-۰/۴۲۷	-۰/۳۶۲	-۰/۱۰۹	۰/۴۰۸	-۰/۰۹۷	۰/۲۱۸	۰/۷۰۹	-۰/۴۱	-۰/۱۳۹	۰/۵۰۶	۰/۲۱۹

به منظور درک بهتر و تجسم فضایی موضوع، در شکل ۵-۲۰ نمودار سه بعدی تحلیل مؤلفه اصلی برای عناصر مورد مطالعه آمده است. برآیند نتایج به دست آمده از ماتریس همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی عناصر نشان دهنده هم‌خوانی کاملاً آشکار این سه روش با هم است.



شکل ۵-۲۰ نمودار سه بعدی PCA برای عناصر مورد مطالعه در رسوبات

فصل ششم

بررسی کیفیت

منابع آب

۱-۶ مقدمه

بررسی تغییرات کیفیت منابع آب از بالادست به سمت پایین دست حوضه و ارتباط آن با خصوصیات ژئوشیمی رسوبات منطقه یکی از مهم ترین اهداف این پژوهش به شمار می رود. نتایج آنالیزهای شیمیایی آب در جدول های ۱-۶ و ۲-۶ آمده است. یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت منابع آب، اعم از منابع سطحی و زیرزمینی، ترکیب سنگ ها و رسوبات در تماس با آب است. در این فصل به بررسی همبستگی میان غلظت عناصر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در منابع آب، نحوه توزیع مقادیر اندازه گیری شده بسیاری از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و برخی از عناصر، تیپ و رخساره منابع آب از بالادست به سمت پایین دست، شاخص اشباع شدگی برخی از کانی های مهم حاوی عناصر و تغییرات آن ها در منطقه مورد مطالعه، بررسی پویایی عناصر با توجه به نمودارهای Eh-pH، منشأ عناصر محلول در منابع آب با استفاده از روش تعادل جرمی و در نهایت آزمون فیشر جهت پی بردن به ارتباط میان غلظت عناصر در رسوبات و سنگ های موجود با کیفیت منابع آب در منطقه پرداخته شده است.

۲-۶ همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و برخی عناصر در منابع آب

جدول همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و برخی از عناصر در منابع آب حوضه در جدول ۳-۶ آورده شده است. همبستگی های بالاتر از ۰/۶۵ با خط ضخیم تر نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، آلومینیم با هیچ کدام از پارامترهای یاد شده همبستگی چندانی ندارد. این مسئله می تواند به دلیل پایین بودن انحلال آلومینیم در محیط باشد.

آرسنیک همبستگی بالایی با آهن (۰/۷۹)، وانادیم (۰/۶۵۵)، مولیبدن (۰/۷۲۳) و پتاسیم (۰/۶۸۵) نشان می دهد. این همبستگی بالا، تأثیر بالای اکسیدهای آهن، وانادیم و مولیبدن را در جذب آرسنیک در رسوبات و همراه بودن آن ها را در رسوبات و به تبع آن در آب روشن می سازد.

فصل ششم: بررسی کیفیت منابع آب

جدول ۶-۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اصلی در نمونه‌های آب

	Ca(mg/L)	Na(mg/L)	Mg(mg/L)	K(mg/L)	Cl(mg/L)	SO4(mg/L)	HCO3(mg/L)	CO3(mg/L)	IDS(mg/L)	TH (mg/L as CaCO3)	TA(mg/L as CaCO3)	EC(μs/cm)	pH
Q1	۲۱/۹۱	۴۵۰/۱۵	۱۷/۶۳	۰/۱۵۶	۲۰۵	۵۰۶/۲۶	۳۲۹/۷۷	۰	۱۴۴۴/۱۷	۱۲۵/۲۸	۲۷۰/۳	۲۱۶۰	۸/۱۴
Q2	۷۷/۰۳	۴۷۶	۲۷/۲۲	۳/۲۱	۳۸۶	۶۴۸/۴۶	۱۴۳/۶۶	۱۱/۲۲	۱۷۳۷/۶۹	۲۹۳/۴	۱۴۰/۲۵	۲۶۹۰	۸/۶۱
Q3	۲۸۳/۱	۱۱۱۲	۱۱۷/۹	۳۵/۱	۱۲۴۴	۱۳۵۴/۳	۱۱۰/۷۵	۰	۴۲۰۸/۶۱	۱۱۵۸/۶	۹۰/۷۸	۶۲۷۰	۷/۸۹
W1	۱۲۱	۷۱۳/۵	۸۱/۴۷	۱۱/۵۳	۷۶۹	۱۰۸۱/۸۶	۱۳۱/۲۸	۰	۲۹۳۹/۰۱	۶۶۷/۳۴	۱۰۷/۶۱	۴۳۶۰	۷/۹۵
W2	۱۲۷/۶	۷۴۸/۸	۸۵/۳۴	۱۳/۰۵	۷۶۱	۱۱۰۶/۰۵	۱۳۰/۶۶	۰	۲۹۸۵/۷	۶۸۱/۷۶	۱۰۷/۱	۴۴۰۰	۷/۸۹
W3	۱۷۶/۷	۹۰۷/۸	۱۰۵	۱۴/۳	۸۹۲	۱۲۰۳/۶۱	۱۳۶/۸۸	۰	۳۲۹۳/۷	۸۲۷/۰۷	۱۱۲/۲	۵۰۳۰	۷/۸۱
W4	۲۶۶/۷	۱۳۶۱	۱۰۸/۷	۲۶/۵	۱۳۸۷	۱۶۰۲/۳	۱۴۰	۰	۴۴۶۶/۹۷	۱۰۶۴/۲	۱۱۴/۷۵	۶۹۹۰	۷/۷۶
W5	۲۰۱/۵	۱۰۴۴	۱۳۳/۷	۱۴/۸	۱۰۱۸	۱۴۱۵/۳	۱۷۸/۵۷	۰	۳۶۶۳/۹۵	۹۷۷/۳۱	۱۴۶/۳۷	۵۴۷۰	۷/۷۱
W6	۴۲۰/۷	۱۸۳۰	۱۲۲/۶	۲۳/۶	۱۹۱۶	۲۲۳۴/۲۸	۱۲۳/۲	۰	۶۴۰۷/۰۸	۱۴۶۰/۷	۱۰۰/۹۸	۹۳۲۰	۷/۳۱
W7	۳۹۰/۳	۱۸۹۷	۱۲۴/۹	۱۵/۸	۲۰۴۶	۲۲۵۱/۳۸	۱۱۹/۳۵	۰	۶۵۷۲/۹۱	۱۴۰۳/۷۱	۹۵/۳۷	۹۵۱۰	۷/۶۹
W8	۵۹۱/۲	۲۳۹۸	۱۸۳/۸	۱۲/۵	۲۷۶۰	۲۹۲۴/۳۷	۱۱۹/۴۶	۰	۸۳۹۶/۸۳	۲۰۶۴/۷۵	۹۷/۹۲	۱۲۱۸۰	۷/۶۶
W9	۶۹۶/۶	۲۶۶۱	۱۸۱/۶	۱۰/۹	۳۱۷۲	۳۰۰۶/۵۶	۱۱۲/۶۲	۰	۹۱۷۵/۱۶	۲۴۲۵/۳	۹۲/۳۱	۱۳۶۰۰	۷/۱۷
W10	۴۲۸/۶	۱۵۷۷	۱۰۴/۵	۶/۲	۱۷۳۵	۱۸۸۶/۳	۱۳۴/۴	۰	۵۵۹۸/۴۱	۱۳۹۷/۱	۱۱۰/۱۶	۸۱۹۰	۷/۶۵
W11	۱۳۵/۵	۱۱۱۹	۱۱۶/۷	۱۰/۶	۱۰۷۴	۱۳۶۷/۱۲	۲۰۹/۶۸	۰	۳۹۲۹/۲۲	۸۰۲/۴۲	۱۷۱/۸۷	۵۷۷۰	۷/۵۹
R1	۳۶۲/۳	۱۴۱۶	۱۷۷/۹	۲۹/۱	۱۶۹۴	۱۸۸۰/۳۴	۱۴۹/۳۳	۰	۵۳۶۵/۴۹	۱۵۳۶/۹	۱۲۲/۴	۷۹۰۰	۸/۰۶
R2	۳۰۸/۸	۱۳۷۵	۱۶۲/۱	۲۴/۷	۱۵۱۹	۱۸۱۳/۶	۱۲۲/۶۵	۱۴/۲۸	۵۰۸۸/۴۸	۱۳۴۶/۲۹	۱۲۹/۰۳	۷۴۹۰	۸/۲۸
R3	۳۷۰	۱۵۵۵	۱۷۸/۲	۲۸	۱۷۰۰	۱۹۸۶	۲۶۱/۳۲	۰	۵۳۹۲/۶۱	۱۵۱۳/۷	۲۱۴/۲	۸۱۲۰	۷/۶۷
Sp	۲۳۵/۹	۹۹۳/۶	۳۶/۸	۶/۸	۷۷۱	۱۲۹۰	۵۶/۶۲	۰	۳۵۷۸/۵۹	۷۳۹/۸۸	۴۶/۴۱	۵۱۶۰	۶/۰۱

فصل ششم: بررسی کیفیت منابع آب

جدول ۶-۲ غلظت برخی از عناصر و فلزات سنگین در نمونه‌های آب (بر حسب ppb)

	Al	As	B	Br	Cr	Cu	Fe	V	Mo	Si	Zn	Sr	F
Q1	۵	۱۴/۲	۱۰۰۲	۱۸۶	۴۰/۸	۱۳۳	۱۰	۴۴/۴	۲۵	۳۰۱۷۷	۱۱۰/۶	۱۳۱۱	۱۸۱۰
Q2	۸۹	۵/۹	۱۰۷۷	۱۵۰	۱۴/۶	۲/۹	۳۶	۹/۳	۱۳/۱	۸۷۷۹	۳/۸	۳۰۵۷	۱۵۰۰
Q3	۱۶	۲۵	۲۲۵۹	۴۵۴	۱۸	۷	۷۹	۲۹	۲۴	۲۴۳۶۳	۷	۸۷۱۹	۱۳۷۰
W1	۵	۹/۴	۳۰۹۱	۴۲۶	۴۶/۹	۱۸/۶	۱۹	۱۴/۳	۱۷/۸	۱۴۸۳۲	۱۳/۳	۵۵۳۰	۱۲۳۰
W2	۵	۱۰/۵	۳۱۱۰	۴۳۱	۵۱	۳/۱	۲۶	۱۵/۳	۱۹/۵	۱۵۰۷۴	۸/۸	۶۰۹۹	۱۲۶۰
W3	۱۰	۱۱	۴۴۳۹	۴۸۴	۵۵	۵	۲۶	۱۶	۱۸	۱۴۹۲۶	۸	۷۴۱۴	۱۱۳۰
W4	۱۴	۲۳	۲۸۳۲	۳۱۸	۱۷	۹	۷۵	۲۸	۲۳	۲۴۱۲۱	۲۸	۸۲۷۷	۱۳۳۰
W5	۱۰	۹	۵۶۶۵	۵۵۲	۶۴	۵	۲۳	۲۰	۱۷	۱۵۷۵۷	۹	۸۸۴۴	۱۲۵۰
W6	۱۰	۲۴	۳۴۴۶	۴۲۸	۳۶	۱۸	۷۴	۲۷	۴۶	۲۴۶۷۰	۱۱	۱۶۴۶۴	۱۷۸۰
W7	۱۰	۲۷	۳۷۲۱	۳۷۷	۳۴	۱۱	۷۸	۳۱	۴۲	۲۲۵۵۶	۸	۱۶۸۰۷	۱۶۸۰
W8	۱۰	۱۷	۵۱۹۲	۶۷۲	۳۶	۱۸	۴۵	۲۰	۱۴	۱۹۵۶۵	۱۲	۲۰۴۳۹	۱۵۵۰
W9	۱۰	۱۷	۵۱۰۹	۷۴۴	۵۱	۱۰	۵۰	۱۹	۱۸	۱۷۲۰۴	۱۵	۲۳۸۱۵	۱۶۴۰
W10	۱۱	۱۳	۵۵۵۹	۵۳۵	۳۹	۷	۳۵	۱۵	۷	۱۷۱۱۵	۱۱	۱۲۳۱۰	۱۱۶۰
W11	۱۱	۱۲	۸۳۹۹	۵۹۲	۸۴	۵	۳۹	۱۸	۱۷	۲۶۳۰۲	۲۹	۲۱۴۰	۱۲۳۰
R1	۱۱۹	۲۳	۳۸۲۱	۶۰۹	۳۶	۱۰	۳۹	۲۸	۲۶	۲۱۸۸۰	۱۰	۱۳۲۲۴	۱۲۲۰
R2	۱۸	۱۸	۵۱۰۱	۵۷۴	۴۰	۷	۴۳	۲۳	۲۰	۱۹۶۱۲	۱۰	۱۱۹۹۰	۱۱۷۰
R3	۵۲	۱۵	۶۶۶۴	۶۷۹	۴۴	۷	۷۱	۲۱	۲۴	۲۰۴۴۷	۳۲۰	۱۲۲۶۳	۱۴۰۰
Sp	۶۸	۱۰	۲۶۱۵	۳۴۴	۶	۸	۲۰	۱۴	۹	۱۰۵۷۴	۱۶	۱۱۷۰۲	۱۱۵۰

فصل ششم: بررسی کیفیت منابع آب

جدول ۳-۶ مقادیر همبستگی بین عناصر موجود در آب

	Al	As	B	Br	Cr	Cu	Fe	V	Mo	Si	Zn	Sr	Ca	Na	Mg	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	F	TDS	TH	TA	EC	pH
Al	۱																									
As	-۰.۵۵۷۶	۱																								
B	-۰.۱۹۸۸۹	-۰.۰۶۱	۱																							
Br	-۰.۸۷۷۴	-۰.۱۴۶۷۶۷	-۰.۸۰۷۷	۱																						
Cr	-۰.۴۱۸۹۲	-۰.۲۷۱۰۶	-۰.۷۱۰۸	-۰.۵۰۲۶۷۳	۱																					
Cu	-۰.۱۹۰۵۸	-۰.۰۰۰۵۴۶	-۰.۴۰۷۴۳	-۰.۴۱۲۹۱	-۰.۰۰۳۸۱	۱																				
Fe	-۰.۰۵۲۹۵	-۰.۷۹۰۲	-۰.۱۰۲۷۷۹	-۰.۱۷۴۲۹	-۰.۲۷۶۵۲	-۰.۳۳۶۹۳	۱																			
V	-۰.۱۶۴۶۵	-۰.۶۵۴۹	-۰.۲۷۱۴۶	-۰.۱۹۲۱۱	-۰.۰۹۱۴	-۰.۷۰۲۴	-۰.۲۷۷۷۲۱	۱																		
Mo	-۰.۱۲۳۵۹	-۰.۷۲۲۸	-۰.۱۵۲۶	-۰.۱۱۱۹۹	-۰.۰۲۵۵۵	-۰.۱۵۸۶۲۲	-۰.۰۱۹۹۶	-۰.۶۱۶۱۲۴	۱																	
Si	-۰.۳۰۸۸۱	-۰.۶۴۶۰۴	-۰.۱۱۱۹۰۸	-۰.۵۵۸۹۴	-۰.۲۰۴۱۶۶	-۰.۵۱۶۶۰۵	-۰.۳۹۸۸۴۴	-۰.۸۵۰۵	-۰.۵۶۷۹۱۸	۱																
Zn	-۰.۱۲۰۷۳۲	-۰.۰۴۳۱۸	-۰.۲۳۸۶۵۴	-۰.۱۷۵۴۳۲	-۰.۸۱۳۰۷	-۰.۲۳۳۳۱۳	-۰.۱۸۳۹۶۱	-۰.۱۹۱۶۷۸	-۰.۰۹۰۹۹	-۰.۳۳۰۷۴۳	۱															
Sr	-۰.۰۲۶۴۳	-۰.۴۹۱۳۶۲	-۰.۲۵۶۵۲۹	-۰.۰۰۴۳۹	-۰.۱۱۳۵۸۹	-۰.۲۹۳۲۹	-۰.۴۴۴۰۵۸	۷۷۵E-۰۲	-۰.۲۳۲۲۱	-۰.۰۲۹۸۷	-۰.۰۶۰۵۲	۱														
Ca	-۰.۰۵۶۵۵	-۰.۴۹۴۰۸	-۰.۳۶۷۶۸۶	-۰.۶۸۴	-۰.۰۶۷۷۶	-۰.۳۰۲۰۵	-۰.۴۹۳۷۶۶	-۰.۰۰۲۳۴	-۰.۱۳۴۱۶۱	-۰.۰۶۳۷۵۷	-۰.۰۰۷۶۸	-۰.۹۶۱۶	۱													
Na	-۰.۱۵۶۴۲	-۰.۱۵۳۳۶۶	-۰.۴۴۶۵۳۲	-۰.۶۸۰۹	-۰.۰۴۴۲۱	-۰.۲۷۴۷۱	-۰.۵۹۳۳۴	-۰.۲۲۹۷۶۶	-۰.۱۷۲۰۳۳	-۰.۰۰۳۱۲	-۰.۹۳۷۱	-۰.۹۷۳۸	۱													
Mg	-۰.۰۲۵۱۶	-۰.۴۶۹۶۷۸	-۰.۶۵۳۳	-۰.۸۹۲۹	-۰.۳۰۹۶۶۶	-۰.۴۲۱۹۸	-۰.۴۷۵۲۳۵	-۰.۳۲۵۷۷	-۰.۱۹۲۱۱۴	-۰.۲۰۸۰۳۴	-۰.۱۵۵۵۰۳	-۰.۶۹۵۶	-۰.۷۵۵۳	-۰.۷۷۲۲	۱											
K	-۰.۱۲۲۴۱۱	-۰.۶۸۴۸	-۰.۱۳۰۶۳	-۰.۳۵۱۲۸۴	-۰.۱۴۸۱۵	-۰.۲۷۳۴۹	-۰.۷۰۱۳	-۰.۲۷۴۷۱۸	-۰.۴۵۱۵۵۴	-۰.۳۴۹۳۱۱	-۰.۱۷۷۱۵۱	-۰.۳۴۵۶۶۴	-۰.۲۶۹۸۴۲	-۰.۲۵۲۴۴	-۰.۰۰۲۲۸	۱										
Cl	-۰.۱۳۱۲۴	-۰.۵۲۹۸۴۲	-۰.۴۴۳۱۳۲	-۰.۷۱۸۴	-۰.۰۶۱۶۳۲	-۰.۳۰۴۶۱	-۰.۵۲۹۲۳۹	-۰.۳۴۶۶۳	-۰.۲۰۷۵۴	-۰.۱۵۰۶۵۴	-۰.۰۱۵۸۷	-۰.۹۳۱۸	-۰.۹۷۸	-۰.۹۹۱۷	-۰.۸۱۴	-۰.۲۸۹۹۹۱	۱									
SO4	-۰.۱۲۴۷۲	-۰.۵۱۵۱۶۹	-۰.۴۷۸۰۶۴	-۰.۷۲۷۱	-۰.۰۳۳۲۵۲	-۰.۳۳۲۲۹	-۰.۵۱۶۷۸۶	-۰.۱۲۰۶۹	-۰.۲۵۳۰۷	-۰.۱۲۷۷۵۷	-۰.۰۰۲۴۱	-۰.۹۴۶۱	-۰.۹۷۰۱	-۰.۹۹۱۳	-۰.۸۱۹۸	-۰.۲۹۶۷۷۴	-۰.۹۸۹	۱								
HCO3	-۰.۰۷۵۵۵	-۰.۱۵۰۵۶	-۰.۱۰۷۰۵۱	-۰.۱۰۰۰۵۴	-۰.۳۹۶۶۶۳	-۰.۶۸۲۱	-۰.۱۷۹۶۸	-۰.۴۹۱۱۰۳	-۰.۱۰۷۵۳۳	-۰.۵۲۸۲۷۹	-۰.۶۶۵۱	-۰.۴۶۰۰۴	-۰.۳۷۴۶۹	-۰.۳۰۹۷۵	-۰.۱۲۷۶۶	-۰.۱۵۰۳۸	-۰.۳۱۸۳۷	-۰.۳۴۰۵۶	۱							
CO3	-۰.۲۵۰۰۳۵	-۰.۱۷۶۴۵	-۰.۱۳۸۶۴	-۰.۱۹۴۵۴	-۰.۲۰۸۵۹	-۰.۱۲۹۲۳	-۰.۰۶۱۷۲	-۰.۲۰۹۱۲	-۰.۱۵۳۰۳	-۰.۲۹۰۱	-۰.۱۳۳۴۶	-۰.۱۴۷۸	-۰.۱۶۸۷۶	-۰.۱۹۸	-۰.۰۸۳۹۹	-۰.۰۲۶۵	-۰.۱۷۳۱۹	-۰.۱۸۰۶۴	-۰.۱۰۸۶۸	۱						
F	-۰.۱۸۸۷۲	-۰.۳۸۷۷۷۹	-۰.۳۱۵۹۵	-۰.۲۲۲۲۹	-۰.۱۳۴۵۹	-۰.۵۳۶۳۳۴	-۰.۳۴۱۱۰۶	-۰.۵۶۰۸۰۷	-۰.۶۰۷۲	-۰.۴۴۲۷۹۷	-۰.۱۵۵۵۵۲	-۰.۲۹۱۰۵۷	-۰.۲۵۹۱۵۱	-۰.۳۲۶۶۷۵	-۰.۰۳۵۸۷	-۰.۱۲۹۹۱	-۰.۲۹۱۳۳۸	-۰.۲۶۰۴۹	-۰.۳۰۱۰۹۴	-۰.۱۰۵۸۵	۱					
TDS	-۰.۱۳۶۲۵	-۰.۵۲۵۱۵۳	-۰.۴۴۸۴۵۹	-۰.۷۱۰۶	-۰.۰۴۷۹۷۵	-۰.۳۰۸۷۲	-۰.۵۲۳۶۴۳	-۰.۳۲۰۱۹	-۰.۲۲۲۱۵	-۰.۱۴۷۹۸۷	-۰.۰۳۰۶۹	-۰.۹۴۶	-۰.۹۷۸۹	-۰.۹۹۵۷	-۰.۷۹۶۶	-۰.۲۸۰۴۳	-۰.۹۹۵۳	-۰.۹۹۵۴	-۰.۳۴۹۹۶	-۰.۱۸۶۱۸	-۰.۲۸۵۷۳۹	۱				
TH	-۰.۰۶۰۳۶	-۰.۵۱۰۴۶۳	-۰.۴۷۷۱۲۸	-۰.۷۹۶۳	-۰.۰۶۱۲۹	-۰.۳۶۷۹	-۰.۵۰۸۷۶۹	-۰.۰۰۲۶۷	-۰.۱۵۵۲۰۳	-۰.۱۰۵۲۷۹	-۰.۰۲۲۷۲۶	-۰.۹۲۹۱	-۰.۹۷۶۱	-۰.۹۶۳	-۰.۸۷۴۸	-۰.۳۹۰۷۹۲	-۰.۹۸۱۵	-۰.۹۷۴۳	-۰.۳۳۵۳۶	-۰.۱۵۹۸۴	-۰.۱۶۹۶۰۹	-۰.۹۷۵۸	۱			
TA	-۰.۰۳۳۲۱	-۰.۱۸۵۱۱	-۰.۰۸۴۸۸۸	-۰.۱۳۱۱۶	-۰.۳۴۶۳۲۷	-۰.۶۶۲۳	-۰.۱۹۶۶۵	-۰.۴۵۸۶۸۸	-۰.۰۷۶۶۲۱	-۰.۴۸۰۳۵۵	-۰.۶۴۶۰۷۷	-۰.۴۸۸۵۳	-۰.۴۰۵۱۱	-۰.۳۴۵۹۲	-۰.۱۴۲۵۱	-۰.۱۵۵۲۴	-۰.۳۵۰۱۷	-۰.۳۷۳۷۹	-۰.۹۸۸۶۴	-۰.۵۵۹۳۱	-۰.۲۸۰۸۵۲	-۰.۳۸۴۱۸	-۰.۳۶۳۹۳	۱		
EC	-۰.۱۳۵۷۹	-۰.۵۳۷۹۱۴	-۰.۴۴۹۷۱۶	-۰.۷۱۲۶	-۰.۰۴۶۱	-۰.۳۱۵۹۵	-۰.۵۳۶۹۵۲	-۰.۳۲۰۴۲	-۰.۲۱۸۱۱۳	-۰.۱۴۹۶۳۹	-۰.۰۱۷۹۹	-۰.۹۴۲۲	-۰.۹۷۹۹	-۰.۹۹۶۳	-۰.۸۰۴۹	-۰.۲۹۶۶۶۱	-۰.۹۹۷۳	-۰.۹۹۶۷	-۰.۳۴۲۹۹	-۰.۱۸۵۷۹	-۰.۲۷۹۹۴۸	-۰.۹۹۹	-۰.۹۷۹۶	-۰.۳۷۶۹۷	۱	
pH	-۰.۰۳۰۴۲۱	-۰.۰۰۸۱۳	-۰.۱۶۴۶۴۳	-۰.۱۸۸۳۷	-۰.۱۴۳۲۱	-۰.۱۶۴۸۸۳	-۰.۰۱۱۷۳	-۰.۱۶۸۷۶۲	-۰.۰۹۱۳۵۶	-۰.۱۵۹۴۳۹	-۰.۰۱۲۴۴۷	-۰.۰۴۰۸	-۰.۳۳۴۹۴	-۰.۳۲۸۷۹	-۰.۰۴۲۷۱	-۰.۱۱۰۸۱۲	-۰.۲۴۶۵۸	-۰.۳۱۶۴۶	-۰.۳۸۷۱۲۴	-۰.۴۷۶۱۶	-۰.۰۶۶۳۸۱	-۰.۳۱۶۰۸	-۰.۳۵۵۵۵	-۰.۴۶۶۴۴۲	-۰.۳۰۶۶۳	۱

بور با برم (۰/۸۰۸)، کروم (۰/۷۱۱) و منیزیم (۰/۶۵۳) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. نبود رابطه نزدیک بین بور با برخی از عناصر اصلی محلول در آب، مانند سدیم و کلر، نشان دهنده وجود یک منبع نسبتاً متمرکز برای این عنصر است (Sanchez and Lopez., 2009). به این معنا که بور برخلاف سدیم و کلر، که از بالادست به سمت پایین دست بر مقدار آنها افزوده می‌شود، با نزدیک شدن به برخی از واحدها، مثلاً واحدهای اولترامافیک، بر مقدار آن افزوده و با دور شدن از آن از غلظت آن در آب کاسته می‌شود. ارتباط بالای بور با منیزیم و کروم نیز تأثیر توده‌های اولترامافیک را بر غلظت آن آشکار می‌کند.

برم با بسیاری از آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی محلول در آب مانند کلسیم (۰/۶۸۴)، سدیم (۰/۶۸۰۹)، کلر (۰/۷۱۸۴)، سولفات (۰/۷۲۷۱)، و نیز با کل جامدات محلول (TDS) (۰/۷۱۰۶)، سختی کل (TH) (۰/۷۹۴۳) و هدایت الکتریکی (EC) (۰/۷۱۳۶) رابطه نزدیکی نشان می‌دهد. همبستگی برم با این پارامترها نشان از افزایش آن از بالادست به سمت پایین دست حوضه و عدم ته‌نشینی یا جذب آن توسط مواد مختلف در طول مسیر است زیرا تمامی پارامترهایی که برم با آنها همبستگی بالایی دارد از بالادست به سمت پایین دست حوضه بر مقدارشان افزوده می‌شود.

کروم در آب به جز با بور (۰/۷۱۰۸) رابطه چندانی با بقیه پارامترها ندارد. نبود ارتباط چندان کروم با سایر پارامترها، رفتار متفاوت این فلز با سایر عناصر و پارامترها را از بالادست به سمت پایین دست حوضه، آشکار می‌کند. همانطور که در فصل پیشین نیز به آن اشاره شد، کروم در توده‌های اولترامافیک تمرکز می‌یابد، در حالی که بسیاری از فلزات، به جز نیکل و منیزیم، در رسوبات حاصل شده از این سنگ‌ها تهی شده‌اند. بنابراین طبیعی است که کروم در آب نیز با این فلزات همبستگی چندانی نداشته باشد. نبود همبستگی بالا میان کروم و منیزیم در منابع آب (بر خلاف ارتباط بسیار بالای آنها در نمونه‌های رسوب) نشان دهنده این است که ترکیبات منیزیم موجود در توده‌های اولترامافیک که معمولاً به صورت کانی‌های سیلیکاته

است، از انحلال پذیری کمتری به نسبت سایر ترکیبات منیزیم، مانند سولفات‌ها و کلریدهای منیزیم برخوردارند.

مس با وانادیم (۰/۷۰۳۴)، بیکربنات (۰/۶۸۲۱) و قلیائیت کل (۰/۶۶۳۲) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. همبستگی بالای مس با پارامترهای یاد شده نشان از این مطلب دارد که در بالادست حوضه (که غلظت بیکربنات در آنجا بالا است) به صورت پراکنده کانه‌زایی مس رخ داده و باعث افزایش غلظت این فلز و وانادیم در آب گردیده است. با حرکت آب به سمت پایین دست، همراه با کاهش میزان بیکربنات، از میزان مس و وانادیم نیز با دوری از منشأ کاسته می‌شود و بدین ترتیب مس، وانادیم و بیکربنات همبستگی مثبتی با یکدیگر پیدا کرده‌اند. در مورد همبستگی مس با بیکربنات این احتمال نیز وجود دارد که مس به صورت کانی آزوریت ($Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$) در آب حل شود.

همبستگی بالای مولیبدن با فلئور (۰/۶۰۷۲) بیانگر منشأ یکسان زمین شناسی برای این دو عنصر است. زیرا همانطور که در فصل پیشین به آن اشاره شد، بالاترین میزان مولیبدن و فلئور در نمونه‌های سنگی، به ترتیب در نمونه‌های PI و Kua دیده می‌شود.

سیلیسیم به جز با وانادیم (۰/۸۵۰۵)، با بقیه عناصر همبستگی چندانی ندارد. البته این عنصر همبستگی نسبتاً بالایی با مولیبدن (۰/۵۶۷۹)، آرسنیک (۰/۶۴۹۶) و مس (۰/۵۱۶۶) دارد. برای توجیه این موضوع می‌توان از منشأ یکسان، به طور مثال سنگ‌های آذرین حدواسط مانند بازالت‌های حفره‌دار و روانه‌های بازالتی-آندزیتی برای عناصر مذکور یاد کرد.

روی تنها با بیکربنات (۰/۶۶۵۱) همبستگی بالا نشان می‌دهد. رابطه روی با بیکربنات نیز همانند رابطه مس با بیکربنات است. به طوری که در بالادست حوضه که میزان بیکربنات در آب نسبتاً بالا است، غلظت روی در سنگ‌های موجود مانند بازالت‌های حفره‌دار و روانه‌های بازالتی-آندزیتی نیز بالا می‌باشد. بنابراین

محتوای روی آب زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد. به تدریج با طی شدن مسیر آب به سمت پایین‌دست و فاصله گرفتن از محل تمرکز روی، از غلظت بیکربنات و روی کاسته می‌شود.

استرانسیم، همانند برم، با بسیاری از آنیون‌ها و کاتیون‌ها و سایر پارامترهای شیمیایی در آب از قبیل کلسیم (۰/۹۶۱)، کلر (۰/۹۳۲)، سولفات (۰/۹۴۶)، کل جامدات محلول (۰/۹۴۶)، سختی کل (۰/۹۲۹) و هدایت الکتریکی (۰/۹۴۲) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. دلیل بالا بودن این همبستگی، انحلال‌پذیری آسان بسیاری از کانی‌های حاوی استرانسیم و به تبع آن افزایش غلظت این عنصر از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه است.

کلسیم علاوه بر برم و استرانسیم، با سدیم (۰/۹۷۳۸)، منیزیم (۰/۷۵۵۳)، کلر (۰/۹۷۸)، سولفات (۰/۹۷۰۱)، کل جامدات محلول (۰/۹۷۸۹)، سختی کل (۰/۹۷۶۱) و هدایت الکتریکی (۰/۹۷۹۹) همبستگی بالایی دارد. همبستگی بالای کلسیم با سولفات و عدم همبستگی آن با سیلیسیم (۰/۰۶۲۸) کربنات (۰/۱۶۸۸-) و بیکربنات (۰/۳۷۴۷-) بیانگر این مطلب است که منشأ اصلی کلسیم در منابع آب حوضه از سولفات‌های کلسیم است و نه از سیلیکات‌ها و کربنات‌های کلسیم. از آنجا که سولفات‌های کلسیم انحلال‌پذیری بالایی در آب دارند، بنابراین افزایش غلظت کلسیم از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه امری قابل پیش‌بینی است.

سدیم به جز با بور، استرانسیم و کلسیم، با منیزیم (۰/۷۷۳۲)، کلر (۰/۹۹۱۷)، سولفات (۰/۹۹۱۳)، کل جامدات محلول (۰/۹۹۵۷)، سختی کل (۰/۹۶۳) و هدایت الکتریکی (۰/۹۹۶۳) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. از آنجا که سولفات‌ها و کلریدهای سدیم در آب بسیار انحلال‌پذیرند، طبیعی است که منشأ سدیم محلول در آب از همین کانی‌ها باشد و از بالادست به سمت پایین‌دست بر غلظت این عنصر در منابع آب افزوده شود.

منیزیم علاوه بر بور، برم، استرانسیم، کلسیم و سدیم، با کلر (۰/۸۱۴)، سولفات (۰/۸۱۹۸)، کل جامدات محلول (۰/۷۹۶۶)، سختی کل (۰/۸۷۴۸) و هدایت الکتریکی (۰/۸۰۴۹) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. همبستگی پایین منیزیم با سیلیسیم (۰/۲۰۸) کربنات (۰/۰۸۴-) و بیکربنات (۰/۱۲۷۷-) و همبستگی بالای این عنصر با کلر و سولفات بیانگر این امر است که منشأ منیزیم محلول در آب از سولفات‌ها و کلریدهای منیزیم تأمین می‌شود تا سیلیکات‌ها و کربنات‌های منیزیم. با توجه به بالا بودن انحلال‌پذیری سولفات‌ها و کلریدهای منیزیم انتظار می‌رود که بر غلظت این عنصر از بالادست به سمت پایین دست حوضه افزوده شده و با هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول همبستگی مثبتی ایجاد شود.

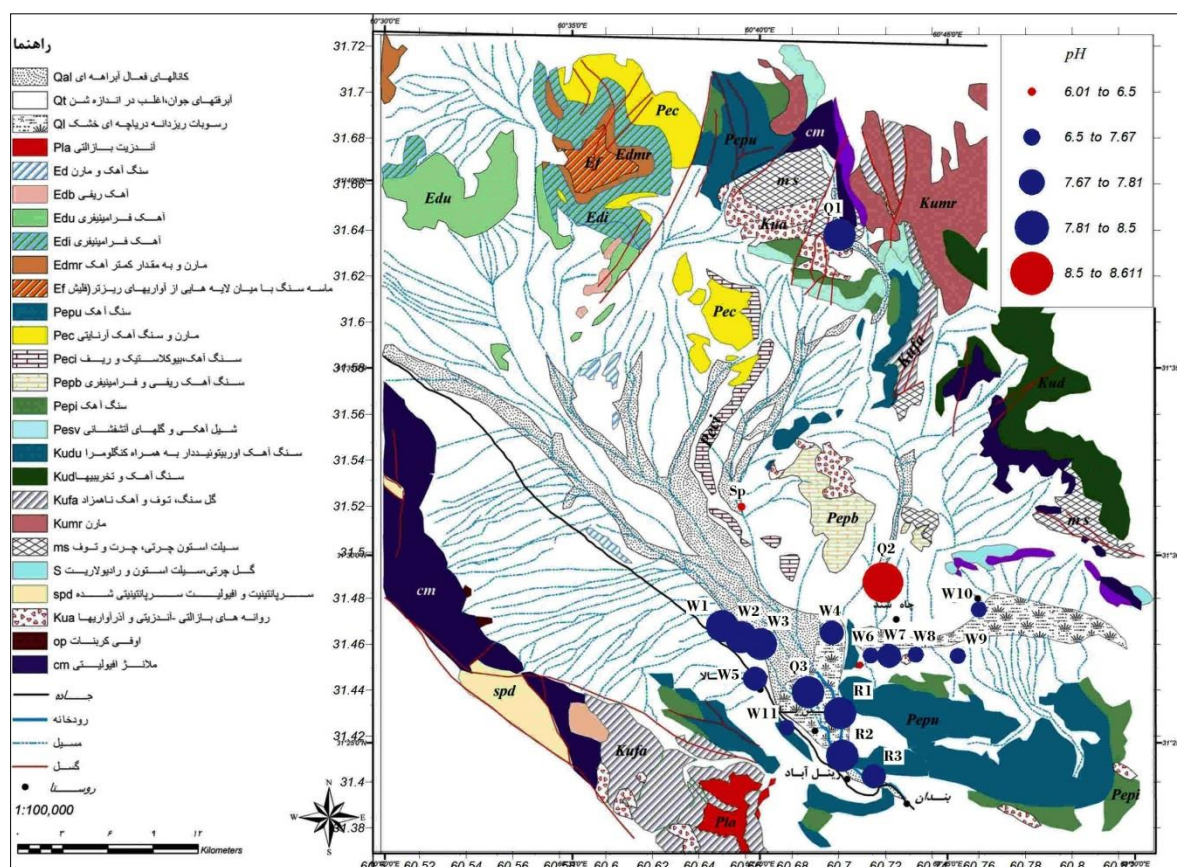
علاوه بر عناصر برم، استرانسیم، کلسیم، سدیم و منیزیم، کلر با سولفات (۰/۹۸۹)، کل جامدات محلول (۰/۹۹۵۳)، سختی کل (۰/۹۸۱۵) و هدایت الکتریکی (۰/۹۹۷۳) نیز همبستگی بالایی دارد. همبستگی بالای کلر با سولفات به دلیل انحلال‌پذیری بالای کانی‌های کلروره و سولفات‌هاست و معمولاً از بالادست به پایین دست بر غلظت این کانی در منابع آب افزوده می‌شود. هدایت الکتریکی نیز یکی از پارامترهایی است که تا حد بسیار زیادی به میزان کلریدهای محلول در آب بستگی دارد، بنابراین همبستگی بالای هدایت الکتریکی با میزان کلر محلول در آب، کاملاً قابل قبول می‌باشد.

سولفات علاوه بر عناصر برم، استرانسیم، کلسیم، سدیم، منیزیم، و کلر با کل جامدات محلول (۰/۹۹۵۴)، سختی کل (۰/۹۷۴۳) و هدایت الکتریکی (۰/۹۹۴۷) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، عناصر کلسیم و منیزیم بیشتر به صورت کانی‌های سولفات‌ها و کلروره در آب حضور می‌یابند. سختی نیز مستقیماً به غلظت کلسیم و منیزیم در آب مربوط می‌شود، بنابراین رابطه بالای میان سولفات و سختی منطقی به نظر می‌رسد.

۳-۶ بررسی تغییرات برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی

۱-۳-۶ تغییرات pH

حد مجاز pH در آب آشامیدنی ۸/۵-۶/۵ است. تغییرات pH یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر قدرت انحلال‌پذیری عناصر است. مقادیر اندازه‌گیری شده و تغییرات pH در جدول ۱-۶ و شکل ۱-۶ آورده شده است. همانگونه که از شکل ۱-۶ نیز برمی‌آید، pH از بالادست به سمت پایین‌دست، تغییرات منظمی ندارد. بیشترین مقدار pH در قنات Q2 به میزان ۸/۶۱ و کمترین مقدار آن در چشمه (Sp) و به میزان ۶/۰۱ اندازه‌گیری شده است. بالا بودن pH در Q2 احتمالاً به دلیل وجود سازندهای آهکی فراوان در



شکل ۱-۶ تغییرات pH در منابع آب منطقه

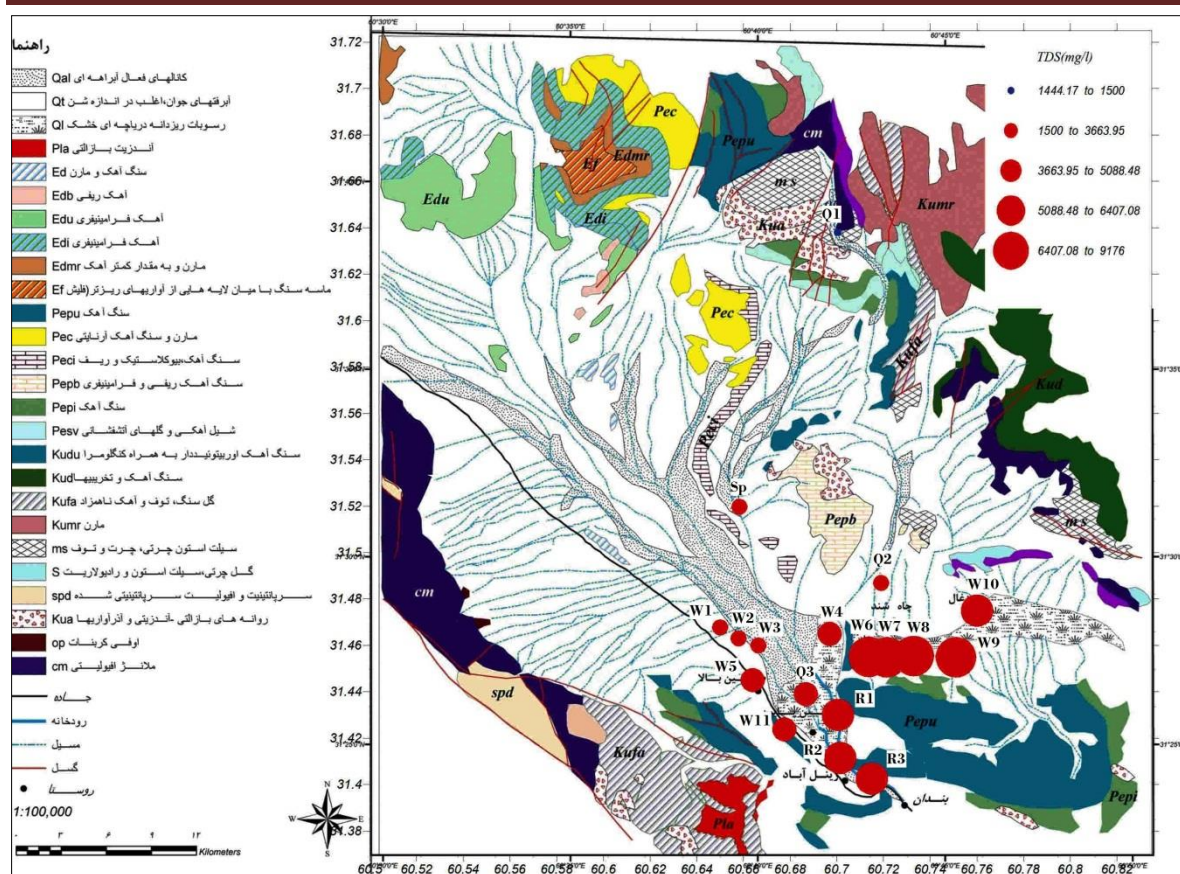
زیرحوضه مربوط به این قنات است. پایین بودن pH در Sp به احتمال فراوان به دلیل رویش گیاهان و

جلبک‌های فراوان در آب‌های مربوط به این نمونه است زیرا این موجودات باعث تولید نیترات و دی‌اکسید

کربن می‌شوند و به دنبال آن اسید نیتریک و اسید کربنیک در آب می‌شوند. به طور کلی pH در اغلب نمونه‌های آب بالاتر از ۷/۵ می‌باشد که دلیل این امر شرایط آب و هوای گرم و خشک در منطقه است که توسط محققین دیگر (Cipolli et al, 2003) تأثیر این شرایط آب و هوایی در افزایش pH تأیید می‌گردد.

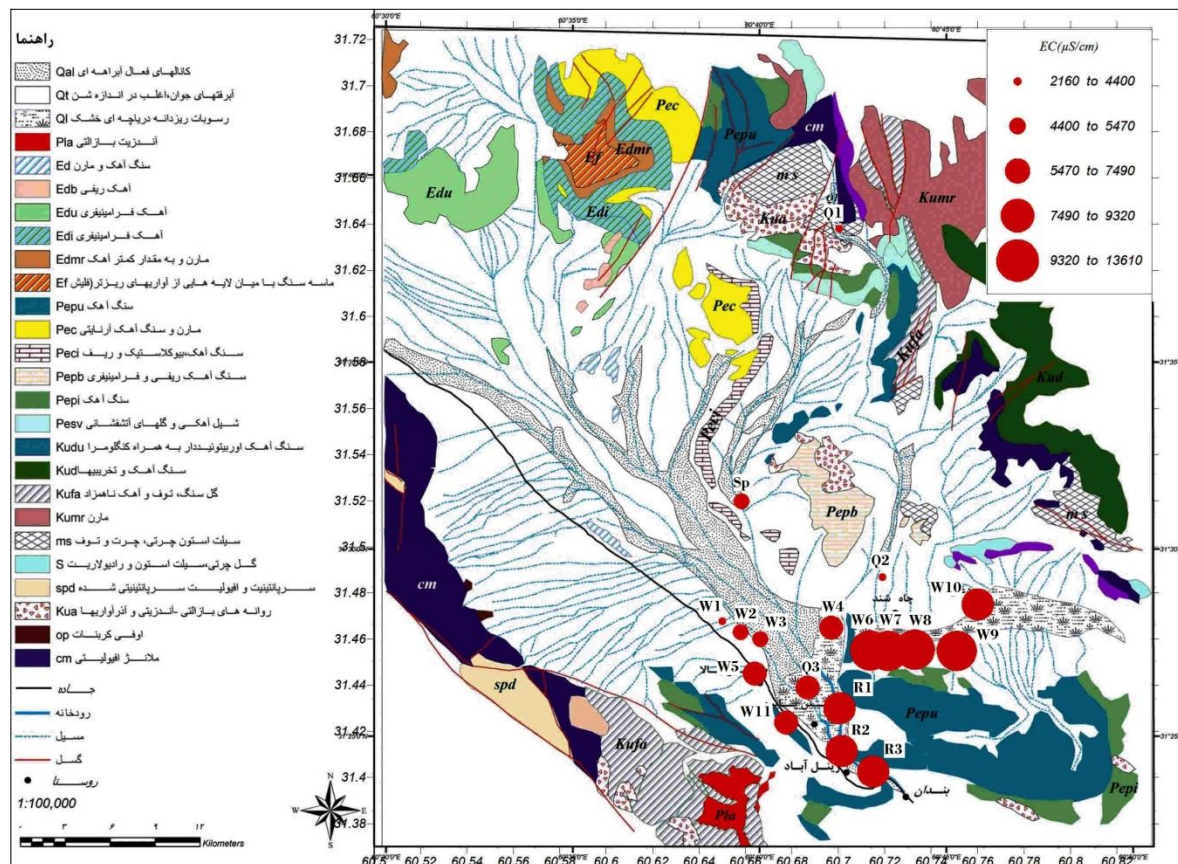
۲-۳-۶ تغییرات کل جامدات محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA^{۱۵}, 2010) حداکثر مجاز میزان TDS را ۵۰۰ mg/L و اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳) ۱۵۰۰ mg/L تعیین کرده‌اند. به طور کلی با طی شدن مسیر آب از بالادست به سمت پایین‌دست، زمان ماندگاری آب در حوضه افزوده می‌شود؛ در نتیجه آب فرصت بیشتری برای انحلال کانی‌های مختلف را دارد. بنابراین از بالادست به سمت پایین‌دست بر میزان TDS و EC افزوده شود. با توجه به حاکم بودن شرایط آب و هوایی گرم و خشک و در نتیجه کمبود بارندگی، TDS و EC در بسیاری از منابع آب بالاتر از حد مجاز است. تغییرات TDS و EC در منطقه مورد مطالعه به ترتیب در شکل‌های ۲-۶ و ۳-۶ آمده است. مطابق گفته‌های پیشین و همان‌طور که مشاهده می‌شود، از بالادست به سمت پایین‌دست بر میزان TDS و EC افزوده می‌شود به طوری که نمونه‌های واقع در بالادست حوضه مانند Q1 و Q2 دارای پایین‌ترین و نمونه‌های موجود در بخش شرقی حوضه (W6، W7، W8، W9 و W10)، به ترتیب دارای بالاترین میزان TDS و EC هستند. دلیل بالا بودن TDS و EC در نمونه‌های یاد شده، قرارگیری این منابع در کنار رسوبات تبخیری برجا مانده از محیط دریاچه‌ای قدیمه است. نمونه Sp هم با وجود این که در بالادست حوضه قرار دارد، به علت قرارگیری در کنار مارن‌های گچی و آهکی و نیز pH پایین (۶/۰۱) و در نتیجه انحلال‌پذیری بیشتر مواد در آن، دارای EC بالاتری نسبت به منابع هم‌جوار است. منابع آب موجود در بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه (W1، W2، W3، W5 و W11) از TDS و EC کمتری نسبت به سایر منابع آب موجود در حوضه برخوردارند. این مسئله انحلال‌پذیری اندک

¹⁵Environmental Protection Agency



شکل ۶-۲ تغییرات میزان TDS در منابع آب منطقه

سنگ‌ها و رسوبات بالادست این منابع، که اکثراً توده‌های اولترامافیک هستند و کمبود توالی‌های تبخیری را آشکار می‌کند. EC و TDS آب در نمونه‌های برداشت شده از رودخانه بندان (R1، R2 و R3)، از بالادست به پایین دست تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهند. به دلیل این که آب بسیاری از مناطق حوضه، به جز مناطق شرقی دشت که به دریاچه قدیمه ختم می‌شود، از طریق رودخانه زه‌کشی می‌گردد، EC و TDS رودخانه به نسبت منابع آب موجود در قسمت‌های غربی حوضه بالاتر و به نسبت منابع آب موجود در بخش‌های شرقی پایین تر است.

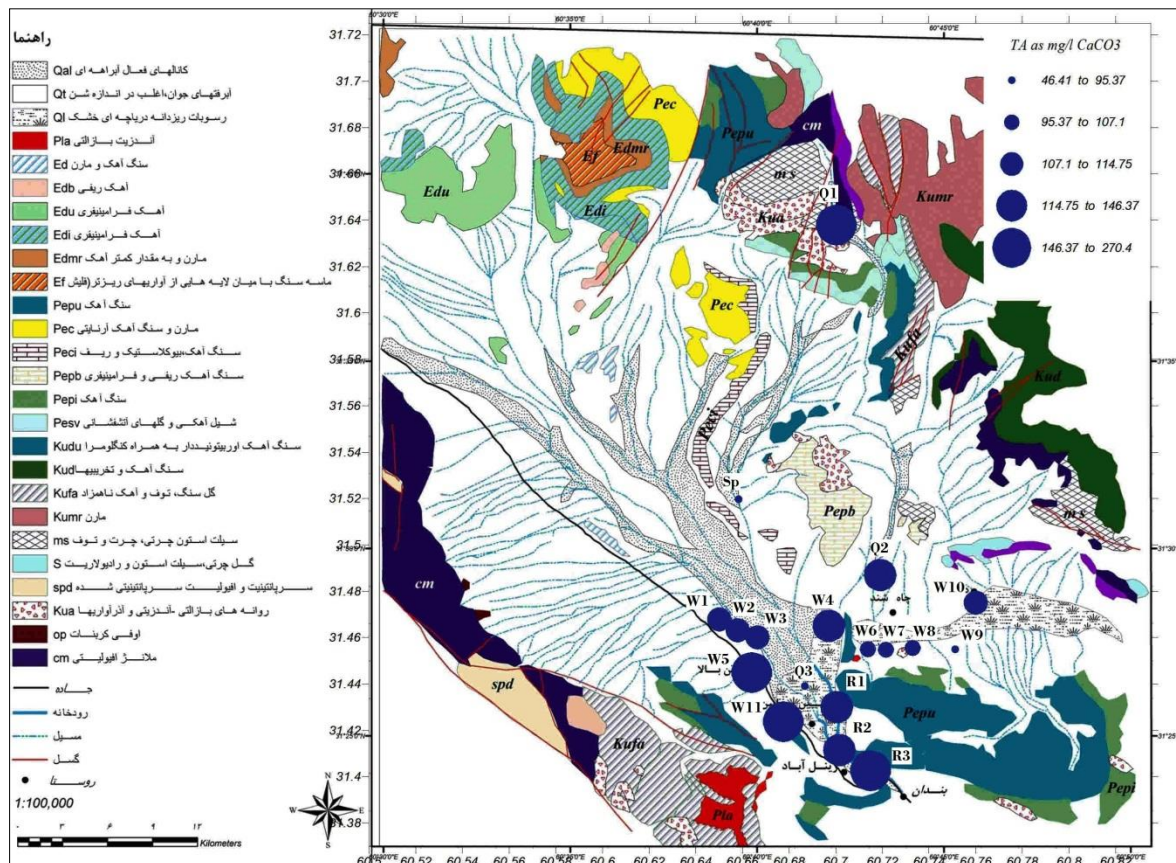


شکل ۳-۶ تغییرات EC در منابع آب منطقه

۳-۳-۶ تغییرات قلیابیت کل (TA)

قلیابیت یک محلول به صورت ظرفیت آن محلول برای واکنش با اسید قوی بیان می‌شود (Hounslow., 1995). همان‌طور که در شکل ۳-۶ نیز مشاهده می‌شود، نمونه‌های Q1، R3 و W11 به ترتیب دارای بیشترین (به ترتیب ۲۷۰/۳، ۲۱۴/۲ و ۱۷۱/۸۷) و نمونه‌های Sp، Q3 و W9 به ترتیب دارای کمترین (به ترتیب ۴۱/۴۱، ۹۰/۷۸ و ۹۲/۳۱) قلیابیت هستند. منابع آب موجود در شرق حوضه که در نزدیکی دریاچه قدیمه قرار دارند، دارای قلیابیت پایینی هستند. دلیل این مسئله غالب بودن رسوبات تبخیری سولفات و کلروره بر رسوبات آهکی است زیرا هر چه میزان رسوبات آهکی در یک منطقه بیشتر باشد، میزان بیکربنات و در نتیجه میزان قلیابیت افزایش خواهد یافت (Hounslow, 1995). در منابع آب موجود در غرب حوضه، نمونه‌های W5 و W11 که در نزدیکی واحدهای آهکی قرار دارند،

حاوی بیکربنات نسبتاً بالاتری هستند. همان‌طور که در شکل ۴-۶ آمده است، قلیائیت از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه تغییرات منظمی را از خود نشان نمی‌دهد؛ این امر را از روی نبود همبستگی بین قلیائیت با TDS نیز می‌توان تشخیص داد.



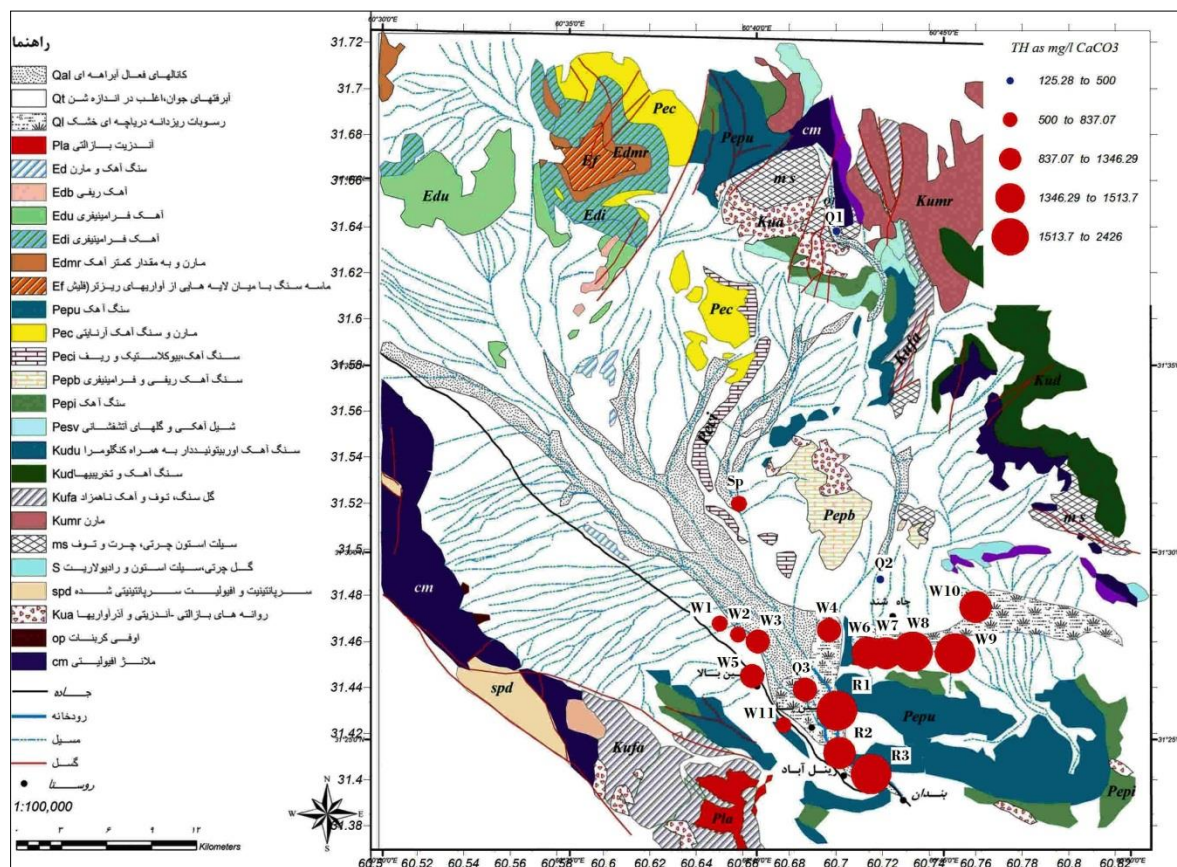
شکل ۴-۶ تغییرات قلیائیت کل (TA) در منابع آب منطقه

۴-۳-۶ تغییرات سختی کل (TH)

در جدول ۴-۶ طبقه‌بندی مقادیر سختی آمده است.

جدول ۴-۶ طبقه‌بندی مقادیر سختی (Todd., 1985)

سختی کل بر حسب CaCO_3 mg/l	نوع آب
$75 >$	نرم
$75-150$	نسبتاً سخت
$150-300$	سخت
$300 <$	بسیار سخت



شکل ۶-۵ تغییرات سختی کل (TH) در منابع آب منطقه

سازمان بهداشت جهانی (WHO^{۱۶}, 2008) و اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳) حداکثر میزان سختی را در آب آشامیدنی 500 mg/L بر حسب کربنات کلسیم بیان کرده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در منطقه مورد مطالعه، سختی هم همانند EC و TDS از بالادست حوضه به سمت پایین‌دست افزایش می‌یابد. در رده‌بندی سختی بین نمونه‌های آب موجود، تنها Q1 نسبتاً سخت ($125/3 \text{ mg/L}$) و Q2 سخت ($293/4 \text{ mg/L}$) است. بقیه نمونه‌ها در رده بسیار سخت قرار می‌گیرند. نمونه‌های W8 و W9 به ترتیب (به ترتیب $2425/3 \text{ mg/L}$ و $2064/8$) دارای بیشترین سختی در بین نمونه‌های آبی هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر سختی آب در منابع موجود در نزدیکی دریاچه قدیمه، بالاتر از سایر منابع آب زیرزمینی است. در منابع آب موجود در غرب حوضه میزان سختی از بالادست به سمت پایین‌دست

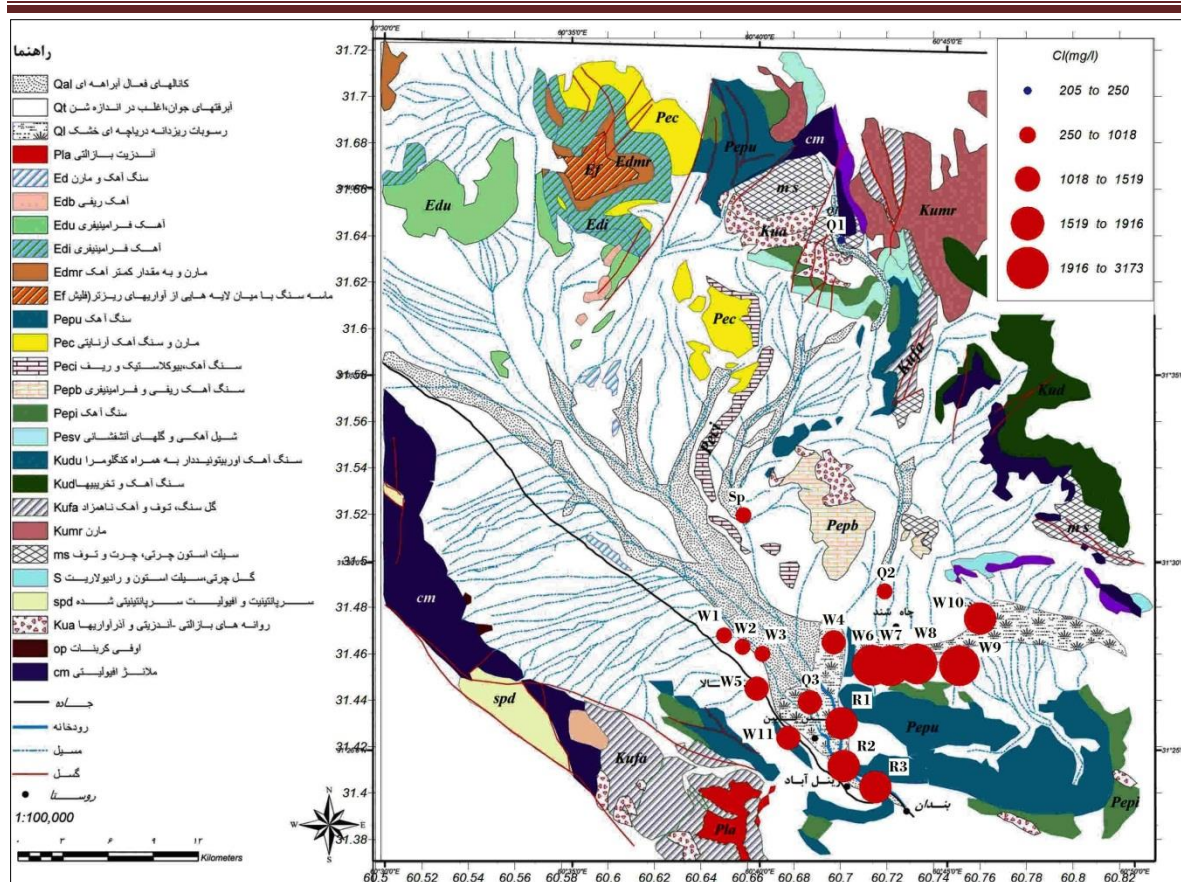
¹⁶ World Health Organization

افزایش اندکی را نشان می‌دهد. در رودخانه بندان هم میزان سختی از بالادست به سمت پایین دست تغییرات چندانی را نشان نمی‌دهد. با توجه به همبستگی بالای سختی با سولفات، می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشتر، سولفات‌های کلسیم و منیزیم منشأ اصلی این دو عنصر در آب هستند.

۴-۶ تغییرات غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در منابع آب

۴-۶-۱ تغییرات غلظت کلراید

کلر از رایج‌ترین یون‌های محلول در آب، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. حداکثر میزان مجاز کلر در آب آشامیدنی مطابق با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸)، 250 mg/L و مطابق با سازمان استاندارد ایران (۱۰۵۳) 400 mg/L تعیین شده است. همان‌طور که در شکل ۶-۶ دیده می‌شود، کلر از بالادست به سمت پایین دست در حال افزایش است. همانند TDS، بیشترین میزان کلر در منابع آب موجود در حاشیه نمک‌زارهای برجا مانده از محیط دریاچه‌ای قدیمه دیده می‌شود. این مسئله تأثیر به سزای رسوبات تبخیری (مانند کلریدسدیم) در بالا بردن محتوای کلر موجود در منابع آب را آشکار می‌کند. در منابع آب موجود در قسمت‌های غربی حوضه، غلظت کلر به نسبت منابع موجود در قسمت‌های شرقی، چندان بالا نیست. دلیل این امر، وجود توده‌های اولترامافیک و آهکی و نبود کانی‌های تبخیری در بالادست این منابع است. به دلیل افزایش غلظت کلر در منابع آب از بالادست به سمت پایین دست حوضه و به دلیل این که در بخش‌های بالادست منطقه مورد مطالعه رسوبات تبخیری بسیار به ندرت یافت می‌شوند، کمترین میزان کلر در منابع آب موجود در بالادست حوضه (Q1 و Q2) به ترتیب 205 mg/L و 386 دیده می‌شود. به طور کلی با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه، کلر در اکثر نمونه‌های آب از استاندارد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی بالاتر است و تنها در نمونه Q1 که در بالادست حوضه قرار دارد، پایین تر از حد استاندارد می‌باشد.

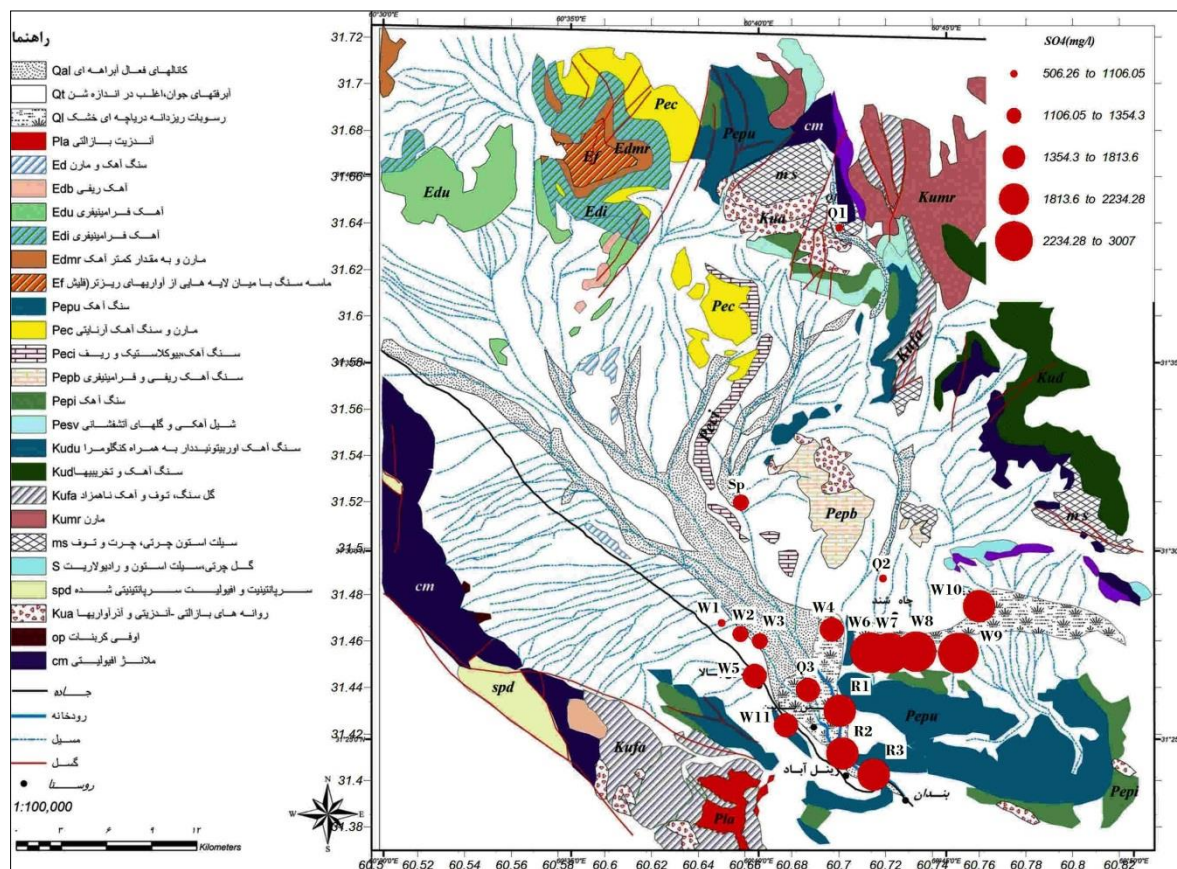


شکل ۶-۶ تغییرات غلظت کلر در منابع آب منطقه

۶-۴-۲ تغییرات غلظت سولفات

سولفات، همانند کلر، از مهم‌ترین آنیون‌های محلول در آب زیرزمینی است. سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸)، حداکثر میزان مجاز سولفات را در آب آشامیدنی 250 mg/L و اداره استاندارد ایران (1053) این میزان را برابر 400 mg/L در نظر می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۶-۷ دیده می‌شود، مقدار سولفات موجود در تمامی منابع آب موجود از استاندارد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی بالاتر است و در واقع تمامی منابع آب حوضه، آلوده به سولفات می‌باشند. همین‌طور مشاهده می‌شود که غلظت سولفات در منابع آب موجود در نزدیکی محیط دریاچه‌ای قدیمه بسیار بالاتر از سایر منابع آب موجود در حوضه است. این مسئله تأثیر بالای رسوبات تبخیری (به خصوص سولفات‌ها) را در افزایش غلظت سولفات موجود در آب آشکار می‌کند. محتوای سولفات در منابع آب موجود در قسمت‌های غربی حوضه به نسبت سایر منابع

آب، کمتر است که این موضوع به علت نبود سنگ‌ها و رسوبات تبخیری در این بخش از حوضه است. افزایش غلظت سولفات از بالادست به سمت پایین‌دست از یک طرف و از طرف دیگر نبود سنگ‌ها و رسوبات سولفات در بخش‌های بالادست حوضه از مهمترین دلایل پایین بودن محتوای سولفات در منابع آب واقع در بالادست حوضه (Q1 و Q2) است. روند افزایش غلظت سولفات همانند کلر و TDS از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه است. نمونه Sp با وجود قرار داشتن در بالادست حوضه، حاوی مقادیر نسبتاً بالایی از سولفات است؛ دلیل این امر وجود مارن‌های آهکی و ژئوسی در بالادست این چشمه است.

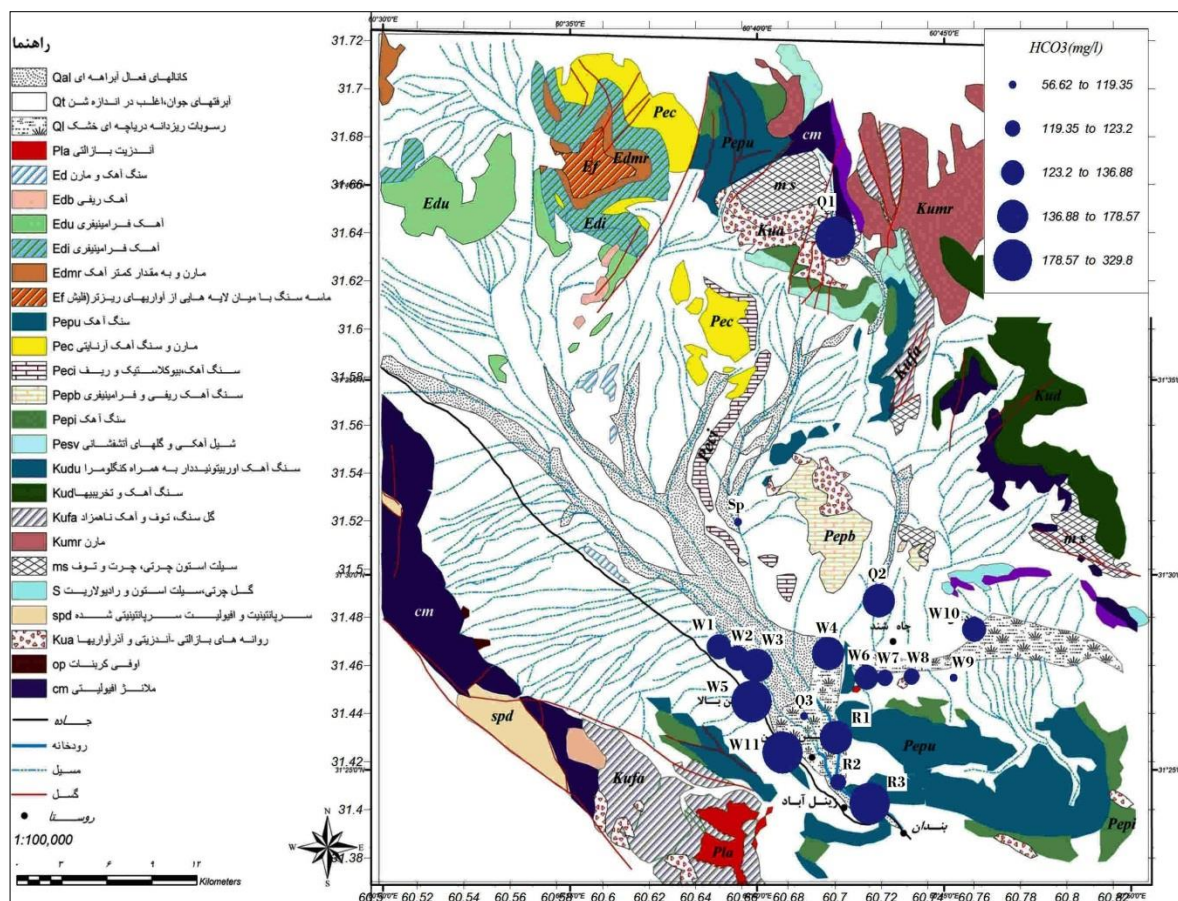


شکل ۶-۷ تغییرات غلظت سولفات در منابع آب منطقه

۳-۴-۶ تغییرات غلظت بی‌کربنات و کربنات

منشأ کربنات و بی‌کربنات در آب دی اکسید کربن موجود در اتمسفر و انحلال کلسیت و دولومیت می‌باشد (Van der Perk., 2007). از بین موارد یاد شده مهم‌ترین منشأ کربنات و بی‌کربنات انحلال کلسیت در آب

است. کربنات در آبهای با pH بیشتر از ۸/۲ به وجود می‌آید. در شکل ۶-۸ تغییرات غلظت بی‌کربنات در منابع آب منطقه آورده شده است. از بین منابع آبی موجود، تنها R2 و Q2 دارای pH بالاتر از ۸/۲ هستند و تنها این منابع حاوی کربنات می‌باشند. منابع آب موجود در بخش‌های شرقی حوضه بی‌کربنات پایین‌تری را نسبت به سایر منابع حوضه دارا می‌باشند. انحلال ژئوپس و در نتیجه افزایش رسوب کلسیت (تأثیر یون مشترک) می‌تواند یکی از دلایل پایین بودن بی‌کربنات در منابع آب موجود در اطراف محیط دریاچه‌ای قدیمه باشد. منابع آب موجود در قسمت‌های غربی حوضه (به خصوص W5 و W11) به نسبت سایر منابع موجود در منطقه از محتوای بی‌کربنات بالاتری برخوردارند. یکی از دلایل بالا بودن بی‌کربنات در این منابع آب می‌تواند نزدیکی این منابع به واحدهای آهکی پلیوسن باشد.



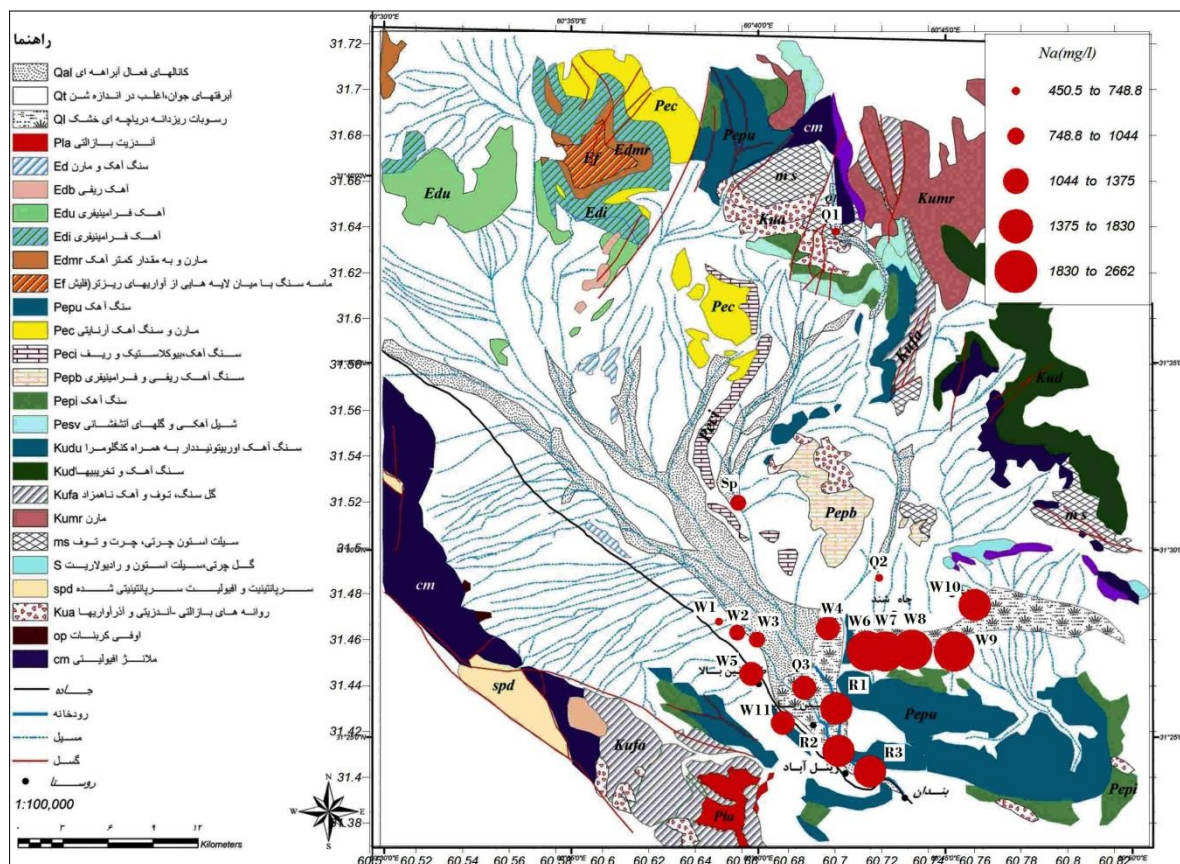
شکل ۶-۸ تغییرات غلظت بی‌کربنات در منابع آب منطقه

از بین منابع آب موجود در بالادست حوضه، محتوای بیکربنات در نمونه Q1 به شکل معناداری بالاتر از نمونه Q2 است به طوری که محتوای بیکربنات در نمونه Q1 ($329/8 \text{ mg/L}$) از تمامی منابع آب نیز بالاتر است. دلیل این مسئله بالا بودن بیکربنات در منابع آب زیرزمینی و سطحی در بالادست حوضه‌های آبریز است که این موضوع توسط محققین قبلی نیز تأیید شده است (Todd, 1985). از بین نمونه‌های آب برداشت شده از رودخانه بندان، نمونه R3 واقع در خروجی حوضه بالاترین غلظت بیکربنات (mg/L) $261/3$ را به خود اختصاص داده است. وجود آهک‌های ضخیم لایه پلیوسن (Pepu) و تأثیر آن بر افزایش غلظت بیکربنات در آب این قسمت از حوضه آشکار است.

۴-۴-۶ تغییرات غلظت سدیم

از مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در آب زیرزمینی سدیم است. در منطقه مورد مطالعه سدیم حاوی بیشترین غلظت در آب زیرزمینی در میان سایر کاتیون‌ها است. به طور کلی سدیم از انحلال نمک‌های سدیم، به خصوص هالیت، و نیز هوازدگی و انحلال کانی‌های سیلیکاته حاوی سدیم، مانند آلبیت و نفلین، وارد منابع آب می‌شود. همبستگی بالای سدیم در منابع آب با کلر ($0/9917$) و عدم همبستگی آن با سیلیسیم ($0/173$) نشان می‌دهد که منشأ سدیم در آب بیشتر از انحلال هالیت است تا هوازدگی و انحلال کانی‌های سیلیکاته حاوی سدیم. به دلیل انحلال‌پذیری بالای نمک‌های حاوی سدیم، غلظت این فلز از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه افزایش می‌یابد. سازمان بهداشت جهانی (2008) و اداره ملی استاندارد ایران (1053) حدکثر میزان مجاز برای سدیم را 200 mg/L بیان کرده‌اند. به دلیل وجود اقلیم گرم و خشک در منطقه، غلظت سدیم در تمامی منابع آب از حد مجاز بیشتر است. با توجه به حضور فراوان کانی‌های تبخیری (مانند هالیت) در محیط دریاچه قدیمه، بنابراین طبیعی است که غلظت سدیم در منابع آب موجود در قسمت‌های شرقی حوضه به مراتب بیشتر از سایر منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه باشد. غلظت سدیم در منابع آب موجود در غرب منطقه مورد مطالعه به نسبت منابع آب موجود در

بخش‌های شرقی پایین‌تر است. این در حالی است که کانی‌های سیلیکاته حاوی سدیم، مانند آلبیت (شکل ۷-۲) در بالادست این منابع (به خصوص W1 و W2) درون بازالت‌ها و گابروهای موجود در توده‌های افیولیتی به فراوانی یافت می‌شوند. پایین بودن محتوای سدیم در منابع آب موجود در غرب منطقه مورد مطالعه و فراوانی کانی‌های سیلیکاته حاوی سدیم، مانند آلبیت در بالادست این منابع (به خصوص W1 و W2) از یک طرف و از طرف دیگر نبود همبستگی مشخص بین عناصر سیلیسیم و سدیم در ماتریس همبستگی، نشان‌دهنده انحلال‌پذیری پایین این کانی‌ها به نسبت کانی‌های تبخیری حاوی سدیم، مانند هالیت است. در منابع آب موجود در بالادست حوضه آبریز (Q1 و Q2) میزان سدیم بسیار کمتر از سایر منابع موجود در منطقه است. دلیل بالابودن سدیم در نمونه Sp که در بالادست حوضه نیز واقع می‌باشد،

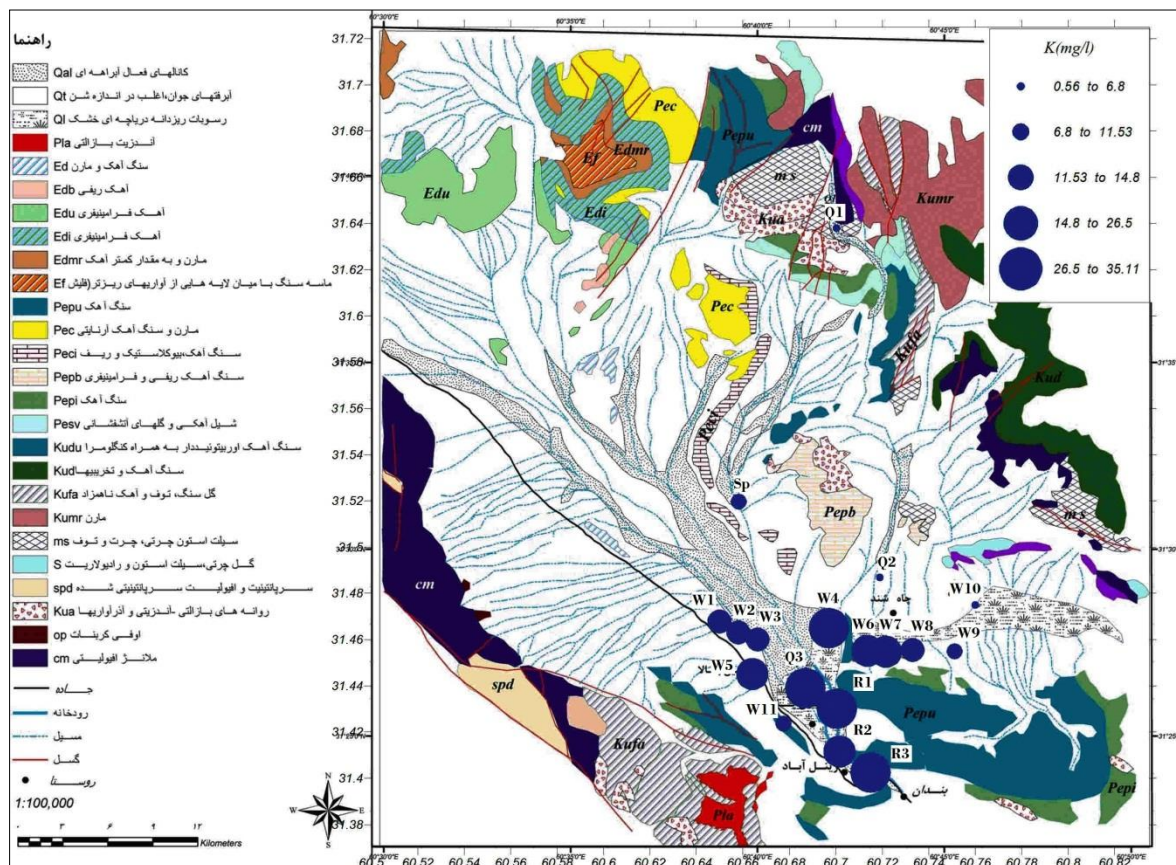


شکل ۶-۹ تغییرات غلظت سدیم در منابع آب منطقه

این است که در بالادست این چشمه رسوبات تبخیری مانند مارن‌های گچی وجود دارد که بر محتوای سدیم آب می‌افزاید. میزان غلظت سدیم در رودخانه بندان از بالادست به سمت پایین‌دست تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد.

۵-۴-۶ تغییرات غلظت پتاسیم

همانند سدیم، پتاسیم هم جزء فلزات قلیایی است و تنها به شکل K^+ در محیط حضور می‌یابد. یکی از اصلی‌ترین سازوکارهایی که تمرکز پتاسیم را در خاک و آب کنترل می‌کند، جذب پتاسیم توسط کانی‌های رسی (به خصوص ایلیت) است. به علت تمایل بسیار بالای کانی‌های رسی در جذب پتاسیم، تمرکز پتاسیم در آب در مقایسه با سدیم بسیار اندک است. سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) و اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳) هیچ گونه مقدار مجازی را برای پتاسیم در نظر نگرفته‌اند. در شکل ۶-۱۰ توزیع مقادیر پتاسیم در منابع آب منطقه آورده شده است. همان‌طور که در ماتریس همبستگی نیز دیده می‌شود، پتاسیم با کلر و سیلیسیم همبستگی بالایی نشان نمی‌دهد (به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۳۵)، بنابراین نمی‌توان به صراحت یک منبع به خصوص را برای پتاسیم در آب در نظر گرفت. همان‌طور که در شکل ۶-۱۰ مشاهده می‌شود، غلظت پتاسیم در منابع موجود در بخش‌های شرقی و غربی حوضه تفاوت چندانی ندارد. تنها موردی که در این جا خودنمایی می‌کند، غلظت بسیار پایین پتاسیم در منابع آب موجود در بالادست حوضه به نسبت سایر منابع آب است. دلیل این امر آن است که در این بخش از منطقه مورد مطالعه، زمان ماندگاری آب کمتر از سایر مناطق بوده و در نتیجه آب فرصت کمتری را برای انحلال عناصر مختلف، از جمله پتاسیم در اختیار دارد. به طور کلی نمونه‌های Q3، R1 و R3 به ترتیب حاوی بیشترین (به ترتیب ۳۵/۱ mg/L، ۲۹/۱ و ۲۸) و نمونه‌های Q1، Q2 و W10 به ترتیب حاوی کمترین (به ترتیب ۰/۵۶ mg/L، ۳/۲۱ و ۶/۲) میزان پتاسیم هستند.

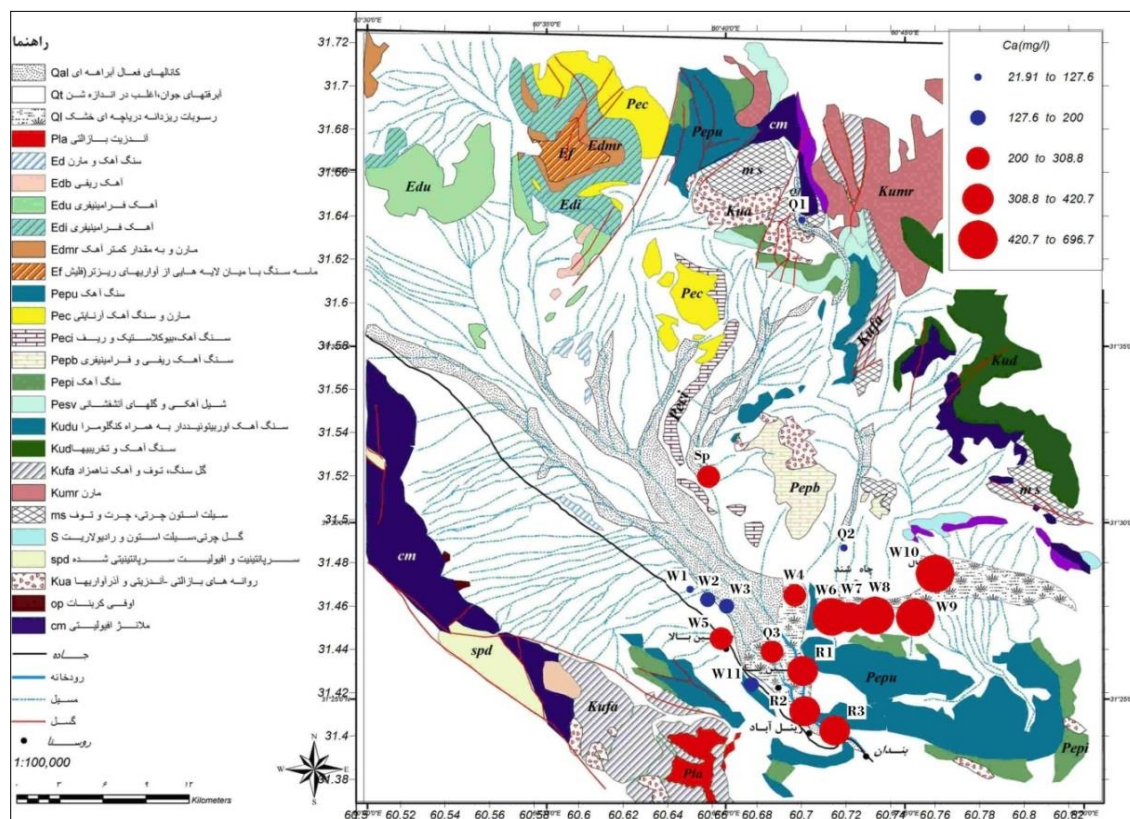


شکل ۶-۱۰ تغییرات غلظت پتاسیم در منابع آب منطقه

۶-۴-۶ تغییرات غلظت کلسیم

همبستگی بالای کلسیم با سولفات (۰/۹۷۰۱) و عدم همبستگی آن با سیلیسیم (۰/۰۶۲۷) و بیکربنات (۰/۳۷۴۶-) نشان می‌دهد که منشأ عمده کلسیم از کانی‌های سولفات و نه کانی‌های سیلیکاته و کربناته، تأمین می‌شود. از سوی سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) هیچ گونه حد مجازی برای کلسیم در نظر گرفته نشده است در حالی که حداکثر میزان مجاز کلسیم در آب آشامیدنی مطابق با استاندارد ملی ایران (۱۰۵۳) 200 mg/L تعیین شده است. منابع آب موجود در قسمت‌های شرقی حوضه با توجه به نزدیکی به کانی‌های تبخیری برجا مانده از محیط دریاچه‌ای قدیمه، کلسیم بالاتری را به نسبت سایر منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند، به طوری که بیشترین غلظت کلسیم به ترتیب در نمونه‌های W8، W9 و W10 (به ترتیب $696/6 \text{ mg/L}$ ، $591/2$ و $428/6$) اندازه‌گیری شده است. غلظت

کلسیم در منابع آب موجود در قسمت‌های غربی حوضه پایین‌تر از منابع آب موجود در قسمت‌های شرقی است. با وجود حضور کانی‌های سیلیکاته حاوی کلسیم مانند آنورتیت و انواع پیروکسن، در بالادست منابع W1 و W2 (شکل‌های ۲-۶ و ۲-۷) و نیز سنگ‌های کربناته حاوی کلسیم در بالادست منابع W5 و W11، ملاحظه می‌شود که غلظت کلسیم در منابع یاد شده بسیار کمتر از منابع موجود در اطراف دریاچه قدیمه است. این مسئله انحلال‌پذیری اندک کانی‌های سیلیکاته و کربناته حاوی کلسیم را به نسبت کانی‌های سولفاته حاوی کلسیم را آشکار می‌کند. غلظت کلسیم در نمونه‌های به دست آمده از رودخانه بندان همانند بسیاری از آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی محلول در آب، از بالادست به سمت پایین‌دست تغییرات زیادی را متحمل نمی‌شود و از نظر میزان غلظت کلسیم، حدواسط بین منابع شرقی و غربی حوضه است. غلظت کلسیم در منابع آب موجود در بالادست منطقه مورد مطالعه (Q1 و Q2) به شکل معناداری

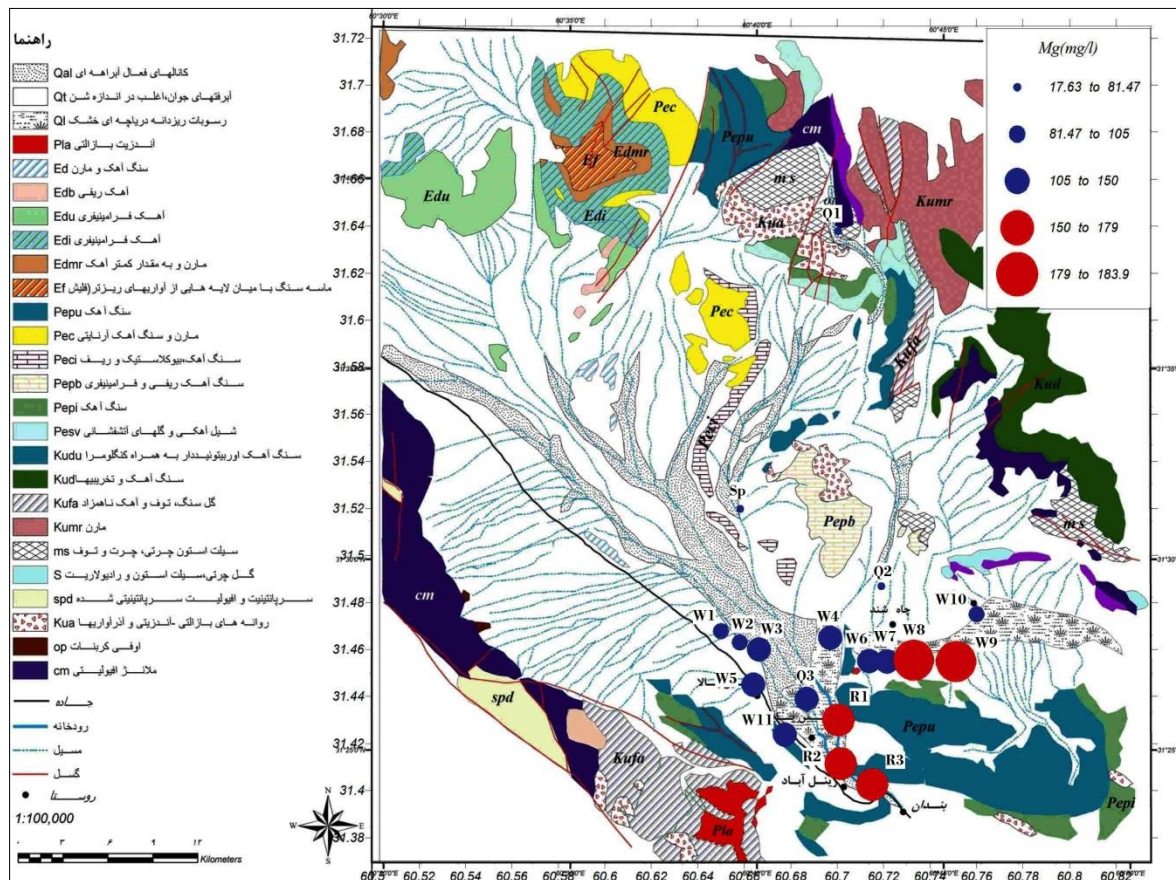


شکل ۶-۱۱ تغییرات غلظت کلسیم در منابع آب

پایین تر از سایر منابع آب است. این مسئله می تواند به دو دلیل باشد: اول این که زمان ماندگاری آب در بالادست حوضه پایین است و آب فرصت کمتری را برای انحلال انواع ترکیبات حاوی کلسیم در اختیار دارد و دوم نبود کانی های انحلال پذیر حاوی کلسیم مانند سولفات های کلسیم، در این بخش از حوضه.

۶-۴-۷ تغییرات غلظت منیزیم

منیزیم در سنگ های آذرین در کانی های تیره مانند پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت تجمع می یابد. سازمان بهداشت جهانی استاندارد برای منیزیم تعیین نکرده ولی اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳) حد مجاز این عنصر را 150 mg/L تعیین کرده است. در شکل ۶-۱۲ تغییرات غلظت منیزیم در منابع آب مشاهده می شود. همان گونه که ملاحظه می شود، غلظت منیزیم در منابع آب موجود در قسمت های شرقی به خصوص در منابع W8 و W9 (به ترتیب با $183/8 \text{ mg/L}$ و $181/6$) بالاتر از سایر منابع آب موجود در حوضه است. با وجود این که تمرکز منیزیم در رسوبات سرچشمه گرفته از توده اولترامافیکی بسیار بالاتر از سایر نمونه های رسوب است (فصل پیشین)، ولی مشاهده می شود که غلظت منیزیم در منابع آب موجود در غرب منطقه به خصوص W1 و W2، چندان بالا نیست. این موضوع انحلال پذیری نسبتاً پایین کانی های سیلیکاته حاوی منیزیم مانند اولیوین (شکل ۲-۵) را آشکار می کند. محتوای منیزیم در نمونه های به دست آمده از رودخانه بندان از بالادست به سمت پایین دست تغییرات زیادی نمی کند. همچنین با توجه به زمان ماندگاری کمتر آب در منابع آب موجود در بالادست حوضه مانند Q1، Q2 و Sp، غلظت منیزیم در این منابع به شکل معناداری کمتر (به ترتیب $17/6 \text{ mg/L}$ ، $27/2$ و $36/8$) از سایر منابع آب حوضه است.



شکل ۶-۱۲ تغییرات غلظت منیزیم در منابع آب

۶-۵ تیپ و رخساره منابع آب

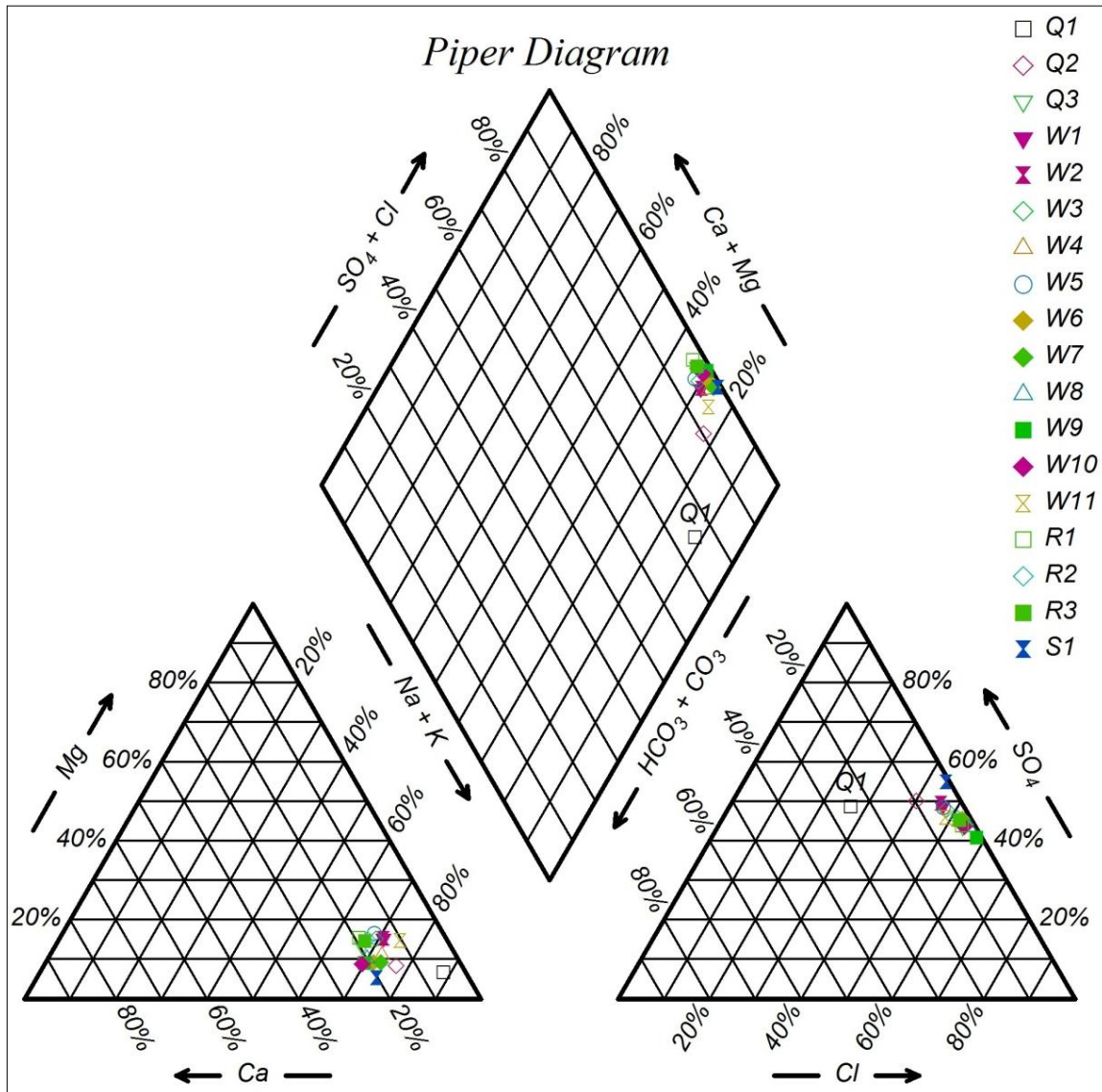
در این پژوهش با استفاده از غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان‌گرم بر لیتر (meq/l) توسط نرم افزارهای مربوط مانند AqQa، RockWork و chemistry، نمودارهای مرتبط با کیفیت آب برای تعیین تیپ و رخساره منابع آبی رسم شدند. همان‌طور که در جدول ۶-۵ و نمودار پایپر (شکل ۶-۱۳) مشاهده می‌شود، به جز Q1 که در بالاترین قسمت حوضه و در نزدیکی ارتفاعات شمالی منطقه مورد مطالعه قرار دارد، بقیه منابع تقریباً در یک منطقه از این دیاگرام قرار می‌گیرند. در جدول ۶-۵ توالی آنیونی و کاتیونی برای منابع آب موجود در منطقه آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، تیپ تمامی منابع آب سولفات یا کلروره است. منابعی که دارای EC پایین‌تری هستند، تیپ

سولفات و منابع دارای EC بالاتر، تیپ کلروره دارند. به طور کلی تیپ منابع آب موجود در حاشیه نمک‌زارهای برجا مانده از محیط دریاچه‌ای قدیمه یعنی شرق منطقه مورد بررسی، کلروره است و تیپ منابع آبی که غرب منطقه مورد مطالعه را زهکشی می‌کنند، سولفات می‌باشد. همچنین در بین آنیون‌های اصلی، غلظت بیکربنات در تمامی نمونه‌ها از بقیه پایین‌تر است؛ دلیل این مسئله بارندگی اندک در منطقه است زیرا با کاهش بارندگی کانی‌های سولفات و کلروره فرصت زیادی را برای انحلال در آب پیدا می‌کنند (Hounslow, 1995). از بین کاتیون‌ها، رخساره تمامی نمونه‌های آب سدیک است. معمولاً در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رخساره بیشتر منابع آب سدیک می‌باشد (Hounslow, 1995). منطقه مورد مطالعه هم به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی گرم و خشک، از این امر مستثنی نیست. همان‌طور که در جدول ۶-۵ نیز مشاهده می‌شود، بعد از سدیم، کاتیون اصلی موجود در برخی از منابع آب کلسیم و در برخی دیگر منیزیم است. مطالعه بر روی محل‌های نمونه‌برداری این مسئله را اثبات می‌کند که منابع آب موجود در نزدیکی نوار افیولیتی بحث شده در فصل پیشین، حاوی منیزیم بالاتری نسبت به سایر منابع هستند. منشأ منیزیم موجود در خاک، بیشتر از سنگ‌های اولترامافیک تأمین می‌شود تا رسوبات کربناته و تبخیری. همانگونه که مشاهده می‌شود، غلظت منیزیم در نمونه‌های Q1، W1، W2، W5 و W11 که در نزدیکی توده‌های افیولیتی قرار دارند، بالاتر از کلسیم است. با فاصله گرفتن از توده‌های افیولیتی، غلظت کلسیم بر منیزیم چیره می‌شود. در شکل ۶-۱۴ مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی محلول در آب به صورت دیاگرام استیف آورده شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۶-۱۳ و ۶-۱۴ مشاهده می‌شود، غلظت آنیون‌ها (به جز بیکربنات) و کاتیون‌ها در منابع آب موجود در بالادست منطقه مورد مطالعه (Q1 و Q2) به مراتب کمتر از سایر منابع موجود در منطقه است. همچنین دیده می‌شود که مقادیر کل جامدات محلول (TDS) در منابع آب موجود در بخش‌های غربی نسبت به منابع آب موجود در بخش‌های شرقی، کمتر

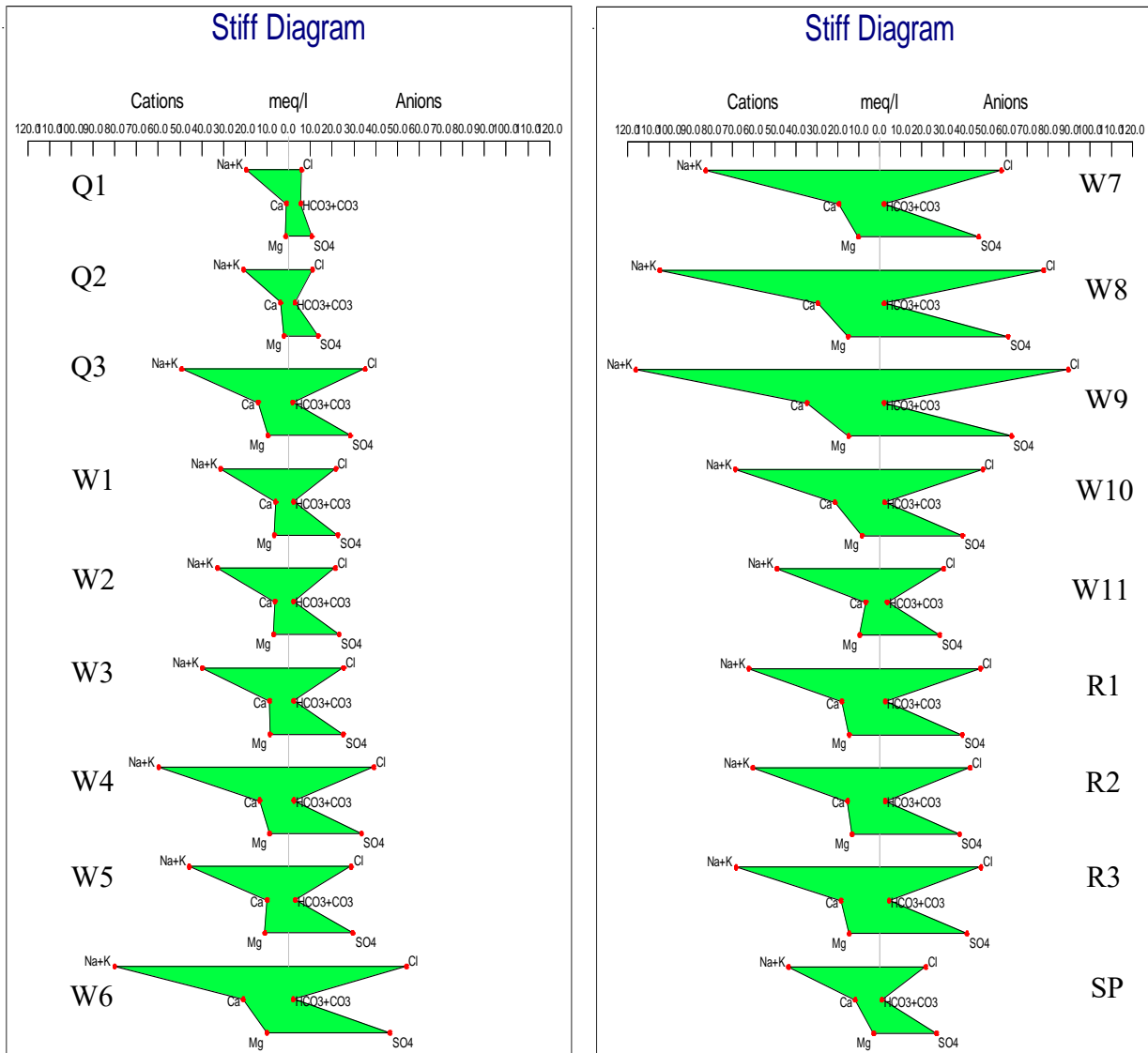
است و در نتیجه این منابع کیفیت بالاتری دارند. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه‌های به دست آمده از رودخانه، حدواسط بین منابع آب موجود در بخش‌های شرقی و غربی منطقه مورد مطالعه است.

جدول ۵-۶ تیپ و رخساره و توالی آنیون‌ها و کاتیون‌ها در منابع آب

شماره نمونه	توالی آنیون‌ها	توالی کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
Q1	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Na+K > Mg > Ca	سولفات سدیک
Q2	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	سولفات سدیک
Q3	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W1	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Na+K > Mg > Ca	سولفات سدیک
W2	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Na+K > Mg > Ca	سولفات سدیک
W3	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W4	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W5	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Na+K > Mg > Ca	سولفات سدیک
W6	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W7	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W8	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W9	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W10	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
W11	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Mg > Ca	کلروره سدیک
R1	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
R2	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
R3	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	کلروره سدیک
Sp	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Na+K > Ca > Mg	سولفات سدیک



شکل ۶-۱۳ نمودار پایپر منابع آب



شکل ۶-۱۴ نمودار استیف منابع آب

۶-۶ تغییرات شاخص اشباع‌شدگی (SI^{17}) کانی‌های اصلی در منابع آب

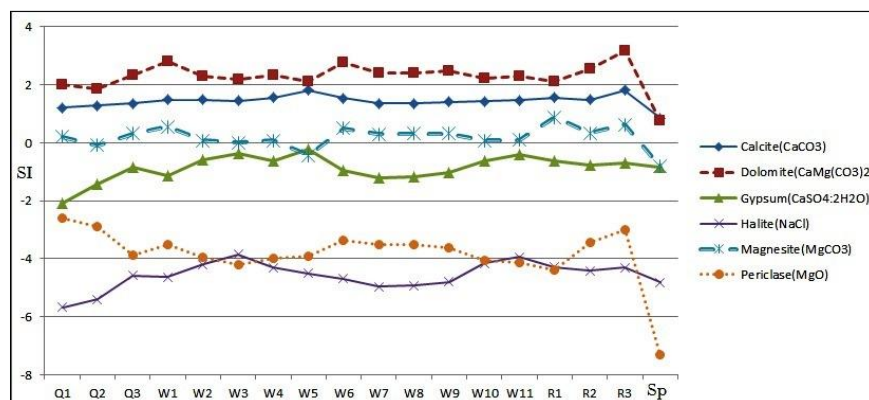
شاخص اشباع‌شدگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SI = \log \frac{IAP}{K_{sat}}$$

فرمول ۶-۱

¹⁷ Saturation Index

در این رابطه IAP، میزان پویایی کانی مورد نظر و K_{sat} ثابت انحلال پذیری است. به منظور تعیین شاخص اشباع شدگی کانی‌های مختلف از نرم افزار phreeqc و از بانک داده‌ای minteq.v4 استفاده شده است. شاخص اشباع شدگی، بسته به نوع کانی، pH، TDS و دما تغییر می‌کند. در شکل ۶-۱۵ شاخص اشباع شدگی برای کانی‌های معمول در آب مانند هالیت، کلسیت، دولومیت، ژیپس، منیزیت و پریکلز آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اشباع شدگی کانی‌های هالیت و ژیپس تغییرات اندکی را در منابع آب نشان می‌دهند. این در حالی است که کانی پریکلز، بسته به pH، تغییرات بسیار گسترده‌ای را در آب از خود نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کانی‌های کربناته مانند کلسیت، دولومیت در تمامی نمونه‌ها و منیزیت در بیشتر نمونه‌ها در حالت فوق اشباع قرار دارد. این موضوع انحلال پذیری اندک کانی‌های کربناته را به نسبت کانی‌های سولفات و کلروره تأیید می‌کند.



شکل ۶-۱۵ شاخص اشباع شدگی کانی‌های اصلی در نمونه‌های آب

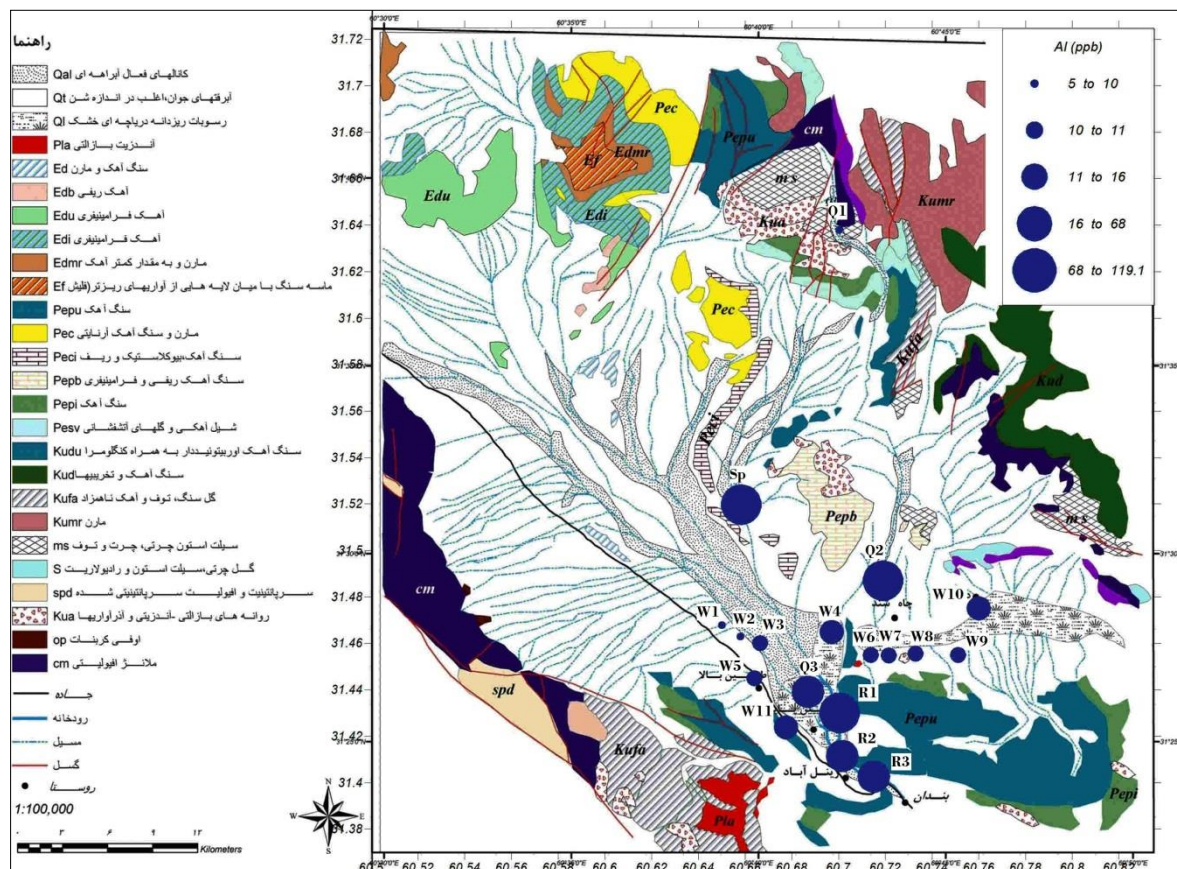
۶-۷ تغییرات غلظت برخی از عناصر در منابع آب

۶-۷-۱ آلومینیم (Al)

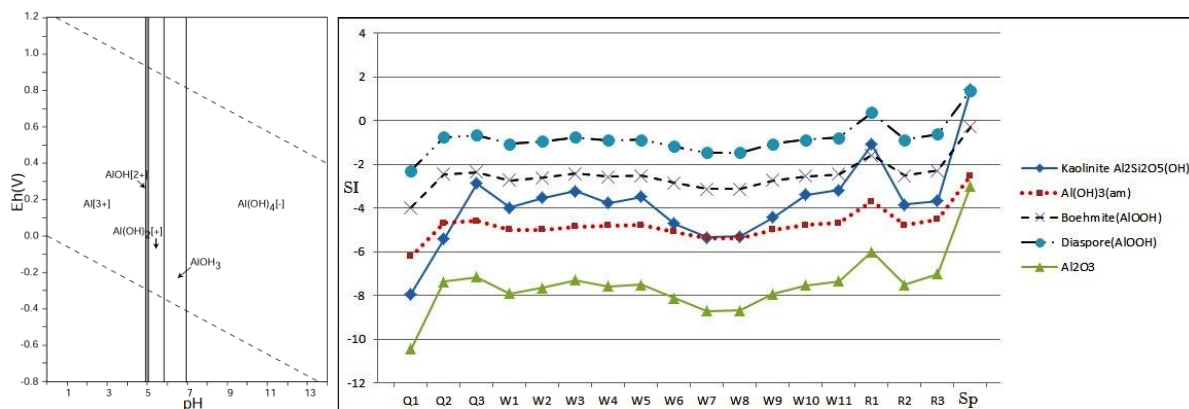
همان‌طور که در فصل پیشین اشاره شد، آلومینیم سومین عنصر فراوان در پوسته زمین است. به طور کلی انحلال پذیری این عنصر در محیط پایین بوده و در pH خنثی غلظت آن در آب از ۱۰۰ ppm کمتر است (Bradl, 2005). در آب‌های با اسیدیته بالا ($pH < 4$) غلظت آلومینیم در آب به شدت افزایش یافته و

می‌تواند برای سلامتی انسان بسیار مضر باشد. آلومینیم همچنین در آب‌های با $pH > 9$ نیز در آب افزایش می‌یابد. آلومینیم در بسیاری از کانی‌های سیلیکاته مانند فلدسپات‌ها، آمفیبول‌ها، میکاها و کانی‌های رسی به فراوانی یافت می‌شود. با هوازدگی کانی‌های یاد شده، به دلیل حلالیت کم آلومینیم در شرایط طبیعی، بیشتر آلومینیم موجود در کانی‌های رسی باقی می‌ماند و وارد آب نمی‌شود. مطابق با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸)، غلظت آلومینیم در آب نباید از 200 ppb تجاوز کند. در شکل ۶-۱۶ تغییرات غلظت آلومینیم در منابع آب موجود در منطقه آمده است. بیشترین غلظت آلومینیم به ترتیب در نمونه‌های W2، R1، Q2 و Sp (به ترتیب 119 ppb ، 89 و 68) و کمترین میزان آن به ترتیب در نمونه‌های W2، W1 و Q1 (به ترتیب 5 ، 5 و 5 ppb) دیده می‌شود. بالابودن غلظت آلومینیم در نمونه‌های R1 و Sp می‌تواند به علت حضور مارن‌ها و رسوبات ریزدانه در بالادست این دو نمونه باشد. بالابودن pH در نمونه Q2 ($8/61$)، احتمالاً یکی از مهمترین دلایل بالا بودن محتوای آلومینیم در این نمونه است زیرا همانطور که عنوان شد انحلال پذیری آلومینیم در pH نزدیک به ۹ به شدت افزایش می‌یابد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، منابع آب موجود در نزدیکی توده‌های افیولیتی (W1 و W2)، از محتوای آلومینیم کمتری (ppb) برخوردارند. همان‌طور که در فصل پیشین به آن اشاره شد، محتوای آلومینیم در رسوبات مشتق شده از توده‌های افیولیتی پایین است بنابراین پایین بودن بودن محتوای آلومینیم در نمونه‌های موجود در نزدیکی توده‌های افیولیتی، باتوجه به پایین بودن غلظت این عنصر در رسوبات در تماس با آب کاملاً موجه است. در شکل ۶-۱۷ نمودار pH-Eh مربوط به آلومینیم در آب آورده شده است. همان‌گونه در این شکل مشاهده می‌شود مهم‌ترین کمپلکس آلومینیم در نمونه‌های آب Al(OH)_4^- و Al(OH)_3 است. در شکل ۶-۱۸، SI برخی کانی‌های مهم حاوی آلومینیم آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از بین کانی‌های موجود، دیاسپور بیشترین و Al_2O_3 کمترین اشباع‌شدگی را در آب نشان دهند. همچنین

مشاهده می‌شود در نمونه Sp که pH آن از سایر نمونه‌ها به مراتب کمتر است، انحلال‌پذیری بسیاری از کانی‌های حاوی آلومینیم کاهش یافته است و شاخص اشباع‌شدگی افزایش می‌یابد.



شکل ۶-۱۶ پراکندگی غلظت آلومینیم در منابع آب

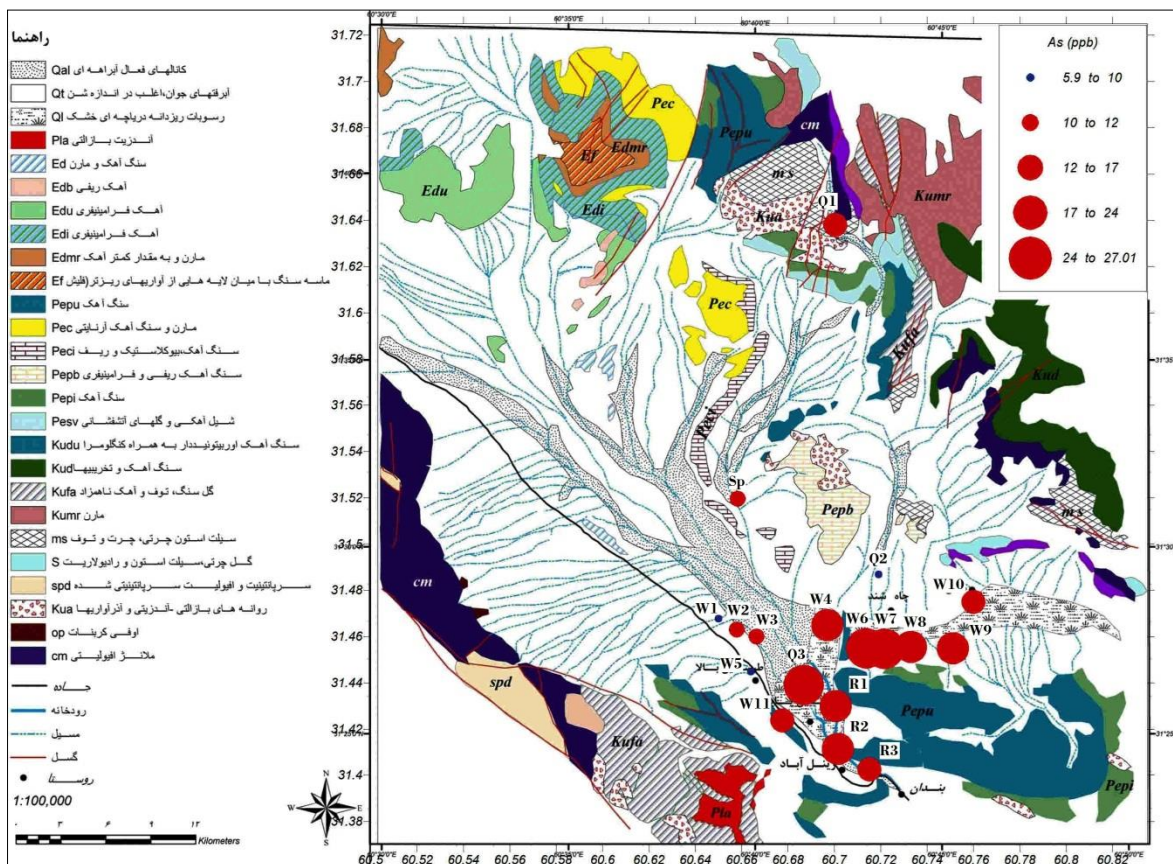


شکل ۶-۱۷ نمودار pH-Eh مربوط به آلومینیم (Takeno.,2005)

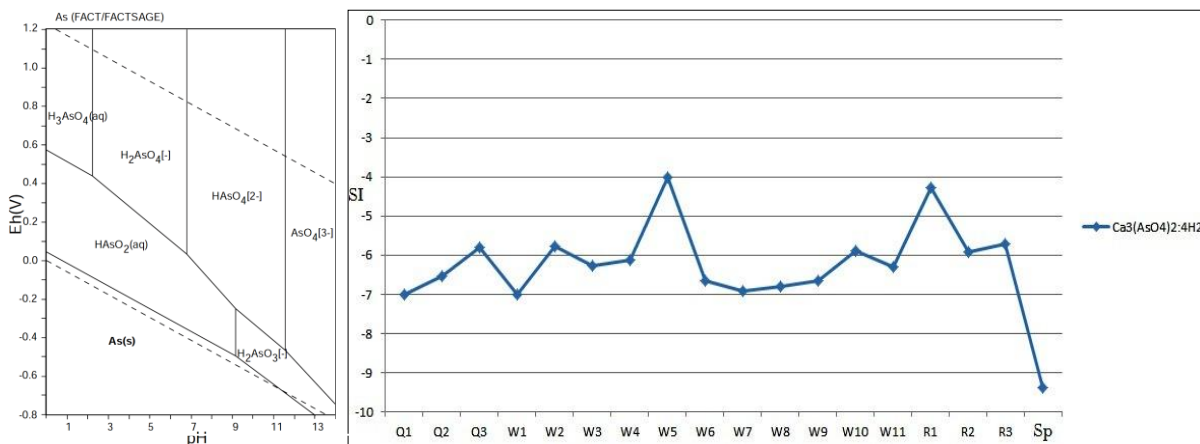
شکل ۶-۱۸ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی آلومینیم در منابع

۶-۷-۲ آرسنیک (As)

آرسنیک به طور گسترده‌ای در محیط یافت می‌شود. از کانی‌های معمول حاوی این فلز می‌توان به آرسنوپیریت (FeAsS)، اورپیمنت (As_2S_3) و رآلگار (AsS) اشاره کرد. در محیط‌های آبی، این عنصر به صورت As^{3+} و As^{5+} دیده می‌شود که As^{3+} سمیت و تحرک بیشتری نسبت به As^{5+} دارد (Ahmed et al., 1999). به طور کلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در pH قلیایی، انحلال‌پذیری آرسنیک در آب به شدت کاهش یافته و اغلب آرسنیک موجود، توسط کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن و منگنز جذب می‌شود (Kabata-Pendia & Mukherjee, 2007). سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) حداکثر مجاز غلظت آرسنیک را در آب آشامیدنی ۱۰ ppb تعیین کرده است. در شکل ۶-۱۹ تغییرات غلظت آرسنیک در منابع آب آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت آرسنیک در نمونه Q1 که منبع آب آشامیدنی مردم نیز می‌باشد، بالاتر (۱۴/۲ ppb) از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. در نمونه‌های پایین‌دست با نزدیک شدن به نمک‌زارهای برجا مانده از محیط دریاچه‌ای قدیمه، بر غلظت آرسنیک نیز افزوده می‌شود. نمونه‌های W7، Q3 و W6 به ترتیب حاوی بیشترین (به ترتیب ۲۷، ۲۵ و ۲۴) و نمونه‌های Q2، W5 و W1 به ترتیب حاوی کمترین (به ترتیب ۵/۹، ۹ و ۹/۴) میزان آرسنیک هستند. همان‌طور که در فصل پیشین نیز گفته شد، محتوای آرسنیک در رسوبات مشتق شده از توده‌های افیولیتی (نمونه‌های S1 و S8)، به طور معمول پایین است. منابع آبی که مستقیماً با این توده‌ها در ارتباط هستند (مانند W1) نیز از محتوای آرسنیک پایین‌تری برخوردار می‌باشند. در شکل ۶-۲۱ نشان داده می‌شود که اشباع‌شدگی کانی‌های حاوی آرسنیک در منابع آب بسیار پایین است و آب نسبت به ترکیبات آرسنیک در شریط تحت اشباع قرار دارد. بیشترین اشباع‌شدگی را $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 4H_2O$ نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۱).



شکل ۶-۱۹ پراکندگی غلظت آرسنیک در منابع آب



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

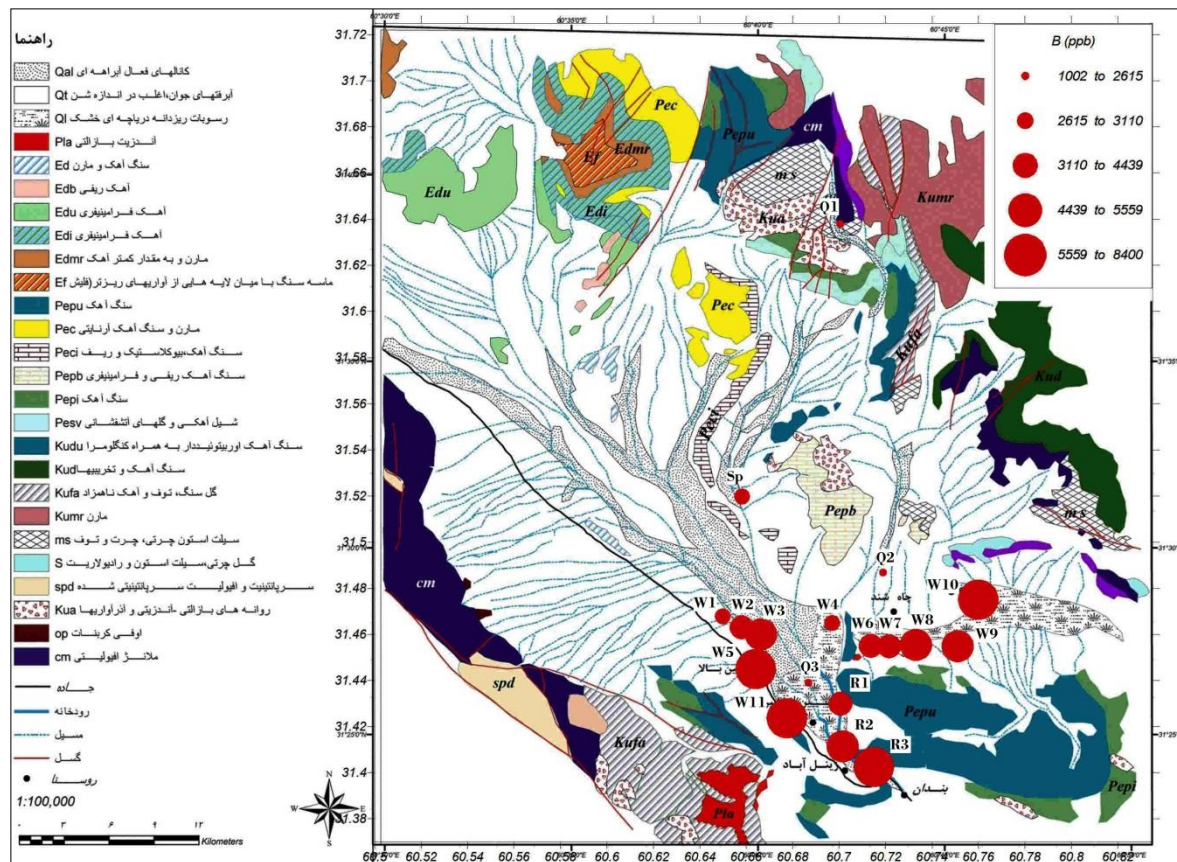
شکل ۶-۲۱ شاخص اشباع شدگی برای برخی کانی‌های حاوی آرسنیک در منابع آب

همچنین از ۶-۲۱ و نیز از شکل شماره ۶-۲۰ می‌توان دریافت که آرسنیک موجود در بیشتر منابع آبی به صورت کمپلکس HAsO_4^{2-} دیده می‌شود.

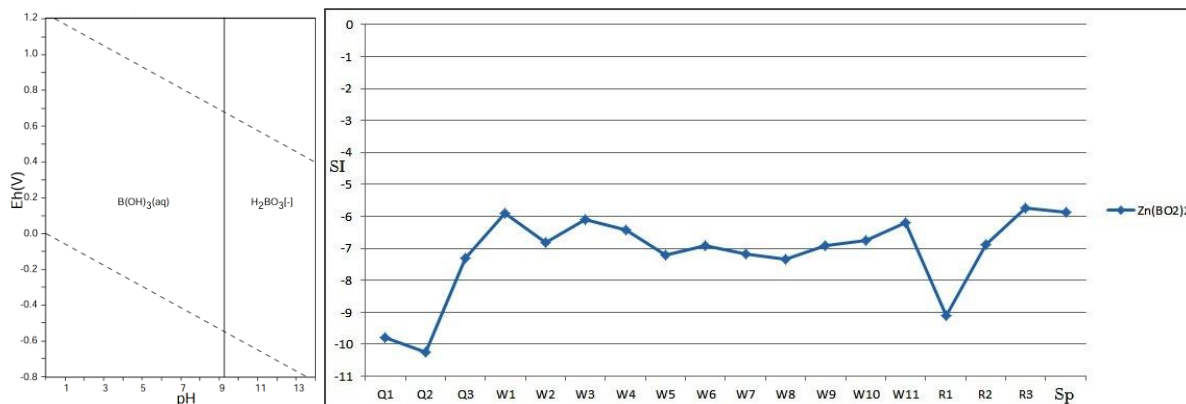
۶-۷-۳ بور (B)

بور یکی از عناصر با انحلال پذیری نسبتاً بالا در آب است. این عنصر در محیط بیشتر به شکل B^{3+} حضور می‌یابد. بیشترین غلظت بور در خاک‌های کربناته و آرژیلیکی گزارش شده است (Kabata-pendias & Mukherjee, 2007). بور قابلیت بالایی را در جذب شدن توسط مواد آلی و کانی‌های رسی دارد. عوامل مختلفی همچون کانی‌های رسی، مواد آلی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیم و آهن، میزان کربنات‌ها و pH تمرکز بور را در آب تنظیم می‌کنند (Neal & Davis, 2003). سنگ‌های آتشفشانی یکی از منابع اصلی بور در آب و خاک هستند. غلظت بور در مناطق خشک و نیمه‌خشک به حداکثر مقدار خود می‌رسد (Zhang et al., 2004). سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) حداکثر میزان مجاز بور را در آب 500 ppb تعیین کرده است. همان‌طور که در شکل ۶-۲۲ دیده می‌شود، غلظت بور در تمامی نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز است و تمامی نمونه‌ها آلوده به بور می‌باشند. این میزان در نمونه Q1 (1002 ppb) که به مصرف آشامیدن اهالی منطقه نیز می‌رسد، بیش از دو برابر میزان تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. بر خلاف بسیاری از آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آب، غلظت بور در منابع شرقی و غربی حوضه تفاوت چندانی با هم ندارد و بیشترین غلظت بور در منابع آب به ترتیب در منابع W11، R3 و W5 (به ترتیب 8399 ppb ، 6664 و 5665) و کمترین میزان آن در نمونه‌های مربوط به قنوت شامل Q1، Q2 و Q3 (به ترتیب 1002 ppb ، 1077 و 2259) دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منابع موجود در نزدیکی سنگ‌های آتشفشانی از محتوای بور نسبتاً بالایی برخوردارند. با توجه به خصوصیات موجود در منابع آب منطقه و با توجه به شکل ۶-۲۳ می‌توان دریافت که بور در منابع آب بیشتر به شکل $B(OH)_3$ حضور می‌یابد. بسیاری از کانی‌های حاوی بور در منابع آب از انحلال پذیری بالایی برخوردار بوده و شاخص

اشباع در آن‌ها به شدت منفی است. همان‌طور که در شکل ۶-۲۴ می‌توان دید، شاخص اشباع تنها در $Zn(BO_2)_2$ از ۱۰- کمتر است.



شکل ۶-۲۲ پراکندگی غلظت بور در منابع آب

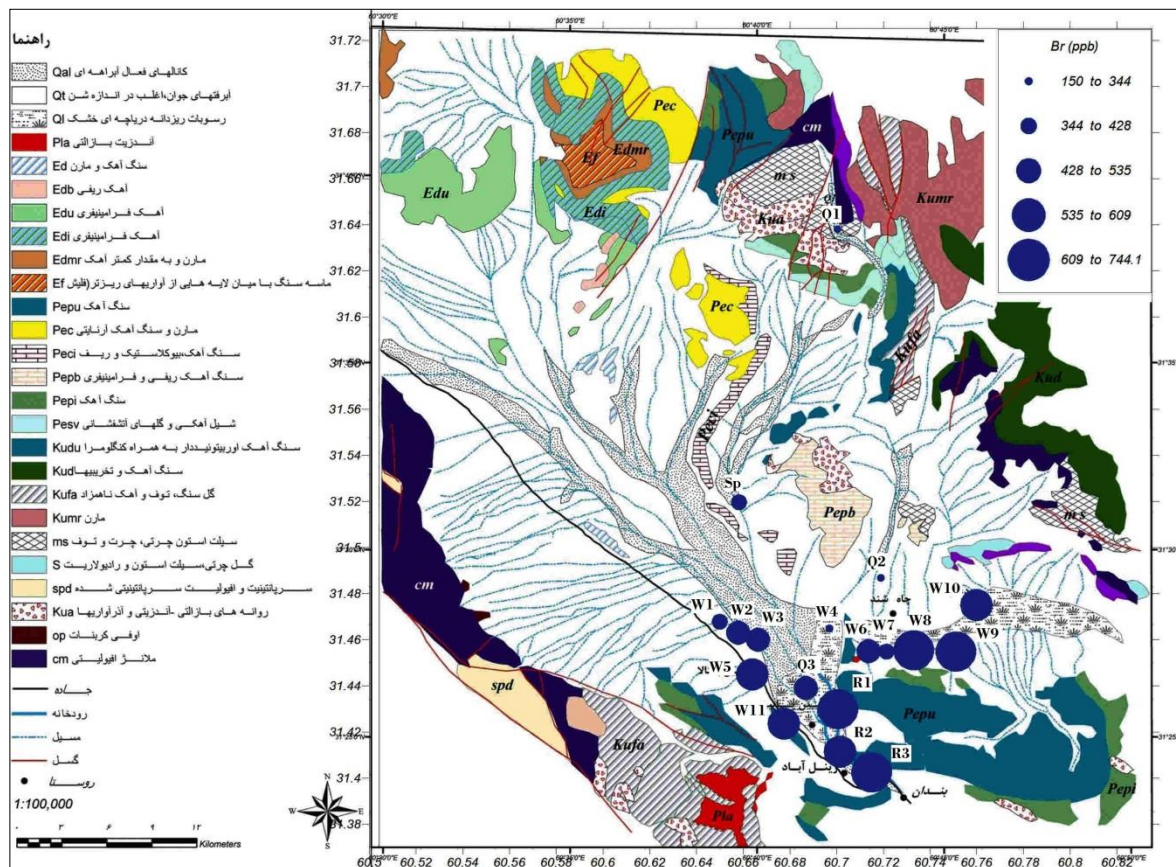


شکل ۶-۲۳ نمودار Eh-pH مربوط به بور (Takeno., 2005)

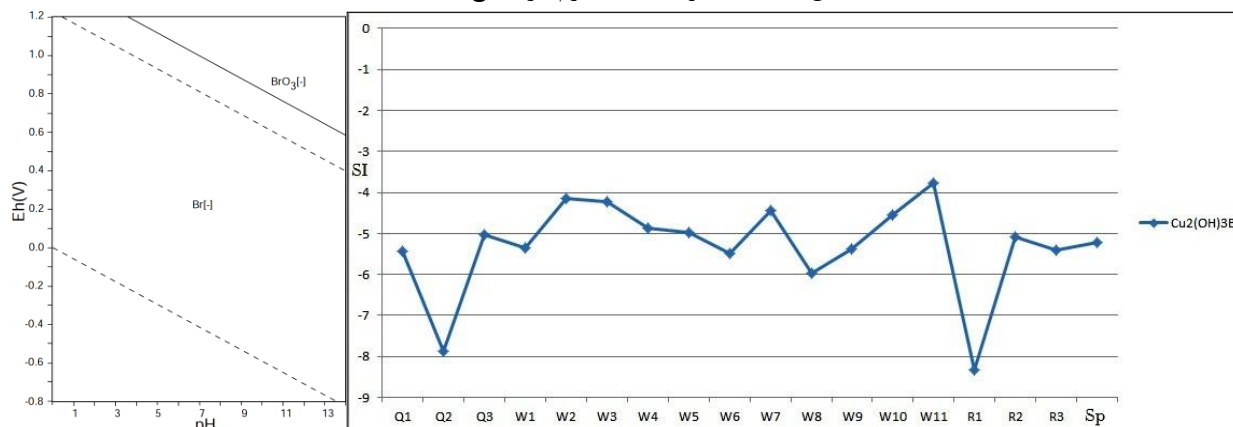
شکل ۶-۲۴ شاخص اشباع‌شدگی مربوط به برخی کانی‌های حاوی بور در منابع آب

۶-۷-۴ برم (Br)

همان‌طور که در بخش مربوط به همبستگی عناصر به آن اشاره شد، رفتار شیمیایی برم در محیط بسیار مشابه با کلر است. از این رو همبستگی این عنصر با کلر (۰/۷۱۸) بالا می‌باشد. منشأ برم در آب بیشتر از کانی‌های کلروره تأمین می‌شود، زیرا برم به علت داشتن خواص شیمیایی مشابه با کلر، می‌تواند در کانی‌های حاوی کلر جانشین آن شود. سازمان بهداشت جهانی و اداره استاندارد ایران هیچ گونه استانداردی را برای برم در آب آشامیدنی تعیین نکرده‌اند. در شکل ۶-۲۵ تغییرات میزان برم در منابع آب نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، غلظت برم در منابع آب موجود در نزدیکی نمک‌زارهای برجا مانده از محیط دریاچه‌ای قدیمه بالاتر از سایر منابع است. این امر مباحث عنوان شده در بالا را تأیید می‌کند. برم هم همانند کلر، سولفات و سدیم تمرکز بالایی در چاه‌های موجود در اطراف محیط دریاچه‌ای قدیمه دارد و بر میزان آن از بالادست به سمت پایین‌دست افزوده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۶-۲۶ نمایان است، برم در بیشتر شرایط Eh-pH به صورت Br^- دیده می‌شود. به علت انحلال‌پذیری بالای ترکیبات حاوی برم در آب، شاخص اشباع‌شدگی در اغلب ترکیبات برم در منابع آب بسیار پایین و کمتر از ۱۰- است (شکل ۶-۲۷) و کلیه منابع آبی منطقه نسبت به برم در شرایط زیر اشباع قرار دارند.



شکل ۶-۲۵ تغییرات غلظت برم در منابع آب



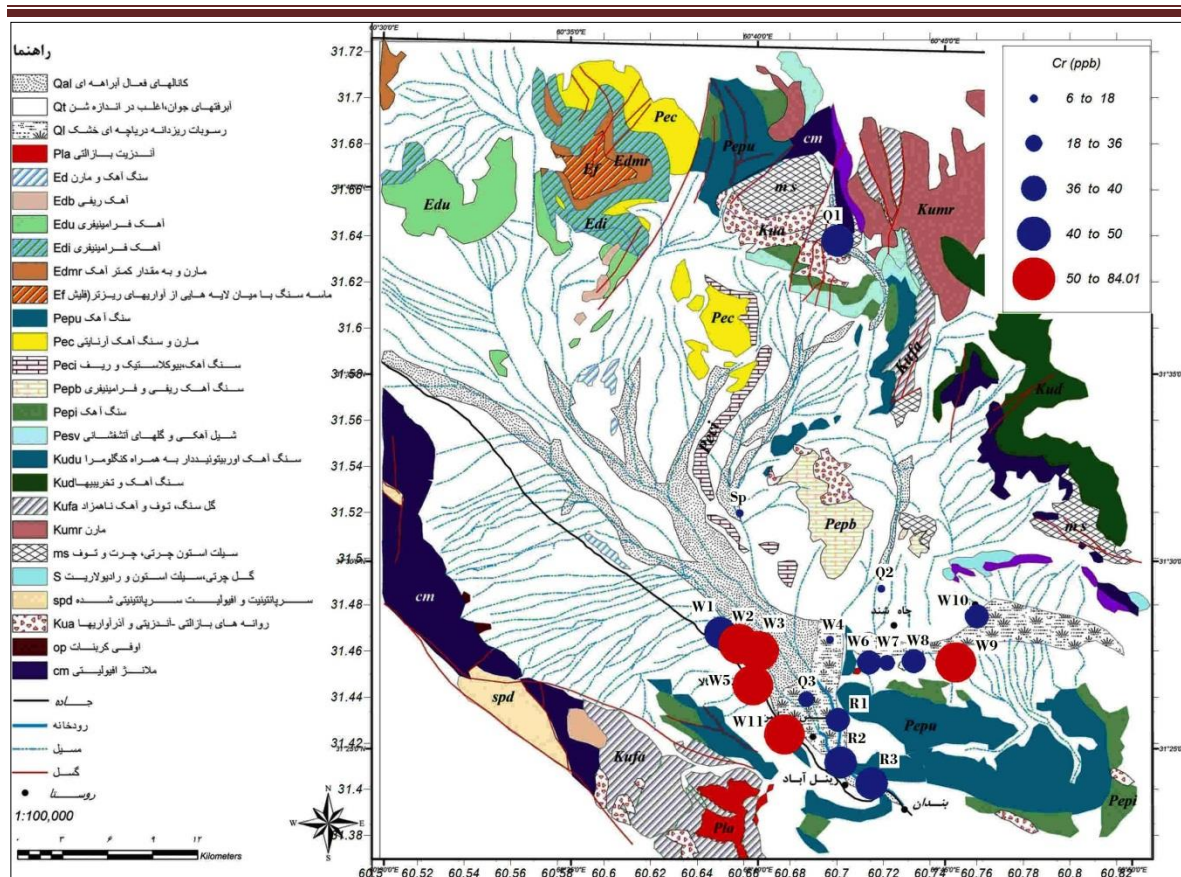
شکل ۶-۲۶ نمودار Eh-pH مربوط به برم (Takeno., 2005)

شکل ۶-۲۷ شاخص اشباع‌شدگی مربوط به برم

۶-۷-۵ کروم (Cr)

پویایی شیمیایی کروم در طی هوازگی و انتقال آن، نسبتاً پایین است. این فلز به حالت‌های اکسیداسیون ۰، ۳+ و ۶+ دیده می‌شود. انحلال‌پذیری کروم با افزایش pH کاهش می‌یابد. از نظر سمیت، Cr^{3+} سمیت کمتری نسبت به Cr^{6+} دارد. سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) حداکثر میزان مجاز در آب آشامیدنی را ۵۰ ppb تعیین کرده است. در شکل ۶-۲۸ تغییرات غلظت کروم در منابع آب نشان داده شده است. همان‌طور که در فصل پیشین عنوان شد، نمونه‌های رسوب موجود در نزدیکی توده‌های افیولیتی (S8، S15 و S9)، محتوای کروم بالاتری نسبت به سایر منابع دارند به طوری که میزان کروم در برخی از این منابع از حد مجاز نیز فراتر رفته است. از میان منابع آب نمونه‌های W11، W5 و W3 به ترتیب بیشترین (به ترتیب ۸۴، ۶۴ و ۵۵) و نمونه‌های Sp، Q2 و W4 به ترتیب کمترین (به ترتیب ۶، ۱۴/۶ و ۱۷) میزان کروم را به خود اختصاص داده‌اند. در شکل ۶-۲۹ نمودار Eh-pH برای کروم آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کروم در شرایط حاکم بر منابع آب بیشتر به صورت CrO_4^{2-} و $CrOH^{2+}$ دیده می‌شود. این موضوع توسط پژوهشگران پیشین (Farmer et al., 2002) نیز تأیید شده است که در مناطق با کانه‌زایی کروم (مانند توده‌های اولترامافیکی موجود در منطقه)، این فلز بیشتر به صورت کمپلکس‌های یاد شده در آب حضور می‌یابد (Bradl, 2005). میزان شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های حاوی کروم را در شکل ۶-۳۰ می‌توان دید. در این شکل مشاهده می‌شود که Cr_2O_3 و $Cr(OH)_3$ رفتار کاملاً مشابهی را در منابع آب از خود به نمایش می‌گذارند و از انحلال‌پذیری کمتری نسبت به $CaCrO_4$ برخوردارند به طوری که در نمونه Sp در حالت فوق اشباع قرار می‌گیرند.

فصل ششم: بررسی کیفیت منابع آب



شکل ۶-۲۸ تغییرات غلظت کروم در منابع آب منطقه



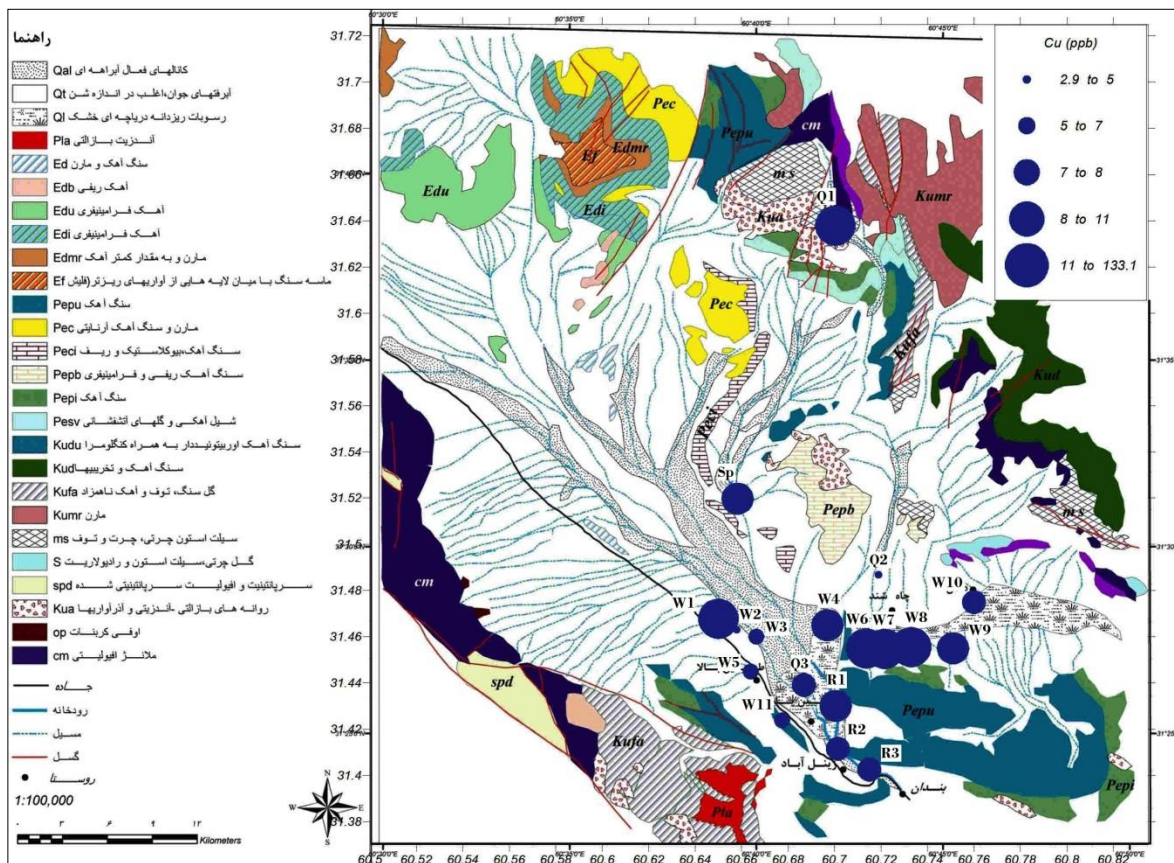
شکل ۶-۲۹ نمودار Eh-pH

مربوط به کروم (Takeno., 2005)

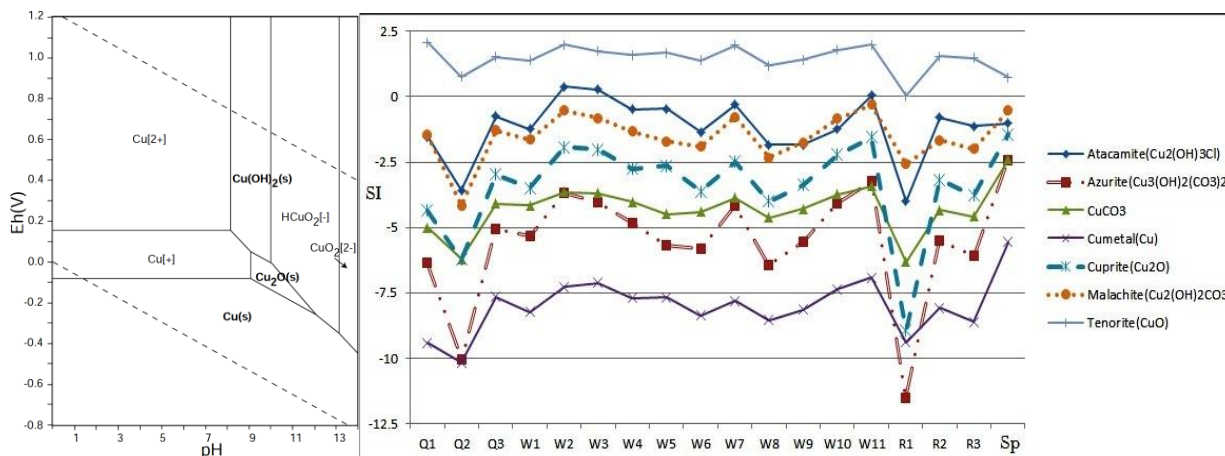
شکل ۶-۳۰ شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های حاوی کروم در منابع آب

۶-۷-۶ مس (Cu)

مس با ظرفیت‌های +۱ و +۲ در محیط حضور می‌یابد. کانی‌های حاوی مس در آب نسبتاً آسان حل می‌شوند و در طی مسیر، مس محلول در آب به راحتی توسط هیدروکسیدهای آهن و منگنز، مواد آلی، سولفیدها و کربنات‌ها جذب می‌شود و از آب خارج می‌گردد. سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) حداکثر غلظت مجاز برای مس را ۲ ppm در نظر گرفته است. همان‌طور که در شکل ۶-۳۱ نیز مشاهده می‌شود، نمونه‌های Q1، W1 و W6 به ترتیب بیشترین (به ترتیب ۱۳۳ ppb، ۱۸/۶ و ۱۸) و نمونه‌های Q2، W2 و W3 به ترتیب حاوی کمترین (به ترتیب ۲/۹، ۳/۱ و ۵) میزان مس در منطقه هستند. نکته‌ای که در اینجا خودنمایی می‌کند، تفاوت فاحش غلظت مس محلول در نمونه Q1 نسبت به سایر نمونه‌ها است به طوری که میزان مس در این نمونه بیش از ۷ برابر W1 است. دلیل این موضوع وجود روانه‌های بازالتی-آندزیتی و کانه‌زایی احتمالی مس در بالادست این قنات است. بالا بودن میزان مس در نمونه رسوب S5 که از همین سنگ‌ها سرچشمه می‌گیرد، نسبت به سایر نمونه‌های رسوب، مؤید مطالب گفته شده است. در شکل ۶-۳۲ نمودار Eh-pH مربوط به مس دیده می‌شود. همان‌طور که در این شکل آمده است، بیشترین مس محلول در آب به صورت Cu^{2+} و Cu^{+} یافت می‌شود. همان‌طور که در شکل ۶-۳۳ در نمودار مربوط به شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های حاوی مس آمده است، تمامی منابع آبی از نظر کانی CuO در حد فوق اشباع قرار دارند ولی نسبت به بیشتر کانی‌های رسم شده در شکل ۶-۳۳ در حد زیر اشباع می‌باشند.



شکل ۳۱-۶ تغییرات غلظت مس در منابع آب



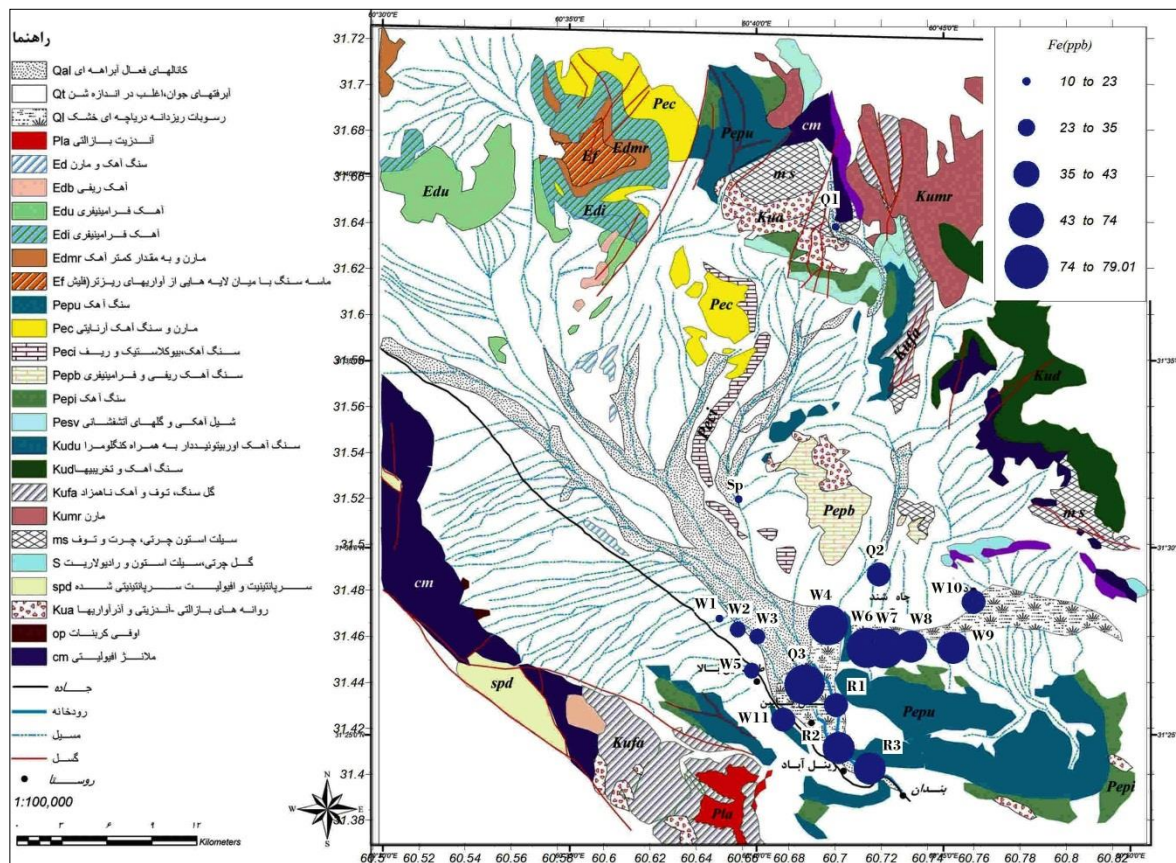
شکل ۳۲-۶ نمودار Eh-pH

مربوط به مس (Takeno., 2005)

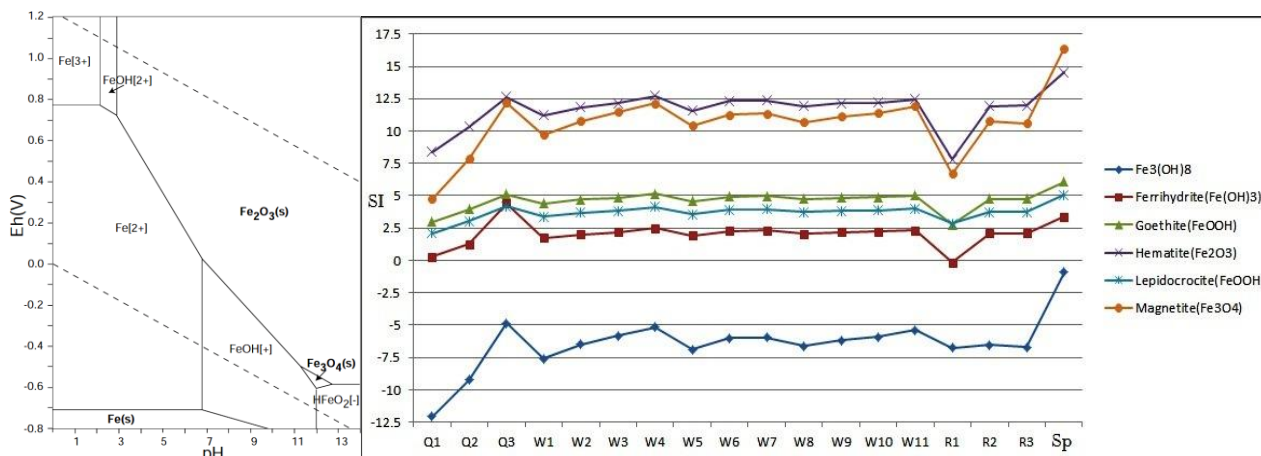
شکل ۳۳-۶ شاخص اشباع‌شدگی مربوط به برخی کانی‌های حاوی مس

۶-۷-۷ آهن (Fe)

آهن یک فلز واسطه است و بعد از آلومینیم دومین فلز فراوان در پوسته می‌باشد. با این وجود، غلظت آهن به طور طبیعی در آب پایین است. در اغلب کانی‌های موجود در سنگ‌های آذرین، آهن به صورت دوظرفیتی حضور می‌یابد. هنگامی که کانی‌های اولیه حاوی آهن هوازده می‌شوند، آهن آزاد شده مجدداً به صورت هیدروکسیدهای آهن سه ظرفیتی ته‌نشین می‌شود و در آب حل نمی‌شود. بنابراین یکی از عواملی که انحلال‌پذیری آهن را کنترل می‌کند، پتاسیل اکسیداسیون و احیاء محیط است. شرایط اکسیدان و قلیایی باعث ته‌نشینی آهن (Fe^{3+}) در محیط شده و محیط احیایی و اسیدی مسبب انحلال آهن (Fe^{2+}) در آب است. حداکثر میزان مجاز آهن طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۰/۲ ppm) و طبق پیشنهاد اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳) ۱ ppm است. همان‌طور که در شکل ۶-۳۴ مشاهده می‌شود، غلظت آهن در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد مجاز است. بیشترین غلظت آهن به ترتیب در منابع Q3، W7 و W4 (به ترتیب ۷۹، ۷۸ و ۷۵) و کمترین غلظت آن به ترتیب در منابع Q1، Sp و W1 (به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۲۶) دیده می‌شود. در شکل ۶-۳۵ نمودار Eh-pH مربوط به آهن آمده است و نشان می‌دهد که مهم‌ترین کمپلکس حاوی آهن در منابع آب $Fe(OH)^+$ است. همچنین در شکل ۶-۳۶ می‌توان شاخص اشباع‌شدگی را برای کانی‌های حاوی آهن مشاهده کرد. در این شکل مشاهده می‌شود که با وجود پایین بودن میزان آهن، نمونه‌های آب نسبت به بیشتر کانی‌های آهن‌دار در حد فوق اشباع می‌باشند. این امر نشان‌دهنده انحلال‌پذیری بسیار پایین ترکیبات آهن‌دار است. لازم به ذکر است که مقادیر آهن و نیز میزان اشباع‌شدگی آن در قنات‌ها از بالادست به سمت پایین‌دست، افزایش می‌یابد.



شکل ۶-۳۴ تغییرات غلظت آهن در منابع آب



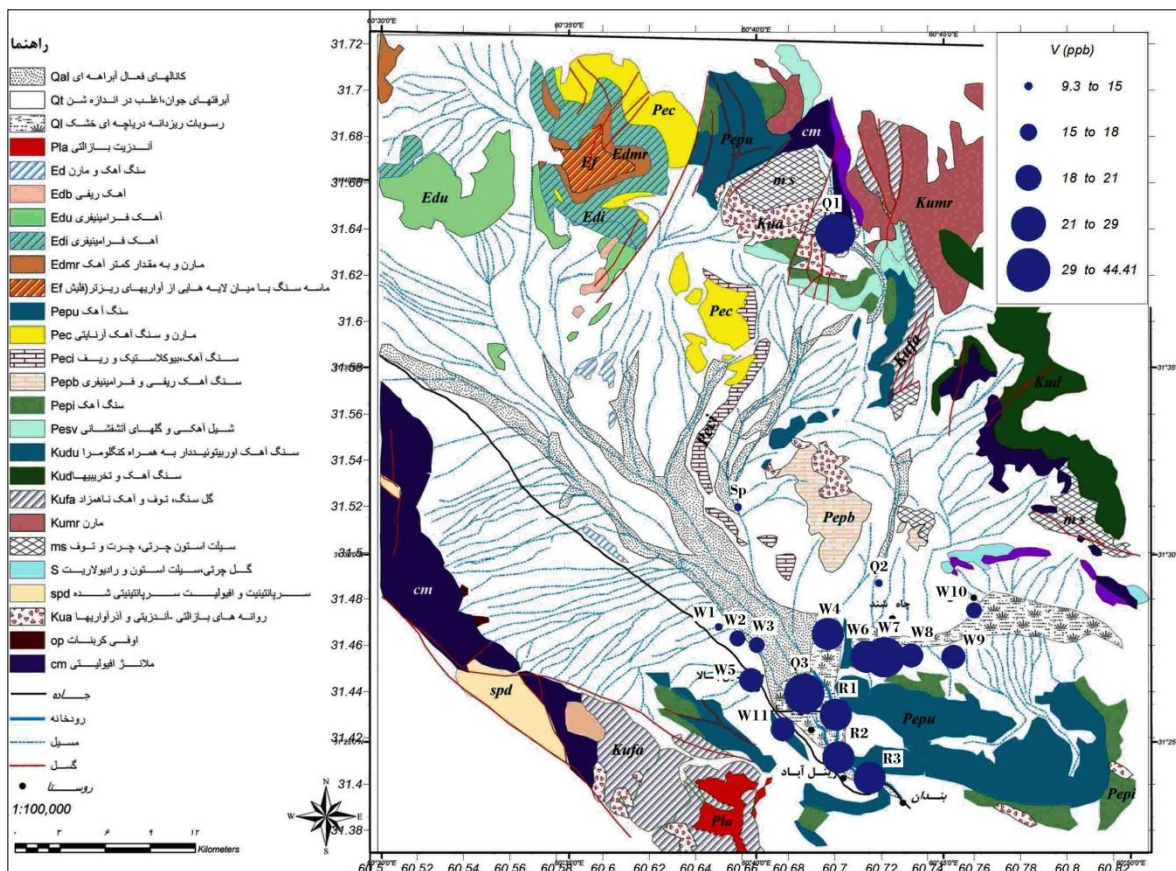
شکل ۶-۳۵ نمودار Eh-pH مربوط به آهن (Takeno., 2005)

شکل ۶-۳۶ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی آهن

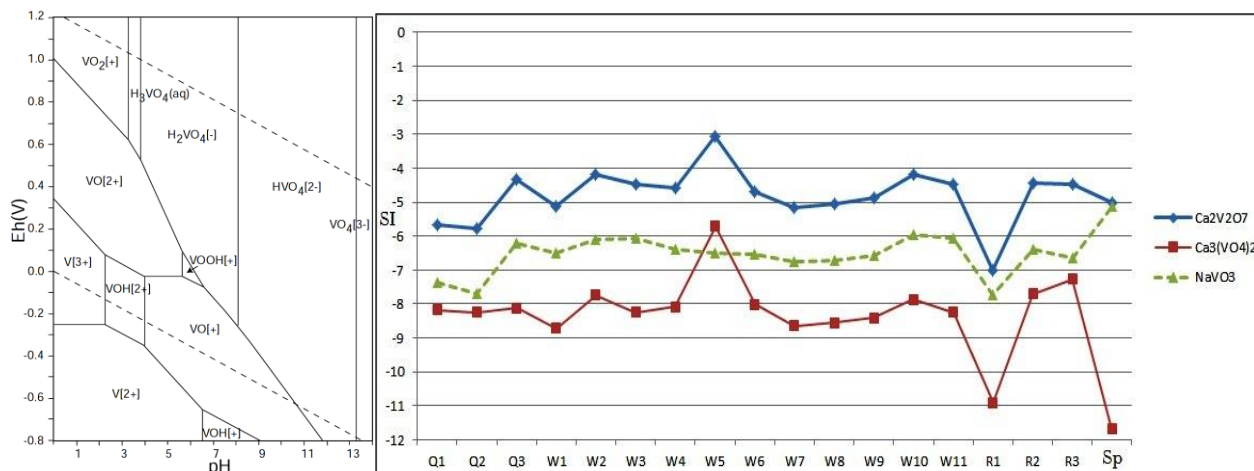
۶-۷-۸ وانادیم (V)

الگوی فراوانی وانادیم در سنگ‌ها نشان می‌دهد که تمرکز آن بیشتر در سنگ‌های آذرین بازیک تا حد واسط و سنگ‌های رسوبی آرژیلیکی است (Kabata-Pendias, 2007). حالت اکسیدان وانادیم متغیر است اما در شرایط اکسیدان بیشتر به صورت $+5$ یافت می‌شود. در شرایط اکسیدان، V^{5+} ارتباط نزدیکی با سایر کاتیون‌ها مانند As^{5+} و Mo^{5+} دارد در حالی که V^{2+} رفتاری مشابه با Fe^{2+} از خود نشان می‌دهد (Bradl, 2005). در طی هوازدگی، پویایی وانادیم به کانی‌های میزبان، شرایط Eh-pH و وجود یا عدم وجود کانی‌های رسی یا هیدروکسیدهای آهن بستگی دارد. سازمان بهداشت جهانی استاندارد برای غلظت وانادیم در آب آشامیدنی در نظر نگرفته است. در شکل ۶-۳۷ تغییرات غلظت وانادیم در منابع آب منطقه آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های Q1، W7 و Q3 به ترتیب بیشترین (به ترتیب ppb ۴۴/۴، ۳۱ و ۲۹) و نمونه‌های Sp، Q2، W1 به ترتیب کمترین (به ترتیب ppb ۹/۳، ۱۴ و ۱۴/۳) غلظت وانادیم را در بین نمونه‌های آب دارند. همان‌طور که پیشتر بحث شد، نمونه Q1 بالاترین میزان مس را در بین سایر نمونه‌های آب به خود اختصاص داده است. در اینجا مشاهده می‌شود که این نمونه آب بالاترین میزان وانادیم را نیز دارا است. نمونه رسوب S5 که از روانه‌های بازالتی - آندزیتی سرچشمه می‌گیرد، حاوی بیشترین وانادیم در میان سایر نمونه‌ها است. بنابراین طبیعی است که محتوای وانادیم در Q1 که مستقیماً با این رسوبات در ارتباط است، بیشترین وانادیم را در خود جای داده باشد. همچنین پایین بودن محتوای وانادیم در نمونه‌های Q2 و W1، به دلیل غلظت اندک وانادیم در نمونه‌های رسوب در تماس با این منابع (S6، S7 و S8) است. در شکل ۶-۳۸ نمودار Eh-pH مربوط به وانادیم آمده است. همان‌طور که از این نمودار می‌توان دریافت، مهم‌ترین کمپلکس حاوی وانادیم در آب، $H_2VO_4^-$ و HVO_4^{2-} است. در شکل ۶-۳۹ شاخص اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی وانادیم آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اشباع‌شدگی کانی‌های حاوی وانادیم در تمامی منابع آب کمتر از صفر است و منابع آبی از نظر کانی‌های

حاوی وانادیم در شرایط زیر اشباع قرار دارند.



شکل ۶-۳۷ تغییرات غلظت وانادیم در منابع آب

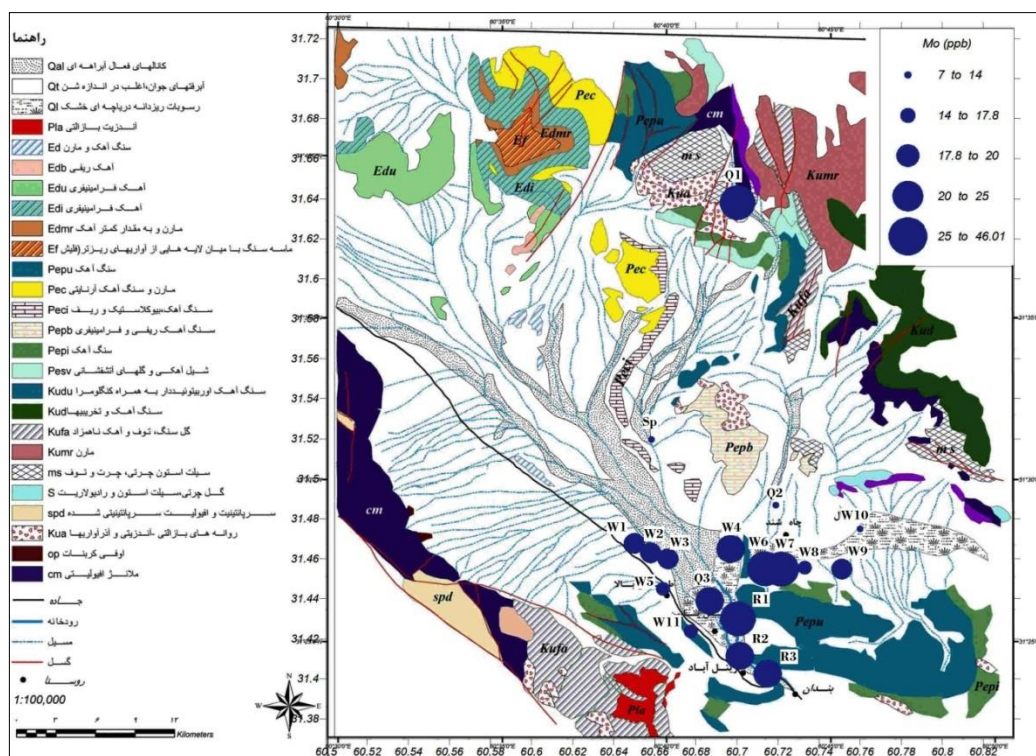


شکل ۶-۳۸ نمودار Eh-pH مربوط به وانادیم (Takeno., 2005)

شکل ۶-۳۹ شاخص اشباع‌شدگی مربوط به برخی کانی‌های حاوی وانادیم

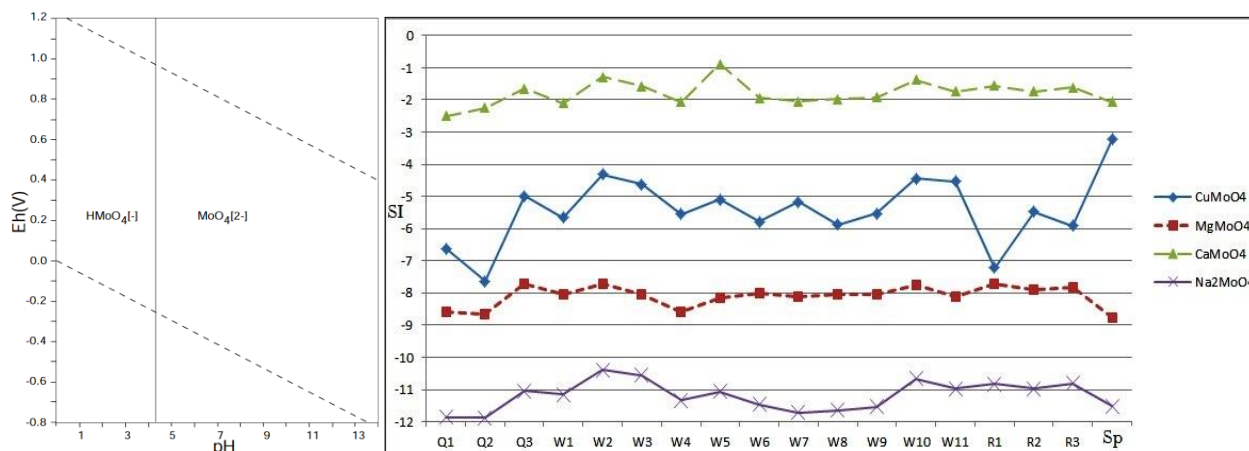
۶-۷-۹ مولیبدن (Mo)

مولیبدن بیشتر در سنگ‌های گرانیتی و رسوبات آرژیلیکی تمرکز می‌یابد. این فلز در شرایط اکسیدان در آب حل شده و در شرایط احیا از حالت محلول خارج می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) حداکثر مجاز مولیبدن در آب آشامیدنی را ۷۰ ppb تعیین کرده است. در شکل ۶-۴۰ تغییرات غلظت مولیبدن در نمونه‌های آب دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین غلظت مولیبدن موجود در منابع آب به ترتیب در نمونه‌های W6، W7 و R1 و کمترین میزان آن به ترتیب در نمونه‌های W10، Sp و W2 گزارش شده است. همان‌طور که در فصل پیشین به آن اشاره شد، غلظت مولیبدن در نمونه‌های رسوب چندان بالا نیست. با این وجود غلظت این فلز به نسبت سایر فلزات سنگین بالا است. این امر بالاتر بودن انحلال‌پذیری مولیبدن را نسبت به برخی فلزات سنگین می‌رساند.



شکل ۶-۴۰ تغییرات غلظت مولیبدن در منابع آب

در شکل ۶-۴۱ نمودار Eh-pH مربوط به مولیبدن و در شکل ۶-۴۲ شاخص اشباع‌شدگی کانی‌های حاوی مولیبدن را می‌توان مشاهده کرد. از این دو شکل می‌توان دریافت که بیشترین مولیبدن محلول در آب به صورت MoO_4^{2-} است. مقادیر شاخص اشباع‌شدگی نشان می‌دهد که منابع آبی منطقه نسبت به تمامی کانی‌های حاوی مولیبدن در حد زیر اشباع قرار دارند.



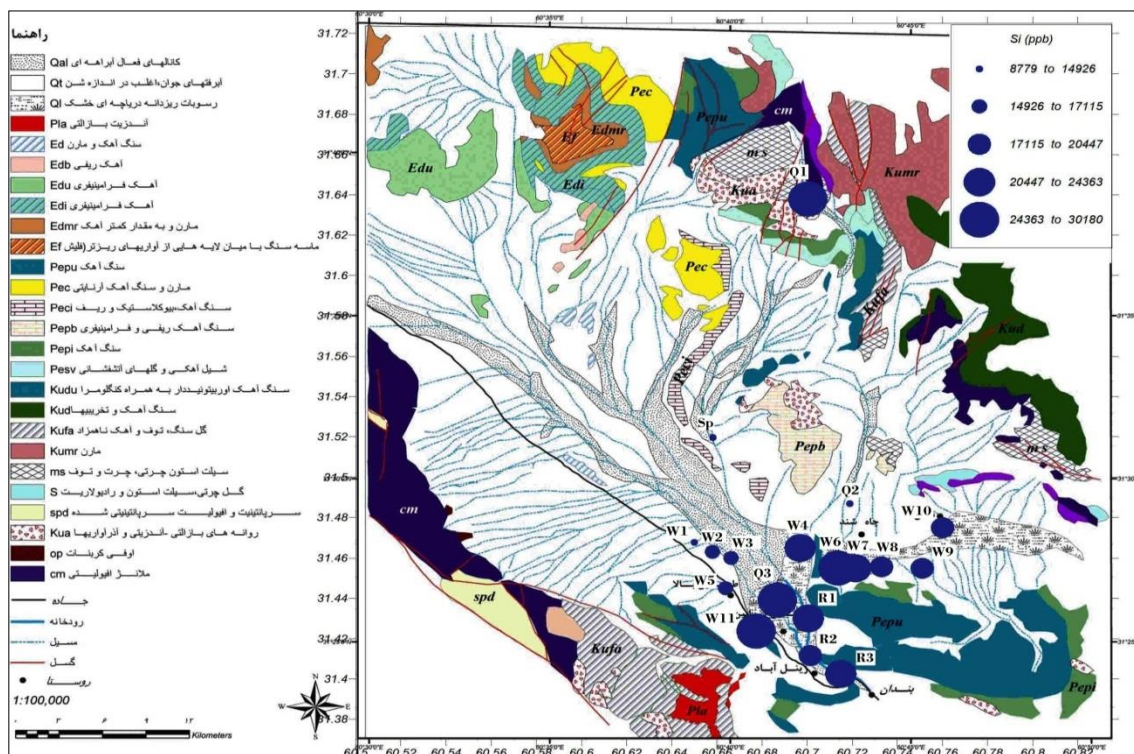
شکل ۶-۴۱ نمودار Eh-pH مربوط به مولیبدن (Takeno., 2005)

شکل ۶-۴۲ شاخص اشباع‌شدگی مربوط به کانی‌های حاوی مولیبدن

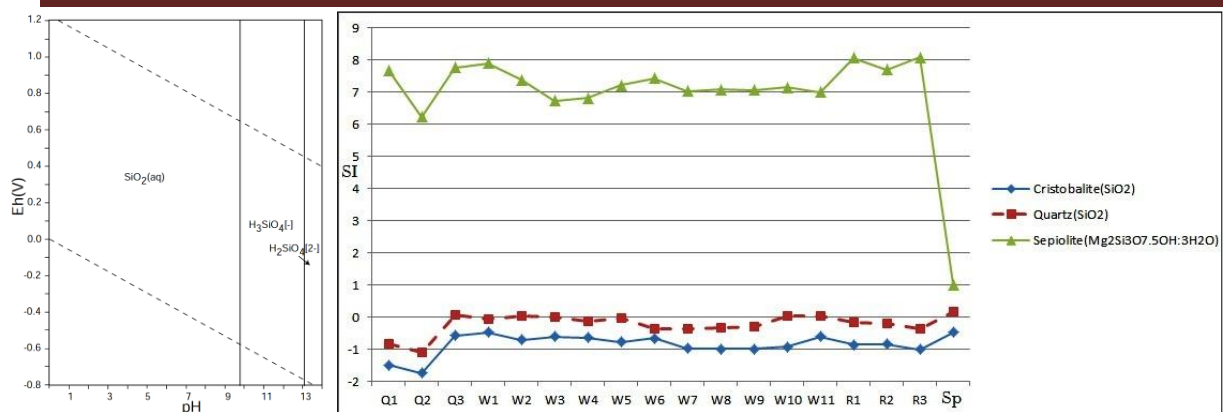
۶-۷-۱۰ سیلیسیم (Si)

مهم‌ترین منشأ سیلیسیم در آب هوازدهگی کانی‌های سیلیکاته است. انحلال‌پذیری سیلیسیم در آب به نسبت سایر عناصر فرعی محلول در آب بالا است. در آب‌های زیرزمینی موجود در مجاورت سنگ‌های آتشفشانی (مانند توف‌ها) میزان سیلیسیم افزایش می‌یابد (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). سازمان بهداشت جهانی هیچ گونه استاندارد را برای میزان سیلیسیم محلول در آب ارائه نکرده است. در شکل ۶-۴۳ تغییرات غلظت سیلیسیم در منابع آب موجود در منطقه آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منابع Q1، W11 و W6 به ترتیب بیشترین (۳۰۱۷۷، ۲۶۳۰۲ و ۲۴۶۷۰) و منابع Q2، Sp و W1 (به ترتیب ۸۷۷۹، ۱۰۵۷۴ و ۱۴۸۳۲) به ترتیب کمترین میزان سیلیسیم را به خود اختصاص داده‌اند. نمونه Q1 واقع در بالادست حوضه آبریز، از محتوای سیلیسیم بالایی نسبت به سایر نمونه‌ها

برخوردار است. دلیل بالا بودن غلظت سیلیسیم در قنات بالادست منطقه مورد مطالعه (Q1)، احتمالاً حضور توفهای بازیک و روانه‌های بازالتی- آندزیتی با گسترش نسبتاً زیاد در بالادست این قنات است. پایین بودن مقدار سیلیسیم در نمونه Q2 به علت وجود حجم زیادی از توده‌های آهکی و نبود سیلیسیم در این توده‌ها، در بالادست این قنات می‌باشد. همچنین سنگ‌های اولترامافیک از محتوای سیلیسیم اندکی برخوردارند (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). بنابراین طبیعی است که منابع آب در تماس با این رسوبات (W1) نیز سیلیسیم اندکی را در خود جای دهند. در شکل ۶-۴۴ نمودار Eh-pH مربوط به سیلیسیم آورده شده است. همان‌طور که از این شکل برمی‌آید، سیلیسیم در منابع آب بیشتر به صورت کمپلکس SiO_2 یافت می‌شود. در شکل ۶-۴۵ اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی سیلیسیم نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کوارتز و کریستوبالیت روندی مشابه را نشان می‌دهند. همچنین مشاهده می‌شود که منابع آبی نسبت به سیپولیت در حد فوق اشباع است.



شکل ۶-۴۳ تغییرات غلظت سیلیسیم در منابع آب



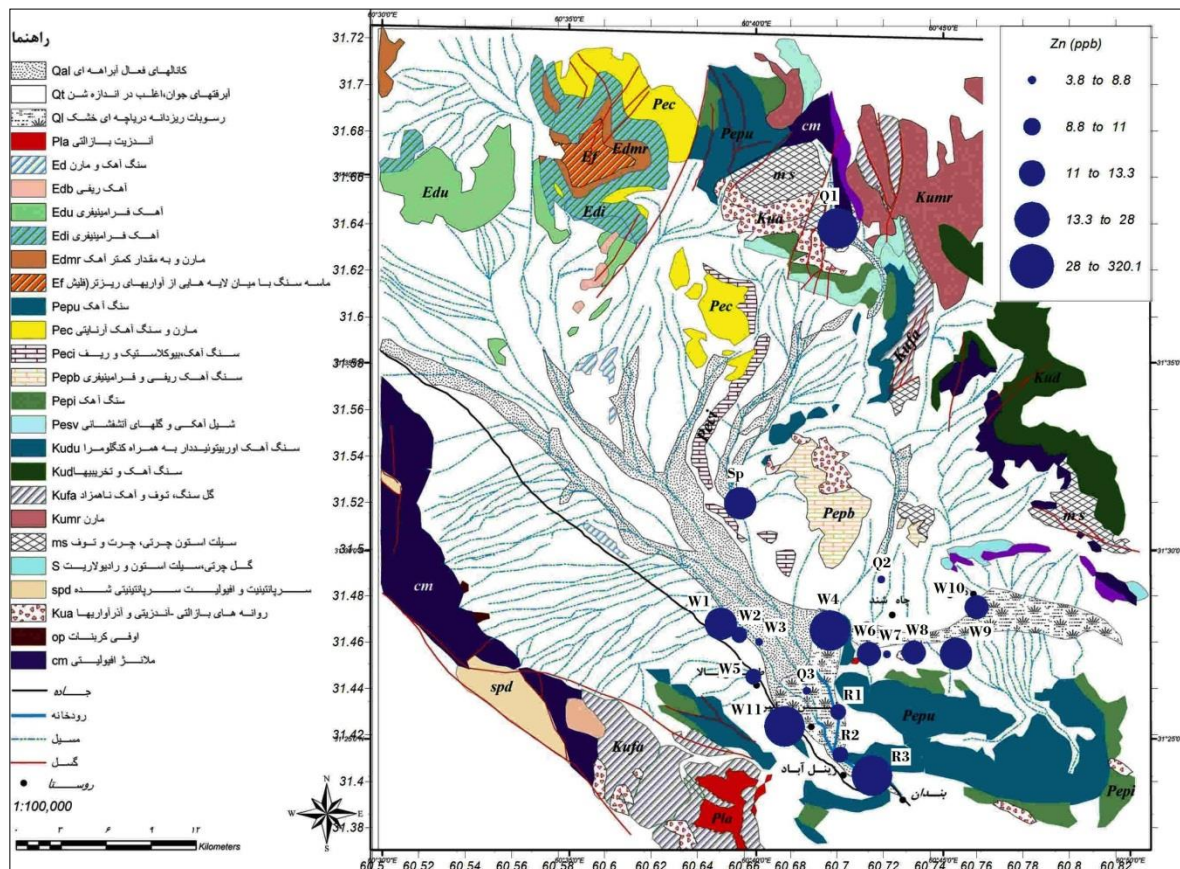
شکل ۶-۴۵ نمودار اشباع‌شدگی مربوط به برخی کانی‌های حاوی سیلیسیم
 شکل ۶-۴۴ نمودار Eh-pH مربوط به سیلیسیم (Takeno., 2005)

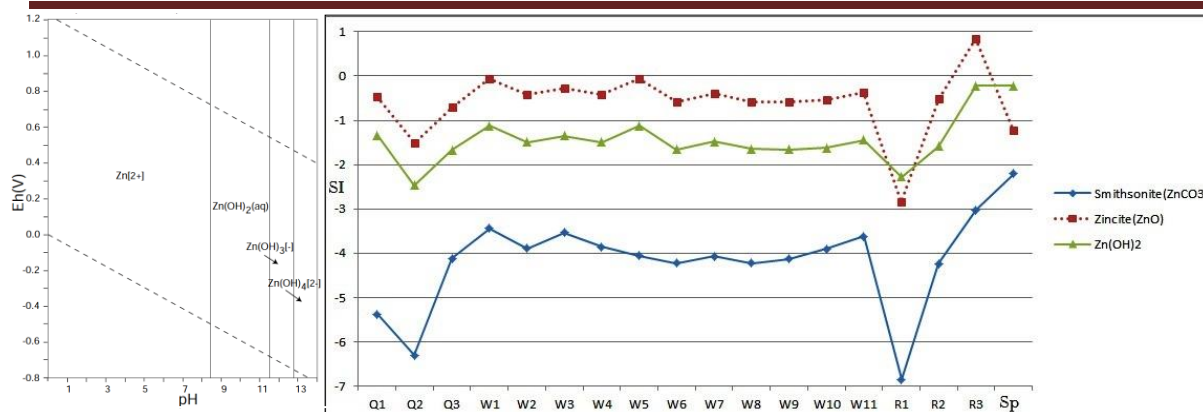
۶-۷-۱۱ روی (Zn)

مقدار روی در سنگ‌های آذرین (از سنگ‌های آذرین بازیک تا سنگ‌های آذرین اسیدی) تقریباً به یک اندازه دیده می‌شود. این در حالی است که غلظت روی در سنگ‌های رسوبی آرژیلیکی بیشتر از سایر سنگ‌های رسوبی است (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). حداکثر غلظت مجاز روی در منابع آب، مطابق با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸)، ۳ ppm است. در شکل ۶-۴۶ تغییرات غلظت روی در منابع آب منطقه آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های R3، Q1 و W11 به ترتیب بیشترین و نمونه‌های Q2، Q3 و W7 به ترتیب کمترین میزان روی را در خود جای داده‌اند. همان‌گونه که در فصل پیشین به آن پرداخته شد، غلظت روی در نمونه رسوب سرچشمه گرفته از روانه‌های بازالتی-آندزیتی (S5) در میان سایر نمونه‌های رسوب، بالاترین میزان را به خود اختصاص داده است. بنابراین طبیعی است که نمونه آب Q1 که در پایین‌دست روانه‌های بازالتی-آندزیتی قرار گرفته است، حاوی روی بالایی (۱۱۰/۶ ppb) باشد. نکته قابل تأمل در اینجا این است که نمونه آب R3 با وجود پایین بودن محتوای روی در نمونه رسوب بالادست (S16) حاوی بیشترین غلظت روی در بین نمونه‌های آب است! همان‌طور که پیشتر عنوان شد، جنس سنگ‌های موجود در پایین‌دست حوضه، بیشتر از سنگ‌های آهکی با میان لایه‌های تبخیری، بیشتر کانی‌های سولفات، است. یکی از ترکیبات انحلال‌پذیر روی ZnSO_4 است. با توجه به غلظت پایین روی در نمونه رسوب S16 (رسوب بالادست نمونه R3) و غلظت بالای آن در نمونه

آب R3 و جنس سنگ‌های موجود در خروجی حوضه، می‌توان عنوان داشت که احتمالاً ترکیب غالب روی در رسوبات موجود در این بخش از حوضه آبریز به صورت $ZnSO_4$ و یا $ZnCO_3$ بوده که انحلال‌پذیری بالایی دارند. در شکل ۶-۴۷ نمودار Eh-pH مربوط به روی نشان می‌دهد که شکل غالب روی در منابع آب به صورت Zn^{2+} است. همچنین در شکل ۶-۴۸ نمودار میزان اشباع‌شدگی برخی کانی‌های حاوی روی در منابع آب منطقه آمده است. در این شکل مشاهده می‌شود به جز نمونه برگرفته شده از خروجی حوضه (R3) که نسبت به کانی زینسیت در حد فوق اشباع می‌باشد، بقیه منابع آبی منطقه نسبت به کانی‌های روی در حد زیر اشباع می‌باشند.

شکل ۶-۴۶ تغییرات غلظت روی در منابع آب





شکل ۶-۴۷ نمودار Eh-pH مربوط به روی (Takeno., 2005)

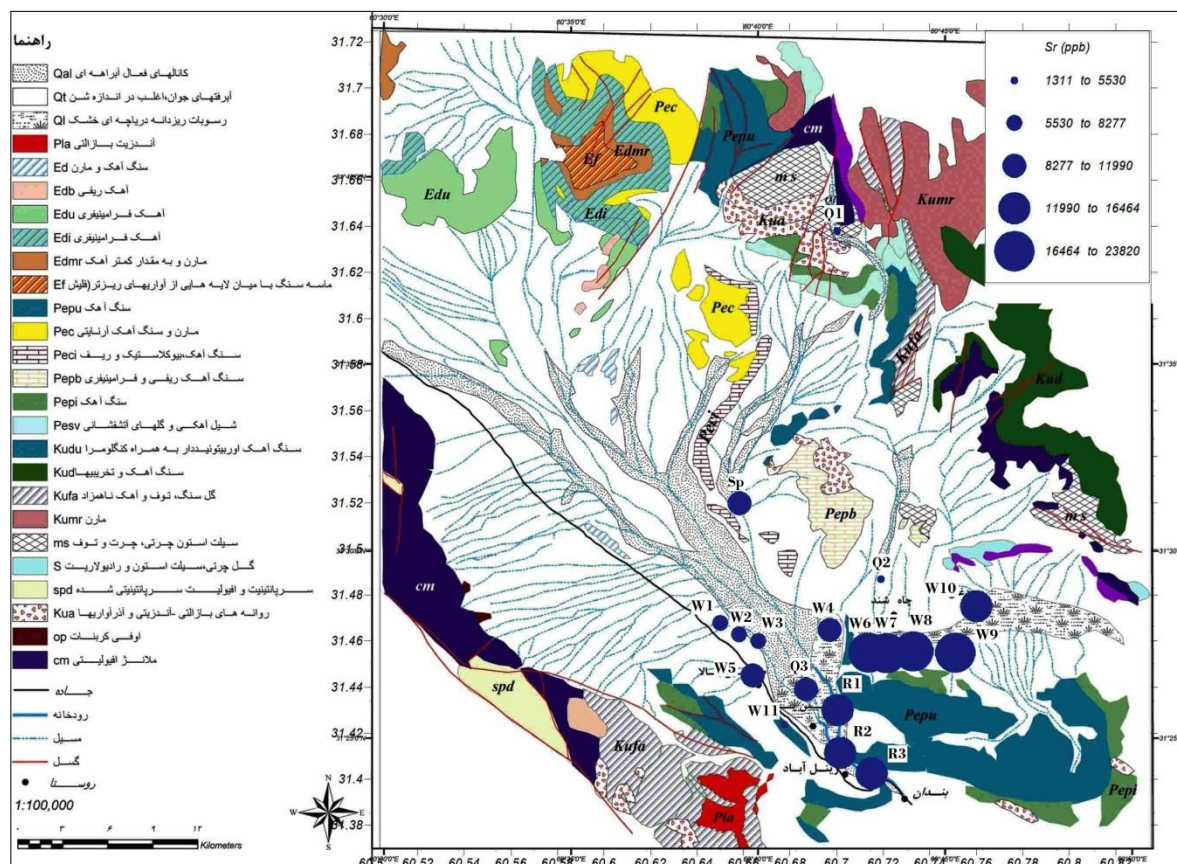
شکل ۶-۴۸ شاخص اشباع شدگی مربوط به برخی کانی‌های حاوی روی

۶-۷-۱۲ استرانسیم (Sr)

از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، استرانسیم بسیار شبیه به کلسیم است. منبع استرانسیم در آب معمولاً از کانی‌های استرانسیانیت ($SrCO_3$)، سلسترین ($SrSO_4$) و آراگونیت سرچشمه می‌گیرد که از این بین، کانی آراگونیت از بقیه مهم‌تر است. سازمان بهداشت جهانی هیچ گونه استاندارد را برای استرانسیم در آب آشامیدنی در نظر نگرفته است. در شکل ۶-۴۹ تغییرات غلظت استرانسیم در منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، استرانسیم موجود در منابع موجود در بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه مانند W9، W8 و W7 به ترتیب بالاترین (به ترتیب ۲۳۸۱۵، ۲۰۴۳۹ و ۱۶۸۰۷) غلظت را در بین نمونه‌های آب دارد. وجود مقادیر بالای کانی‌های تبخیری در محیط دریاچه‌ای قدیمه و در نتیجه بالاتر بودن غلظت آنیون‌ها (به جز بیکربنات) و کاتیون‌ها در منابع موجود در این بخش از حوضه، نشان‌دهنده این موضوع است که استرانسیم در این بخش از منطقه مورد مطالعه بیشتر به صورت سولفات‌های استرانسیم (مانند سلسترین) که انحلال‌پذیری بیشتری نسبت به کربنات‌های استرانسیم برخوردارند، وجود دارند. میزان استرانسیم در منابع آب موجود در مناطق غربی حوضه به مراتب پایین‌تر از منابع آب موجود در اطراف دریاچه قدیمه است. دلیل این مسئله پایین بودن استرانسیم در رسوبات موجود در بالادست این منابع (مانند S8، S15 و S9) است. میان‌لایه‌های سولفات‌ها موجود در سنگ‌های آهکی، در حاشیه رودخانه بندان باعث افزایش محتوای استرانسیم در نمونه‌های برداشت شده از

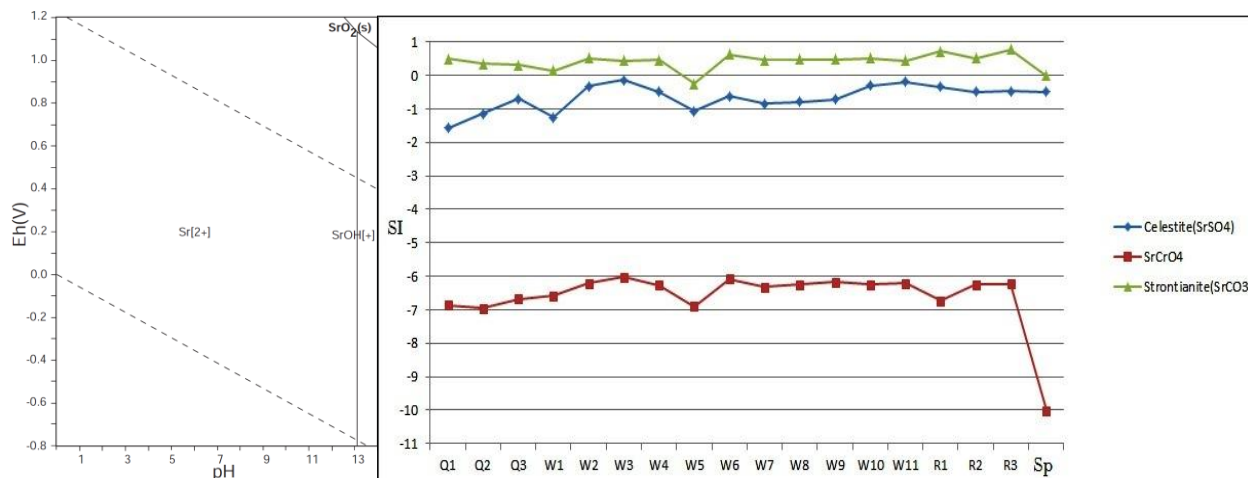
رودخانه می‌شود. همان‌طور که در بخش مربوط به همبستگی عناصر در آب به آن پرداخته شد، این فلز با بسیاری از آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی محلول در آب (به جز بیکربنات) همبستگی بالایی نشان می‌دهد. علاوه بر این، پیشتر عنوان شد که غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های یاد شده در منابع آب موجود در حاشیه نمک‌زارهای برجا مانده از محیط دریاچه‌ای قدیمه بالاتر از سایر منابع است. بنابراین طبیعی است که غلظت استرانسیم هم با توجه به مباحث عنوان شده، در حاشیه نمک‌زارهای برجا مانده از محیط دریاچه-ای قدیمه بالا باشد و نیز بر غلظت آن از بالادست به سمت پایین‌دست، افزوده شود. شکل ۶-۵۰ نمودار Eh-PH مربوط به استرانسیم را نشان می‌دهد که بیشتر استرانسیم محلول در منابع آب منطقه می‌تواند به

شکل Sr^{2+} باشد. در شکل ۶-۵۱ میزان شاخص اشباع‌شدگی برای برخی از کانی‌های حاوی استرانسیم



شکل ۶-۴۹ تغییرات غلظت استرانسیم در منابع آب

آمده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، کانی استرانسیانیت در بیشتر نمونه‌ها در حالت فوق اشباع قرار دارد که این موضوع انحلال‌پذیری کمتر کانیهای کربناته استرانسیم را نسبت به کانی‌های سولفات‌ها حاوی این عنصر در آب منطقه، آشکار می‌کند.



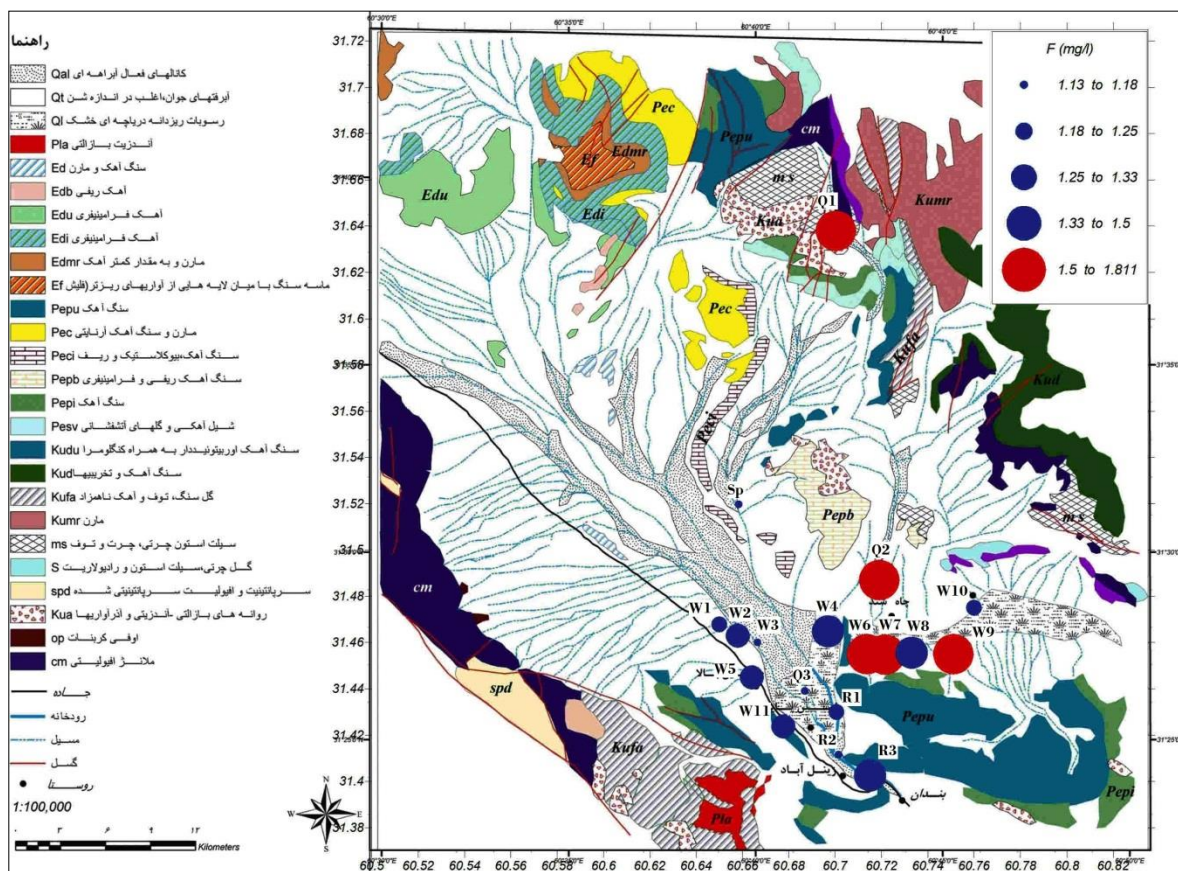
شکل ۶-۵۰ نمودار Eh-pH مربوط به استرانسیم (Takeno., 2005)

شکل ۶-۵۱ شاخص اشباع شدگی در برخی از کانی‌های حاوی استرانسیم

۶-۷-۱۳ فلوتور (F)

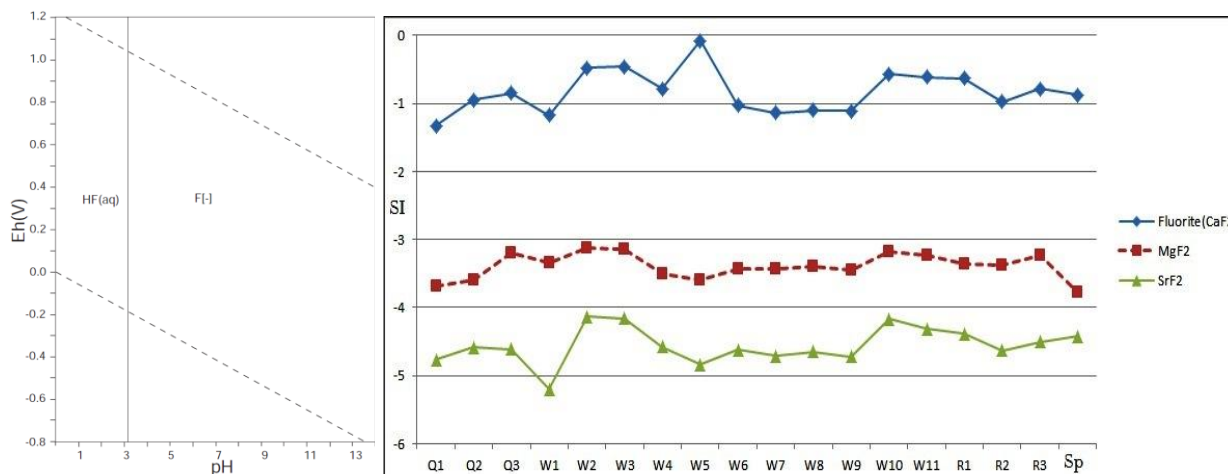
رفتار فلوتور در آب با بقیه هالوژن‌ها (مانند کلر و برم) متفاوت است. به این معنا که ممکن است مقدار آن از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه افزایش نیابد و جذب کانی‌های رسی (مانند کائولینیت)، فسفریت‌ها و کربنات‌ها شود. میزان جذب فلوتور توسط کانی‌های رسی در آب‌های با قلیاییت نسبتاً بالا کاهش می‌یابد (Hounslow and Back., 1985). سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) حداکثر میزان مجاز فلوتور محلول در آب آشامیدنی را ۱/۵ppm و اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳) این میزان را بسته به شرایط آب و هوایی ۱/۲-۰/۷ppm تعیین کرده است. در شکل ۶-۵۲ تغییرات غلظت فلوتور در منابع آب آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت این عنصر در نمونه Q1 بالاتر از سایر منابع موجود در منطقه مورد مطالعه است. دلیل این مسئله تماس مستقیم این منبع آب با رسوبات مشتق شده از بازالت‌های

حفره‌دار و روانه‌های بازالتی-آندزیتی است که هر دو از محتوای فلئور بالا‌یی برخوردارند. همچنین مشاهده می‌شود که غلظت فلئور در این منبع آب بالاتر از حد مجاز نیز هست. گفتنی است نمونه Q1 قناتی در بالادست حوضه است که تحت پوشش اداره آب و فاضلاب استان خراسان جنوبی بوده و به عنوان منبع آب شرب مردم منطقه به حساب می‌آید. بالا بودن فلئور در این قنات (1/81 ppm)، باعث ایجاد مشکلاتی برای ساکنین منطقه شده که در فصل آتی به آن پرداخته خواهد شد. از شکل ۶-۵۳ (نمودار Eh-pH) مشخص می‌گردد که فلئور در حالت محلول در منابع آبی منطقه به شکل F^- دیده می‌شود.



شکل ۶-۵۳ تغییرات غلظت فلئور در منابع آب

همان‌طور که در شکل ۶-۵۴ مشاهده می‌شود، منابع آبی منطقه نسبت به کانی‌های حاوی فلئوئور، در حد زیر اشباع قرار دارند.



شکل ۶-۵۳ نمودار Eh-pH مربوط به فلئوئور (Takeno., 2005)

شکل ۶-۵۴ شاخص اشباع‌شدگی مربوط به برخی کانی‌های حاوی فلئوئور در منابع آب

۶-۸ منشأیابی برخی عناصر محلول در آب با استفاده از روش تعادل جرمی

هدف از استفاده از روش تعادل جرمی به دست آوردن خاستگاه آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آب است. این روش برای تعیین منشأ مواد محلول موجود در آب که خاستگاه نامشخصی دارند، بسیار سودمند است. در این روش به جز مقدار سیلیس که به صورت میلی‌مول بر لیتر بیان می‌شود، غلظت بقیه آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان گرم بر لیتر است. در این روش چند رابطه از اهمیت بیشتری برخوردار است که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

نسبت‌های میان آنیون‌ها و کاتیون‌ها، مقادیر بحرانی این نسبت‌ها، مقادیر این نسبت‌ها در نمونه‌های آب و نتیجه‌گیری به دست آمده از این نسبت‌ها در جداول ۶-۶ و ۶-۷ آمده است. گفتنی است مقادیر به دست

آمده از نسبت‌های میان آنیون‌ها و کاتیون‌ها در منابع آب، توسط نرم افزار WATEVAL محاسبه شده است.

سدیم و کلر: همان‌طور که پیشتر عنوان شد، منشأ کلر در آب بیشتر از کانی‌های تبخیری (به خصوص هالیت) است. اگر میزان سدیم و کلر محلول در آب با هم برابر باشند، نشان‌دهنده این است که منشأ این دو عنصر از انحلال کانی هالیت است. اگر میزان کلر بیشتر از سدیم باشد، از دلایل آن می‌توان به خطا در آنالیز، نرم‌شدگی معکوس، تبادل یونی معکوس و نفوذ شورابه‌ها (به خصوص شورابه‌های نفتی) به منابع آب زیرزمینی اشاره کرد. به طور معمول میزان سدیم در نمونه‌های آب به دلیل انحلال کانی‌های سیلیکاته و تبادل کاتیونی از میزان کلر بیشتر است (Hounslow, 1995). در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه نیز میزان سدیم از کلر بیشتر است.

سولفات و کلسیم: اگر غلظت سولفات و کلسیم با یکدیگر برابر باشد، نشان‌دهنده منشأ ژئیس یا انیدریت برای سولفات و کلسیم محلول در آب است. بالاتر بودن غلظت سولفات نسبت به کلسیم می‌تواند به دلیل اکسیداسیون پیریت، زدایش کلسیم از آب توسط ته‌نشینی کلسیت و یا نرم‌شدگی طبیعی باشد. بیشتر بودن غلظت کلسیم در مقایسه با سولفات نیز نشان‌دهنده این است که منشأ کلسیم در آب از کانی‌های سیلیکاته و کربناته حاوی کلسیم (و نه از سولفات‌های کلسیم) تأمین می‌شود (Hounslow, 1995). همان‌طور که در نمودار استیف مشاهده می‌شود، غلظت سولفات در تمامی نمونه‌ها از غلظت کلسیم بیشتر است.

فصل ششم: بررسی کیفیت منابع آب

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

پارامتر	مقدار	نتیجه گیری
$SiO_2(mmol/l)$	>0.5	احتمال انحلال شیشه آتشفشانی یا آب‌های هیدروترمال
$\frac{HCO_3^-}{SiO_2}$	>10 <5 و >10 <5	هوازدگی کربنات‌ها مبهم هوازدگی سیلیکات‌ها
$\frac{SiO_2}{Na^+ + K^+ - Cl^-}$	>1 <1 و >2 >2	تبادل کاتیون هوازدگی آل‌بیت کانی‌های فرومنیزین
$\frac{Na^+ + K^+ - Cl^-}{Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{2+}}$	<0.18 و >0.12 >0.18 و <0.12	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز هوازدگی غیرمتمم پلاژیوکلاز
$\frac{Na^+}{Na^+ + Cl^-}$	>0.5 = <0.5 ، TDS >500 <0.5 ، TDS <500 <0.5 ، TDS <50	منبع سدیم به جز هالیت، مانند آل‌بیت یا تبادل کاتیون انحلال هالیت منشأ سدیم از آب دریا خطا در آنالیز آب باران
$\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	$\frac{HCO_3^-}{SiO_2} >10$ = <0.5 >0.5 $\frac{HCO_3^-}{SiO_2} <5$ >0.5 <0.5	هوازدگی کربنات‌ها هوازدگی دولومیت هوازدگی همزمان دولومیت و سنگ آهک انحلال دولومیت، ته‌نشینی کلسیت، یا آب دریا هوازدگی سیلیکات‌ها کانی‌های فرومنیزین هوازدگی سنگ‌های گرانیتی
$\frac{Ca^{2+}}{Ca^{2+} + SO_4^{2-}}$	$=0.5$ <0.5 ، pH <5.5 خنثی، pH <0.5 >0.5	انحلال ژپس اکسیداسیون پیریت زدایش کلسیم - تبادل یون یا ته‌نشینی کلسیت منبع کلسیم غیر از ژپس، مانند کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها
$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{SO_4^{2-}}$	<0.12 و >0.18	دولومیتی شدن
$\frac{Cl^-}{sumAnions}$	>0.18 ، TDS >500 >0.18 ، TDS <100 <0.18	آب دریا، شورابه، یا تبخیری‌ها آب باران هوازدگی سنگ‌ها
$\frac{HCO_3^-}{sumanions}$	>0.18 <0.18 سولفات بالا >0.18 سولفات پایین	هوازدگی سیلیکات‌ها یا کربنات‌ها انحلال ژپس آب دریا یا شورابه

جدول ۶-۷ تعیین منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های آب به روش تعادل جرمی

پارامتر	Q1		Q2		Q3		W1		W2	
SiO ₂	۱/۰۸	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۳۱	-	۰/۸۷	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۹۴	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۸۸	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی
HCO ₃ /SiO ₂	۵/۰۲	-	۷/۵۲	-	۲/۰۹	هوازدگی سیلیکات	۳/۶۶	هوازدگی سیلیکات	۲/۳	هوازدگی سیلیکات
SiO ₂ /Na+K-Cl	۰/۰۸	تبادل کاتیون	۰/۰۳	تبادل کاتیون	۰/۰۶	تبادل کاتیون	۰/۰۵	تبادل کاتیون	۰/۰۳	تبادل کاتیون
Na+K-Cl/ Na+K-Cl+Ca	۰/۹۶	هوازدگی غیر- محتمل پلاژیوکلاز	۰/۸۴	هوازدگی غیر- محتمل پلاژیوکلاز	۰/۶۵	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۸۵	هوازدگی غیر- محتمل پلاژیوکلاز	۰/۷۱	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز
Na/Na+Cl	۰/۷۷	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۶۶	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۵۸	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۵۹	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۶	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون
Mg/Mg+Ca	۰/۵۷	-	۰/۳۷	-	۰/۴۱	هوازدگی سنگهای گرانیتی	۰/۵۳	هوازدگی کانیهای فرومنیزین	۰/۳۲	هوازدگی سنگهای گرانیتی
Ca/Ca+SO ₄	۰/۰۹	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۲۲	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۳۳	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۱۹	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۳۱	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت
Ca+Mg/SO ₄	۰/۲	دولومیتی شدن غیرمحتمل	۰/۵	دولومیتی شدن غیرمحتمل	۰/۸	احتمالاً دولومیتی شدن	۰/۶	دولومیتی شدن غیرمحتمل	۰/۷	دولومیتی شدن غیرمحتمل
Cl/sum anions	۰/۲۶	هوازدگی سنگها	۰/۴	هوازدگی سنگها	۰/۵۴	هوازدگی سنگها	۰/۴۹	هوازدگی سنگها	۰/۵۳	هوازدگی سنگها
HCO ₃ /sum anions	۰/۲۴	انحلال ژپس	۰/۰۹	انحلال ژپس	۰/۰۳	انحلال ژپس	۰/۰۶	انحلال ژپس	۰/۰۲	انحلال ژپس

ادامه جدول ۶-۷ تعیین منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های آب به روش تعادل جرمی

پارامتر	W3		W4		W5		W6		W7	
SiO ₂	۰/۸۲	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۶۱	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۸۶	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۵۶	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۵۳	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی
HCO ₃ /SiO ₂	۳/۰۱	هوازدگی سیلیکات	۳/۶۱	هوازدگی سیلیکات	۲/۰۷	هوازدگی سیلیکات	۵/۲	هوازدگی سیلیکات	۴/۰۷	هوازدگی سیلیکات
SiO ₂ /Na+K-Cl	۰/۰۲	تبادل کاتیون	۰/۰۳	تبادل کاتیون	۰/۰۴	تبادل کاتیون	۰/۰۳	تبادل کاتیون	۰/۰۳	تبادل کاتیون
Na+K-Cl/ Na+K-Cl+Ca	۰/۱۶	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۱۶۵	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۱۷۶	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۱۷۷	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۱۷۶	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز
Na/Na+Cl	۰/۵۶	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۵۸	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۱۶	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۶۱	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۶۱	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون
Mg/Mg+Ca	۰/۳	هوازدگی سنگهای گرانیتی	۰/۲۹	هوازدگی سنگهای گرانیتی	۰/۴	هوازدگی سنگهای گرانیتی	۰/۵۲	هوازدگی کانیهای فرومنیزین	۰/۵۲	هوازدگی کانیهای فرومنیزین
Ca/Ca+SO ₄	۰/۳۶	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۳۵	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۲۹	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۲۵	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۲۵	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت
Ca+Mg/SO ₄	۰/۸	احتمالاً دولومیتی شدن	۰/۸	احتمالاً دولومیتی شدن	۰/۷	دولومیتی شدن غیرمحتمل	۰/۷	دولومیتی شدن غیرمحتمل	۰/۷	دولومیتی شدن غیرمحتمل
Cl/sum anions	۰/۵۸	هوازدگی سنگها	۰/۵۴	هوازدگی سنگها	۰/۵۲	هوازدگی سنگها	۰/۴۷	هوازدگی سنگها	۰/۴۷	هوازدگی سنگها
HCO ₃ /sum anions	۰/۰۱	انحلال ژپس	۰/۰۲	انحلال ژپس	۰/۰۳	انحلال ژپس	۰/۰۵	انحلال ژپس	۰/۰۵	انحلال ژپس

ادامه جدول ۶-۷ تعیین منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های آب به روش تعادل جرمی

پارامتر	W8		W9		W10		W11	
SiO ₂	۰/۵۴	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۵۳	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۸	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۷	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی
HCO ₃ /SiO ₂	۳/۹۸	هوازدگی سیلیکات	۴/۲۱	هوازدگی سیلیکات	۲/۴۳	هوازدگی سیلیکات	۲/۸۱	هوازدگی سیلیکات
SiO ₂ /Na+K-Cl	۰/۰۵	تبادل کاتیون	۰/۰۴	تبادل کاتیون	۰/۰۳	تبادل کاتیون	۰/۰۳	تبادل کاتیون
Na+K-Cl/ Na+K-Cl+Ca	۰/۷۸	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۷۷	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۷۲	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۶۴	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز
Na/Na+Cl	۰/۱۶	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۶۱	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۵۹	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۵۷	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون
Mg/Mg+Ca	۰/۵۲	هوازدگی کانیه‌ای فرومنیزین	۰/۴۹	هوازدگی سنگهای گرانیتی	۰/۳۵	هوازدگی سنگهای گرانیتی	۰/۳۴	هوازدگی سنگهای گرانیتی
Ca/Ca+SO ₄	۰/۲۲	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۲۶	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۲۹	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۳۳	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت
Ca+Mg/SO ₄	۰/۱۶	دولومیتی شدن غیرمحمتمل	۰/۷	دولومیتی شدن غیرمحمتمل	۰/۱۶	دولومیتی شدن غیرمحمتمل	۰/۷	دولومیتی شدن غیرمحمتمل
Cl/sum anions	۰/۴۶	هوازدگی سنگها	۰/۴۸	هوازدگی سنگها	۰/۵۴	هوازدگی سنگها	۰/۵۵	هوازدگی سنگها
HCO ₃ /sum anions	۰/۰۵	انحلال ژپیس	۰/۰۴	انحلال ژپیس	۰/۰۲	انحلال ژپیس	۰/۰۱	انحلال ژپیس

ادامه جدول ۶-۷ تعیین منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های آب به روش تعادل جرمی

پارامتر	R1		R2		R3		Sp	
SiO ₂	۰/۷۳	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۷	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۷۸	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمابی	۰/۳۸	-
HCO ₃ /SiO ₂	۳/۳۶	هوازدگی سیلیکات	۲/۸۷	هوازدگی سیلیکات	۳/۱۴	هوازدگی سیلیکات	۲/۴۶	هوازدگی سیلیکات
SiO ₂ /Na+K-Cl	۰/۰۴	تبادل کاتیون	۰/۰۴	تبادل کاتیون	۰/۰۵	تبادل کاتیون	۰/۷۹	تبادل کاتیون
Na+K-Cl/ Na+K-Cl+Ca	۰/۶۹	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۷	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۶۲	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز	۰/۷۹	هوازدگی احتمالی پلاژیوکلاز
Na/Na+Cl	۰/۵۹	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۵۸	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۵۶	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون	۰/۶۷	انحلال هالیت، هوازدگی آلبیت یا تبادل یون
Mg/Mg+Ca	۰/۴۴	هوازدگی سنگهای گرانیته	۰/۴۶	هوازدگی سنگهای گرانیته	۰/۴۵	هوازدگی سنگهای گرانیته	۰/۲	هوازدگی سنگهای گرانیته
Ca/Ca+SO ₄	۰/۳۱	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۲۹	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۳۲	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت	۰/۳	زدایش کلسیم توسط تبادل کاتیون یا رسوبگذاری کلسیت
Ca+Mg/SO ₄	۰/۸	احتمالاً دولومیتی شدن	۰/۸	احتمالاً دولومیتی شدن	۰/۸	احتمالاً دولومیتی شدن	۰/۶	دولومیتی شدن غیرمحتمل
Cl/sum anions	۰/۵۲	هوازدگی سنگها	۰/۵۲	هوازدگی سنگها	۰/۵۳	هوازدگی سنگها	۰/۴۴	هوازدگی سنگها
HCO ₃ /sum anions	۰/۰۳	انحلال ژیپس	۰/۰۲	انحلال ژیپس	۰/۰۳	انحلال ژیپس	۰/۰۲	انحلال ژیپس

۹-۶ انجام آزمون فیشر بر روی نمونه‌های رسوب و آب منطقه

قبل از توضیح و چگونگی انجام این آزمون به تعریف برخی از مسائل ساده آماری پرداخته می‌شود:

واریانس: میانگین مجذور به دست آمده از اختلاف مقدار نمونه از میانگین بخش بر کل نمونه‌ها منتهای یک.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{فرمول ۲-۶}$$

در این رابطه x_i مقدار غلظت یک عنصر در نمونه، \bar{x} متوسط میزان همان عنصر در کل نمونه‌ها و n تعداد نمونه‌ها است.

انحراف معیار: گرچه واریانس تا حد قابل توجهی تغییرپذیری را نشان می‌دهد، ولی واحد آن مجذور واحد متغیر مورد نظر است. به عنوان مثال اگر متغیر مورد مطالعه ضخامت باشد، واریانس بر حسب m^2 خواهد بود که نامأنوس است. برای رفع این اشکال جذر واریانس را به کار می‌برند و آن را انحراف معیار می‌خوانند.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{فرمول ۳-۶}$$

درجه آزادی: در بررسی‌های آماری، درجه آزادی عبارت از تعداد مقایسه‌های مستقلی است که در بین مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها می‌توان انجام داد. به عنوان مثال اگر n تعداد اندازه‌گیری داشته باشیم، درجه آزادی برابر $n-1$ خواهد بود.

آزمون فیشر: در آزمون فیشر فقط واریانس دو سری از داده ها با هم مقایسه می شوند. به این ترتیب که ابتدا F_c (بحرانی) حساب می شود (حسنی پاک ۱۳۸۰):

$$F_c = \frac{\sigma^2(X_1)}{\sigma^2(X_2)} \quad \text{فرمول ۴-۶ (حسنی پاک ۱۳۸۰) به فرض } \sigma^2(X_2) < \sigma^2(X_1)$$

در این رابطه $\sigma^2(X_1)$ واریانس مجموعه اول و $\sigma^2(X_2)$ واریانس مجموعه دوم است. سپس به ازای درجه آزادی و سطح اعتماد مطلوب، مقدار F_t از جدول فیشر (پیوست ۱) به دست می آید. حال با مقایسه F_t و F_c ، دو حالت ممکن است پیش آید:

الف- اختلاف بین دو سری اندازه گیری در سطح اعتمادی که به ازای آن F_t از جدول استخراج شده، بی اهمیت است. در این صورت باید داشته باشیم: $F_t > F_c$

ب- اختلاف بین دو سری اندازه گیری در سطح اعتمادی که به ازای آن F_t از جدول استخراج شده، با اهمیت است. در این صورت باید داشته باشیم: $F_c > F_t$

در حالت نخست، اختلاف بین دو سری اندازه گیری را می توان به خطاهای تصادفی نسبت داد، ولی در مورد دوم اختلاف مقادیر اندازه گیری شده بیش از آن حدی است که بتوان آن را در سطح اعتماد معینی معلوم فقط از منشأ خطاهای تصادفی دانست، بلکه وجود یک خطای سیستماتیک الزامی است (حسنی پاک ۱۳۸۰).

گفتنی است آزمون فیشر به شکلی که در بالا آمده است تنها در مواردی استفاده می شود که جنس و واحد هر دو محیط با یکدیگر برابر باشد. همان طور که می دانیم غلظت عناصر موجود در آب و رسوبات چه از نظر محیط و چه از نظر واحد، با یکدیگر متفاوت است. تقریباً در همه شرایط، غلظت عناصر موجود در رسوبات بیش از ده ها برابر غلظت آن ها در منابع آب است. برای مقایسه این دو محیط، ابتدا بایستی

مقادیر عناصر موجود در نمونه‌های آب و رسوبات را نرمال کرد. نرمال کردن داده‌ها از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$N_1 = \frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma}$$

فرمول ۵-۶

در این رابطه N_1 مقدار نرمال داده شماره ۱، x_1 مقدار اصلی داده شماره ۱، \bar{x} میانگین مجموع داده‌ها و σ انحراف معیار داده‌ها است. نرمال کردن داده‌ها بایستی برای تمامی عناصر و نمونه‌های آب و رسوب انجام شود. پس از این که تمامی عناصر از طریق رابطه ۵-۶ نرمال شدند، آن‌گاه بایستی مقادیر نرمال شده را وارد قدر مطلق کرد تا همه اعداد مثبت شوند. پس از این مرحله می‌توانیم واریانس هر کدام از عناصر را به دست آوریم و آزمون فیشر را بر روی آن‌ها انجام دهیم. همان‌طور که در جدول فیشر (پیوست ۱) آمده است، اعداد به دست آمده از تست فیشر (F_c) نباید از ۲/۳۱ بزرگتر باشند. به این معنا که بزرگتر بودن F_c از ۲/۳۱ نشان‌دهنده نبود رابطه مشخص میان ترکیبات موجود در رسوبات و آب‌های منطقه است. لازم به ذکر است که هر چه عدد به دست آمده از آزمون فیشر به یک نزدیک‌تر باشد، آن عنصر در دو محیط رابطه نزدیک‌تری دارد. همان‌طور که در جدول ۶-۸ مشاهده می‌شود، مقادیر آزمون فیشر (F_c) در تمامی عناصر کمتر از ۲/۳۱ است و از این مسئله می‌توان به وجود رابطه نزدیک میان ترکیب رسوبات و ترکیب آب پی برد. به لحاظ منطقی، هر چه عدد به دست آمده از آزمون فیشر به ۱ نزدیک‌تر باشد، احتمال وجود یک منشأ متمرکز در رسوبات و آب برای هر عنصر بیشتر است.

جدول ۶-۸ مقادیر واریانس نرمال شده برخی عناصر موجود در آب و رسوبات به همراه مقادیر مربوط به آزمون فیشر

عناصر	Al	As	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mo	Na	S	V	Zn	F
واریانس (رسوبات)	۰/۴۹۵۳	۰/۴۳۲۹	۰/۵۱۵۵	۰/۴۶۸۱	۰/۶۰۲۲	۰/۵۱۷۶	۰/۴۶۳۱	۰/۵۳۷	۰/۴۰۴۷	۰/۵۱۷۵	۰/۵۶۹۲	۰/۵۸۵۹	۰/۵۹۳۸	۰/۵۷۴۱
واریانس (آب)	۰/۴۰۸۸	۰/۲۵۸۶	۰/۳۴۹۹	۰/۴۶۰۸	۰/۷۷	۰/۲۹۵۸	۰/۲۹۸۱	۰/۳۹۵۱	۰/۴۷۹۱	۰/۳۶۰۸	۰/۳۶۶	۰/۳۶۸۶	۰/۶۹۸۴	۰/۲۵۸۸
Fc	۱/۲۱۱۶	۱/۶۷۴۱	۱/۴۷۳۱	۱/۰۱۵۹	۱/۲۷۸۶	۱/۷۴۹۹	۱/۵۵۳۵	۱/۳۵۹۴	۱/۱۸۴۱	۱/۴۳۴۳	۱/۵۵۵۵	۱/۵۸۹۲	۱/۱۷۶۱	۲/۲۱۷۹

فصل هفتم

زمین‌پزشکی منطقه

۷-۱ مقدمه

کاهش یا افزایش عناصر ضروری در بدن موجودات زنده باعث آسیب‌هایی به بخش‌های مختلف بدن آنان می‌شود. فلئوئور یک عنصر ضروری برای بدن است ولی افزایش این عنصر از مقادیر مجاز باعث آسیب به برخی اندام‌های بدن به خصوص دندان‌ها و استخوان، می‌شود. علاوه بر این، کمبود این عنصر در بدن نیز می‌تواند مشکلات فراوانی را ایجاد کند. یکی از مهمترین منابع فلئوئور در بدن انسان، غلظت این عنصر در آب آشامیدنی است اما باید توجه داشت که منابع دیگری نیز وجود دارند که به طور روزانه می‌توانند محتوای فلئوئور موجود در بدن را افزایش دهند (جدول ۷-۱). به دلیل بالا بودن غلظت فلئوئور در برخی منابع آب منطقه و مشاهده عوارض سوء ناشی از حضور بیش از حد مجاز فلئوئور در محیط، بررسی تأثیر این عنصر بر روی سلامت ساکنین منطقه (به خصوص کودکان و نوجوانان) ضرورت یافت. در این فصل از طریق بررسی‌های آماری بیماری فلوروسیس و محاسبه شاخص‌های شیوع بیماری در منطقه به مطالعه تأثیرات افزایش فلئوئور بر سلامت مردم منطقه پرداخته شده است.

جدول ۷-۱ محتوای فلئوئور در برخی از مواد غذایی (Ensminger et al, 1994)

فلئوئور	جلبک دریایی	چای	ماهی	میگو	گندم	خرچنگ	پنیر	جوجه	کره	سویا	تخم مرغ	گوشت گوساله	گوشت بره	اسفناج	جعفری
منبع	۳۲۶	۳۲	۱۱	۴/۵	۲/۴	۲/۲	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۰/۹

۷-۲ مقایسه مقادیر فلئوئور در منابع آب با استانداردهای تعیین شده

سازمان‌ها و نهادهای مختلف برای حد مجاز فلئوئور در آب آشامیدنی مقادیر متفاوتی را ارائه کرده‌اند. از آن جمله می‌توان به استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008)، ۱/۵ppm و آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA, 2005)، ۲ppm اشاره کرد. البته لازم به یادآوری است که استانداردهای تعیین شده توسط سازمان‌های نامبرده اغلب برای شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی

است و مناطق با اقلیم گرم و خشک در نظر گرفته نشده‌اند. از این رو اداره استاندارد ایران بسته به دمای متوسط هر منطقه از ایران، استاندارد به خصوصی را در نظر گرفته است. طبق ویرایش سال ۱۳۷۶ این سازمان، مقادیر استاندارد فلئور در آب آشامیدنی بسته به اقلیم منطقه، از ۰/۷-۱/۲ ppm متغیر بوده که در جدول ۲-۷ آمده است. همانطور که در فصل‌های گذشته نیز به آن اشاره شد، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم گرم و خشک است و دمای متوسط آن ۲۲/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. باید توجه داشت که ارقام مربوط به دما در جدول ۲-۷ مربوط به متوسط سالیانه حداکثر دما در روز بوده که این میزان برای منطقه مورد مطالعه ۲۸/۱ درجه سانتیگراد است. لذا حداکثر غلظت فلئور مجاز تعیین شده توسط اداره استاندارد ایران در این دما ۰/۸ ppm است.

جدول ۲-۷ حدود مجاز فلئور در آب آشامیدنی (استاندارد ۱۰۵۳ ایران)

میانگین حداکثرهای دمای روزانه در سال (°C)	حداقل لازم (ppm)	مقدار مجاز (ppm)	حداکثر لازم (ppm)
۱۰_۱۲	۰/۹	۱/۲	۱/۷
۱۲_۱۵	۰/۸	۱/۱	۱/۵
۱۵_۱۷	۰/۸	۱	۱/۳
۱۷_۲۱	۰/۸	۰/۹	۱/۲
۲۱_۲۶	۰/۷	۰/۸	۱
۲۶_۳۳	۰/۶	۰/۷	۰/۸

همانطور که در فصل گذشته به آن اشاره شد، غلظت فلئور در منابع آب از بالادست به سمت پایین دست متغیر بوده و تغییرات منظمی را نشان نمی‌دهد. مقادیر فلئور در منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳-۷ آمده است و مقادیر بالاتر از حد مجاز بر طبق استانداردهای قید شده به صورت ضخیم‌تر نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۳-۷ مشاهده می‌شود، مقادیر این عنصر در نمونه‌های Q1، W6، W7، W9 و Q2 بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) است. مقادیر فلئور در سایر نمونه‌های آب نیز به نسبت بالا بوده و مقادیر آن از ۱/۱ ppm بیشتر است. لذا با

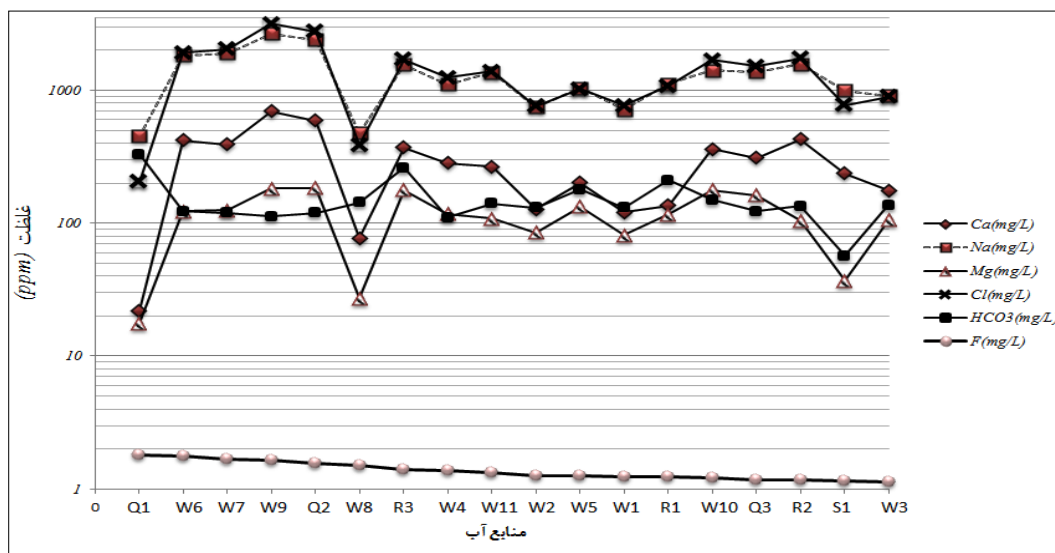
توجه به مقدار مجاز فلئور بر اساس اداره استاندارد ایران، تمام منابع آب منطقه آلوده به فلئور می‌باشند. با توجه به حاکم بودن اقلیم گرم و خشک در منطقه و نیز بالابودن هدایت الکتریکی منبع آب شرب منطقه یعنی قنات Q1 ($2160 \mu\text{s/cm}$) و در نتیجه بالا بودن شوری آن، طبیعی است که مصرف آب در بین مردم منطقه بالاتر از حد معمول باشد. از طرف دیگر، همانطور که عنوان شد فلئور از راه‌های دیگر همچون خوردن غذاهای حاوی فلئور بالا (مانند چای و غذاهای دریایی) نیز می‌تواند وارد بدن انسان شود و اندام‌های هدف را تحت تأثیر خود قرار دهد. با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه و نیز این که منابع آب کشاورزی شوری بسیار بالایی دارند، لذا بایستی از آب بیشتری برای آبیاری محصولات زراعی استفاده کرد. بنابراین انتظار می‌رود که با وجود غلظت نسبتاً بالای فلئور در منابع آب کشاورزی، محصولات کشاورزی، که عمدتاً گندم و جو هستند، نیز حاوی فلئور بالایی باشند. زیرا گندم و جو در مناطق غیرآلوده به فلئور می‌توانند به ترتیب ۴ و ۵/۵ ppm فلئور را در دانه‌های خود جای دهند (میرغفاری و شریعتمداری، ۱۳۸۶، Kabata_Pendias & Mukherjee, 2007). بنابراین با توجه به غلظت بالای فلئور در گندم و با توجه به اینکه بیشتر آرد و نان موجود در منطقه از محصولات زراعی این دشت به دست می‌آید، انتظار می‌رود فلئور بیشتری، از طریق خوردن نان، وارد بدن ساکنین منطقه شود. با توجه به بالا بودن میزان فلئور در منبع آب شرب منطقه (Q1) و نیز بالا بودن غلظت این عنصر در محصولات کشاورزی، آثار سوء حضور بیش از اندازه فلئور در اندام‌های هدف ساکنین منطقه دیده می‌شود.

جدول ۷-۳ مقایسه مقادیر فلئور در منابع آب منطقه با استانداردهای مختلف

	Q1	Q2	Q3	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	R1	R2	R3	Sp
استاندارد (WHO, 2008)	۱/۸۱	۱/۵	۱/۳۷	۱/۲۳	۱/۲۶	۱/۱۳	۱/۳۳	۱/۲۵	۱/۷۸	۱/۶۸	۱/۵۵	۱/۶۴	۱/۱۶	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۱۷	۱/۴	۱/۱۵
استاندارد (EPA, 2006)	۱/۸۱	۱/۵	۱/۳۷	۱/۲۳	۱/۲۶	۱/۱۳	۱/۳۳	۱/۲۵	۱/۷۸	۱/۶۸	۱/۵۵	۱/۶۴	۱/۱۶	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۱۷	۱/۴	۱/۱۵
استاندارد (۱۰۵۳) ایران	۱/۸۱	۱/۵	۱/۴	۱/۲۳	۱/۲۶	۱/۱۳	۱/۳۳	۱/۲۵	۱/۷۸	۱/۶۸	۱/۵۵	۱/۶۴	۱/۱۶	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۱۷	۱/۴	۱/۱۵

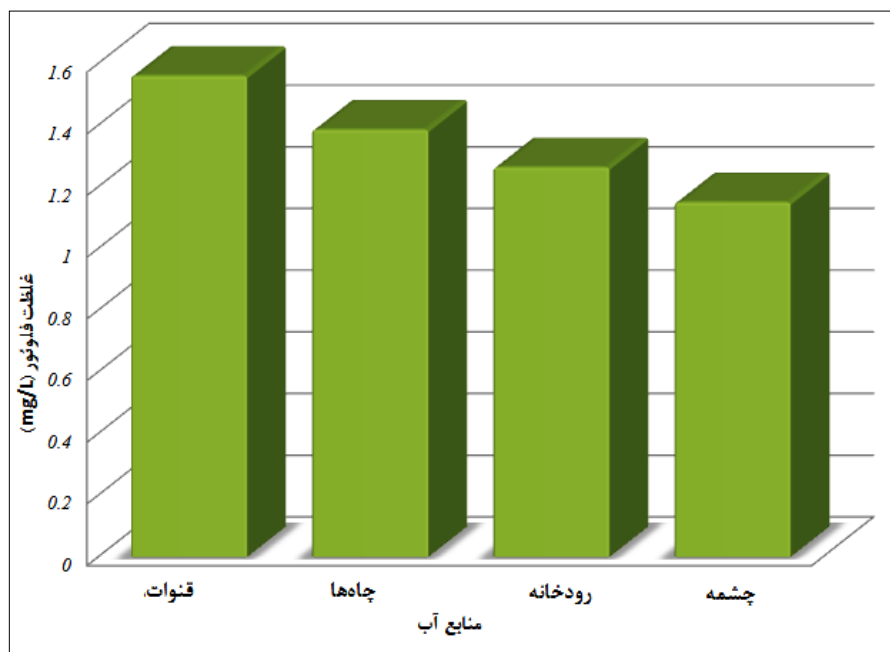
۳-۷ منشأ فلئور در آب

همانطور که در فصل‌های ۵ به آن پرداخته شد، فلئور در بازالت‌های حفره‌دار (PI) و روانه‌های بازالتی-آندزیتی (Kua) به نسبت سایر نمونه‌های سنگی بالاتر بودند. از طرفی همبستگی بالای فلئور با فسفات نشان‌دهنده این است که منشأ فلئور موجود در نمونه‌های سنگی و رسوبات آبراهه‌ای از کانی‌های فسفات‌دار حاوی فلئور مانند فلئورآپاتیت ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$) تأمین می‌شود. با توجه به تمرکز واحدهای سنگی مذکور در بالادست حوضه، انتظار می‌رود که منبع آب موجود در این بخش از حوضه (Q1) حاوی فلئور بالایی باشد. در شکل ۱-۷ رابطه غلظت فلئور در منابع آب منطقه با مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب سنجیده شده است. در این شکل غلظت فلئور به ترتیب کمتر می‌شود و نمودار آن نزولی طراحی گردیده است. همانطور که از این شکل و مباحث گفته شده در مورد همبستگی عناصر در فصل پیشین برمی‌آید، فلئور هیچ‌گونه رابطه معناداری با آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی محلول در آب نشان نمی‌دهد.



شکل ۱-۷ مقایسه تغییرات غلظت فلئور با برخی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در منابع آب

همچنین در شکل ۲-۷ متوسط غلظت فلئور در منابع آب به تفکیک قنوات، چاه‌ها، رودخانه و چشمه آمده است. همان طور که از شکل ۲-۷ برمی‌آید، متوسط غلظت در قنوات بیشتر از سایر منابع آبی موجود در منطقه است.



شکل ۲-۷ متوسط غلظت فلئور در منابع آب به تفکیک قنوات، چاه‌ها، رودخانه و چشمه

۴-۷ تأثیرات سوء مصرف بیش از اندازه فلئور در ساکنین منطقه

جهت تعیین اثرات سوء مصرف بیش از اندازه فلئور، کروم و آرسنیک از دانش‌آموزان مدارس ابتدایی و راهنمایی روستاهای طبسین، بندان و چاه‌شند در مورد داشتن بیماری‌های خاص مانند بیماری‌های قلبی، عقب‌ماندگی، انواع سرطان، بیماری‌های کلیوی و بیماری‌های دندانی و استخوانی پرسیده شد. علاوه بر این، از دانش‌آموزان و سایر افراد ساکن در محل در مورد میزان رضایت آنها از منبع آب شرب (قنات Q1) پرس و جو به عمل آمد. نمونه پرسشنامه استفاده شده جهت کسب اطلاعات از مردم روستاها در جدول ۴-۷ آورده شده است.

جدول ۷-۴ نمونه‌ای از پرسشنامه تکمیل شده توسط دانش‌آموزان منطقه

نام و نام خانوادگی:
جنسیت: مرد <input type="checkbox"/> ، زن <input type="checkbox"/>
سن:
نام مدرسه:
پیش از قنات جنگ‌چاه از کدام منبع آبی استفاده می‌کردید؟
از منبع آب شرب حاضر رضایت دارید؟ بله <input type="checkbox"/> ، تاحدودی <input type="checkbox"/> ، خیر <input type="checkbox"/>
شدت فلوروسیس دندان: عادی <input type="checkbox"/> ، پرسش‌برانگیز <input type="checkbox"/> ، خیلی خفیف <input type="checkbox"/> ، خفیف <input type="checkbox"/> ، متوسط <input type="checkbox"/> ، شدید <input type="checkbox"/>
فلوروسیس استخوانی: دارد <input type="checkbox"/> ، ندارد <input type="checkbox"/>
آرسنیکوسیس: دارد <input type="checkbox"/> ، ندارد <input type="checkbox"/>
سایر بیماری‌ها: انواع سرطان <input type="checkbox"/> ، بیماری‌های قلبی <input type="checkbox"/> ، بیماری‌های عصبی <input type="checkbox"/> ، بیماری‌های تنفسی <input type="checkbox"/> ، بیماری‌های گوارشی <input type="checkbox"/> ، سایر

بررسی‌ها نشان دادند که به جز بیماری‌های دندان‌ی و احتمالاً استخوانی، سایر بیماری‌های گفته شده در بین مردم شیوع چندانی ندارد. لذا به منظور بررسی دقیق‌تر میزان شیوع بیماری‌های دندان‌ی، به منظور تعیین اثرات سوء مصرف بیش از اندازه فلوئور در ساکنین منطقه، از دندان‌های گروهی از افراد با سن ۱۶-۷ سال که همگی در مقاطع دبستان و راهنمایی تحصیل می‌کردند پس از به عمل آمدن معاینه، عکس برداری شد. این افراد از مدارس ابتدایی و راهنمایی روستاهای بندان، طبسین و چاه‌شند انتخاب شدند. در مجموع فلوروسیس دندان‌ی ۲۱۰ دانش‌آموز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. از این تعداد، ۹۰ نفر دختر و ۱۲۰ نفر را پسر تشکیل می‌دادند.

برای اندازه‌گیری درجه فلوروسیس دندان‌های شاخص Dean استفاده شد. همانطور که در فصل ۳ به آن اشاره شد، در این شاخص بر مبنای شدت تغییر رنگ در دندان‌های پیش، شدت فلوروسیس را به شش دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از: ۰ (عادی، ۱) پرسش برانگیز، ۲) خیلی خفیف، ۳) خفیف، ۴) پیشرفته و ۵) شدید. در حالت عادی (درجه ۰) سطح دندان‌ها کاملاً سفید بوده و هیچ گونه تیرگی در آن دیده نمی‌شود. در حالت پرسش برانگیز (درجه ۱) سطح دندان‌ها اندکی کدر شده و با دقت فراوان می‌توان به آن پی برد. در حالت خیلی خفیف (درجه ۲) کمتر از ۲۵٪ از سطح دندان‌ها کدر شده و می‌توان به راحتی آن را تشخیص داد. در حالت خفیف (درجه ۳) کمتر از ۵۰٪ از سطح دندان‌ها کدر می‌شود. در حالت متوسط (سطح ۴) بیش از ۵۰٪ از سطح دندان‌ها کدر شده و خطوط قهوه‌ای رنگ بر روی سطح دندان کاملاً آشکار است. در حالت شدید تقریباً تمامی سطح دندان‌ها تغییر رنگ داده و علاوه بر این خرابی دندان نیز در فرد مشاهده می‌شود. در شکل ۳-۷ نمونه‌ای از درجات مختلف فلوروسیس دندان‌های در منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص دین آمده است. در جدول ۴-۷ و ۵-۷ و نیز در شکل ۴-۷ و ۵-۷ نمودار مربوط به شدت فلوروسیس به تفکیک سن و جنسیت آمده است. همانطور که از جداول ۴-۷ و ۵-۷ و شکل‌های ۴-۷ و ۵-۷ نیز برمی‌آید، شدت فلوروسیس در سنین بالاتر و جنس مذکور به شکل معنی داری بالاتر است. دلیل افزایش شدت فلوروسیس دندان‌ها با افزایش سن، به علت تجمع فلئور و افزایش غلظت آن در طی زمان در بدن می‌باشد. این مسئله در تحقیقات پیشین نیز به اثبات رسیده است (Soto-Rojas and Urena, 2007). Buzalaf and Kobayashi., 2004. Cirett., 2004. در مورد افزایش شدت فلوروسیس در جنس مذکر نیز باید این چنین عنوان داشت که به دلیل فعالیت بدنی بیشتر پسرها نسبت به دخترها، مصرف آب در آن‌ها نیز بالاتر است، بنابراین در یک سن مشخص، میزان فلئور ورودی به بدن در شبانه روز در جنس مذکر بیشتر است که این امر باعث افزایش شدت فلوروسیس دندان‌ها در آنها می‌شود. نتایج نشان می‌دهند

(جدول ۶-۷) که فلوروسیس شدید تنها در گروه سنی ۱۶-۱۳ سال دیده می‌شود و فلوروسیس خیلی خیلی خفیف بیشترین شیوع را در کل افراد با سن ۱۶-۷ دارد.



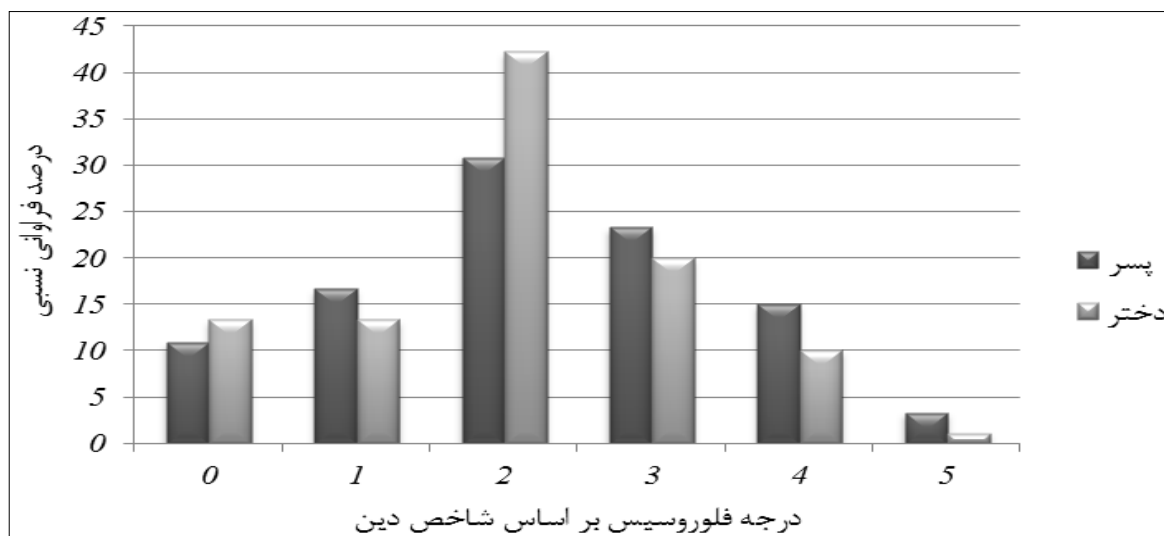
شکل ۳-۷ فلوروسیس دندانی با شدت‌های مختلف در مردم منطقه

جدول ۵-۷ شیوع فلوروسیس دندان‌ی در دانش‌آموزان ۱۶-۷ ساله منطقه به تفکیک جنسیت

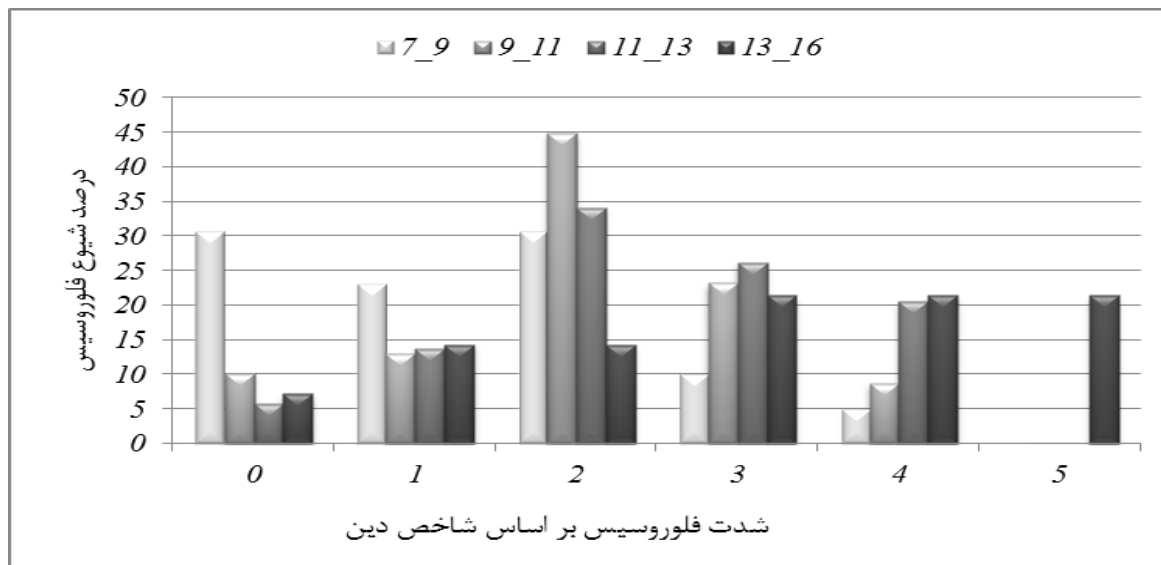
کل		دختر						پسر			
فراوانی × درجه فلوروسیس	درصد فراوانی نسبی	فراوانی	درجه فلوروسیس	فراوانی × درجه فلوروسیس	درصد فراوانی نسبی	فراوانی	درجه فلوروسیس	فراوانی × درجه فلوروسیس	درصد فراوانی نسبی	فراوانی	درجه فلوروسیس
۰	۱۱/۹	۲۵	۰	۰	۱۳/۳۳	۱۲	۰	۰	۱۰/۸۳	۱۳	۰
۳۲	۱۵/۲۴	۳۲	۱	۱۲	۱۳/۳۳	۱۲	۱	۲۰	۱۶/۶۷	۲۰	۱
۱۵۰	۳۵/۷۱	۷۵	۲	۷۶	۴۲/۲۲	۳۸	۲	۷۲	۳۰/۸۳	۳۷	۲
۱۳۸	۲۱/۹	۴۶	۳	۵۴	۲۰	۱۸	۳	۸۴	۲۳/۳۳	۲۸	۳
۱۱۶	۱۳/۸۱	۲۹	۴	۳۶	۱۰	۹	۴	۸۰	۱۵	۲۰	۴
۱۵	۱/۴۳	۳	۵	۵	۱/۱۱	۱	۵	۱۰	۳/۳۳	۲	۵
۴۵۱	۱۰۰	۲۱۰	-	۱۸۳	۱۰۰	۹۰	-	۲۶۶	۱۰۰	۱۲۰	-

جدول ۶-۷ شیوع فلوروسیس دندان‌ی در دانش‌آموزان ۱۶-۷ ساله منطقه به تفکیک سن

جمعیت کل	درصد شیوع فلوروسیس						سن به سال
	۵	۴	۳	۲	۱	۰	
۳۹	-	۵.۱۲۸۲۱	۱۰.۲۵۶۴	۳۰.۷۶۹۲	۲۳.۰۷۶۹	۳۰.۷۶۹۲	۷_۹
۶۹	-	۸.۶۹۵۶۵	۲۳.۱۸۸۴	۴۴.۹۲۷۵	۱۳.۰۴۳۵	۱۰.۱۴۴۹	۹_۱۱
۸۸	-	۲۰.۴۵۴۵	۲۶.۱۳۶۴	۳۴.۰۹۰۹	۱۳.۶۳۶۴	۵.۶۸۱۸۲	۱۱_۱۳
۱۴	۲۱.۴۲۸۶	۲۱.۴۲۸۶	۲۱.۴۲۸۶	۱۴.۲۸۵۷	۱۴.۲۸۵۷	۷.۱۴۲۸۶	۱۳_۱۶
۲۱۰	۱.۴۲۸	۱۳.۸۱	۲۱.۹۰۵	۳۶.۱۹	۱۵.۲۳۸	۱۲.۳۸۱	۷_۱۶



شکل ۴-۷ درصد فراوانی نسبی فلوروسیس بر مبنای جنسیت



شکل ۷-۵ نمودار درصد شیوع فلوروسیس به تفکیک سن

لازم به ذکر است که قنات جنگ‌چاه (Q1) که در بالادست منطقه مورد مطالعه قرار دارد، از سال ۱۳۷۸ تحت پوشش اداره آب و فاضلاب استان خراسان قرار گرفته و از آن زمان به بعد، ساکنین منطقه از آب این قنات به منظور استفاده شرب از طریق شیرهای برداشت، بهره می‌برند. طی پرس و جوهای به عمل آمده مشخص شد که بیشتر مردم منطقه از کیفیت آب این قنات به لحاظ طعم و مزه رضایت دارند و همانطور که در فصل پیشین به آن اشاره شد، کیفیت آب این قنات از نظر میزان آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول، نسبت به سایر منابع آب بسیار بهتر است. لازم به ذکر می‌باشد که با توجه به مقایسه مقادیر پارامترهای مختلف در آب این قنات با مقادیر مجاز استاندارد، آب این قنات به سولفات، آرسنیک و بور نیز آلوده می‌باشد. به منظور استفاده از آب برای مصارف بهداشتی نیز مردم منطقه از چاه آب بهداشتی (W1) به صورت لوله‌کشی استفاده می‌کنند. که این چاه نیز در بین سایر منابع آب EC کمتری ($4360 \mu\text{s/cm}$) دارد. قبل از تحت پوشش قرار گرفتن قنات جنگ‌چاه، اغلب ساکنین منطقه به منظور استفاده از آب شرب، از آب قنات چاه‌شند (Q2) استفاده می‌کردند. همانطور که در گذشته نیز عنوان شد، غلظت فلئور در این قنات نیز بالاتر از استاندارد ($1/54 \text{ ppm}$) است. بنابراین فلوروسیس دندانی در بسیاری از افراد با

سنین بالاتر نیز به چشم می خورد. همانطور که ملاحظه می شود، درجه فلوروسیس بیشتر به صورت درجه ۲ یا بسیارخفیف در منطقه دیده شده و پس از آن، درجه های ۳، ۴، ۵ و به ترتیب بیشترین گسترش را در بین دانش آموزان منطقه دارند. برای تعیین میزان شیوع فلوروسیس در سنین مختلف و مقایسه آن ها با یکدیگر از شاخص میزان فلوروسیس (FCI^{۱۸}) که از رابطه زیر به دست می آید، استفاده شد.

$$FCI = \frac{\text{مجموع (فراوانی} \times \text{درجه فلوروسیس)}}{\text{مجموع نمونه ها}}$$

فرمول ۷-۱ (عراقی زاده و همکاران، ۱۳۸۳)

همانطور که از جدول ۷-۷ برمی آید، شاخص میزان فلوروسیس (FCI)، با افزایش سن به شکل معناداری افزایش می یابد. به طوری که این میزان شاخص در گروه سنی ۱۶-۱۳ سال تقریباً پنج برابر گروه سنی ۹-۷ سال می باشد.

جدول ۷-۷ میزان FCI در سنین مختلف

شاخص میزان فلوروسیس (FCI)	شیوع فلوروسیس درجات ۳، ۴، ۵ (درصد)	سن
۰/۵۱۳	۱۵/۳۸	۷_۹
۱/۰۴۳	۳۱/۸۸	۹_۱۱
۱/۶۰۲	۴۶/۵۹	۱۱_۱۳
۲/۵۷۱	۶۴/۲۶	۱۳_۱۶

¹⁸ Fluorosis Community Index

نتایج حاصل نشان می‌دهد که شدت فلوروسیس دندانی، به نسبت محتوای فلوئور موجود در آب شرب (Q1)، از حد انتظار و نیز از مطالعات مشابه صورت گرفته در سایر نقاط زمین (Levy, 2003. Fewtrell et al, 2006. etc) بیشتر است. دلیل این امر همانطور که پیشتر عنوان شد، اقلیم گرم و خشک منطقه، بالا بودن محتوای فلوئور در نان تهیه شده از گندم با غلظت فلوئور بالا (زیرا همانطور که بیان شد، آبی که گندم را با آن آبیاری می‌کنند نیز حاوی مقادیر بالایی فلوئور است)، نوشیدن زیاد چای (چای دم کرده در آب مقطر حاوی حدود ۲ppm فلوئور است) (بصیر و همکاران، ۱۳۸۵) و این که شغل اغلب مردم مشاغل سخت مانند کشاورزی و دامداری بوده و در نتیجه، این مشاغل سخت باعث نوشیدن مقادیر بالاتری آب می‌شوند، است.

فصل هشتم

نتیجه‌گیری و

پیشنهادات

۸-۱ مقدمه

در این پژوهش سعی شده که با بررسی و مطالعات سنگ‌شناسی و ژئوشیمی منطقه، ارتباط معناداری بین شرایط زمین‌شناسی و کیفیت آب در منابع آب دشت طبسین واقع در ۶۰ کیلومتری نهبندان به سمت زابل، مورد مطالعه قرار گیرد و در نهایت تأثیر کیفیت آب و بالا بودن فلئور در منبع آب آشامیدنی بر سلامت مردم منطقه مورد بررسی قرار گیرد. به منظور نمایش بهتر توزیع عناصر، محاسبه شاخص‌های مختلف و دیگر محاسبات دیگر مورد نیاز از نرم افزارهای مختلف شامل ArcGIS 9.3، Surfer 8، Rockwork، AqQa، chemistry، WATEVAL، SPSS 18 و PHREEQC استفاده گردیده است.

جهت نیل به اهداف مذکور، پس از بررسی زمین‌شناسی منطقه و مطالعات فراوان بر روی پژوهش‌های مشابه، نمونه‌گیری از سنگ‌ها و رسوبات منطقه انجام پذیرفت. به منظور شناخت بهتر از سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه، مقاطع نازک از سنگ‌های منطقه گرفته شد و تعداد ۲۰ نمونه شامل ۴ نمونه سنگ و ۱۶ نمونه از رسوبات مرتبط با منابع آب منطقه، جهت تعیین غلظت عناصر به روش ICP-MS به آزمایشگاه labwest استرالیا ارسال گردید. با استفاده از نتایج به دست آمده از آنالیز سنگ‌ها و رسوبات، نقشه پراکنش غلظت عناصر بر روی نقشه زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه رسم گردید. علاوه بر این، نتایج به دست آمده از غلظت عناصر با متوسط غلظت عناصر در شیل جهانی و پوسته زمین مقایسه شد. تعداد ۱۸ نمونه از منابع آب شامل ۱۱ نمونه مربوط به چاه‌ها، ۳ نمونه مربوط به قنوت، ۳ نمونه مربوط به رودخانه و ۱ نمونه مربوط به چشمه، برداشته شد و جهت اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه شیمی آب شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خراسان جنوبی و تعیین غلظت عناصر در آن‌ها به روش ICP-MS به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال گردید. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) و اداره استاندارد ایران (۱۰۵۳) مقایسه گردید. پراکنش مقادیر مربوط به پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر در آب بر روی نقشه زمین‌شناسی در

منطقه مورد مطالعه رسم گردید و منابع آب آلوده به برخی از عناصر مشخص شد. پس از شناسایی منابع آب آلوده و بررسی چگونگی تأثیر عناصر آلاینده آب بر سلامت انسان، مطالعات زمین‌پزشکی فلوتور بر روی مردم منطقه صورت پذیرفت.

۸-۲ جمع‌بندی مطالعات مربوط به غلظت عناصر در رسوبات و سنگ‌ها

در نمونه‌های رسوب، غلظت عناصر آلومینیم از ppm (S8) ۴۴۹۹۳ تا (S10) ۷۷۲۰۳، آرسنیک از ppm (S1) ۷/۹ تا (S5) ۲۰/۶، کروم از ppm (S2) ۱۱۱ تا (S8) ۱۱۵۲، مس از ppm (S5) ۱۸/۲ تا (S5) ۳۰/۹، منیزیم از ppm (S14) ۱۸۸۰۴ تا (S8) ۱۱۶۳۱۴، مولیبدن از ppm (S8) ۰/۶ تا (S10) ۱/۲، نیکل از ppm (S2) ۵۷/۸ تا (S8) ۵۹۲/۱، فسفر از ppm (S8) ۲۰۰ تا (S3) ۷۹۵، گوگرد از ppm (S1) ۷۷ تا (S16) ۲۹۴۲، وانادیم از ppm (S14) ۷۱ تا (S5) ۱۱۹، روی از ppm (S16) ۴۱/۷ تا (S3) ۶۰/۳، استرانسیم از ppm (S8) ۳۰۲ تا (S16) ۶۶۹/۶ و فلوتور از ppm (S8) ۲۰۰ تا (S7) ۷۰۰ متغیر هستند. با توجه به مقادیر به دست آمده از آنالیز نمونه‌های رسوب و سنگ در منطقه، می‌توان دریافت که غلظت برخی از عناصر مانند آرسنیک، مس و وانادیم در نمونه رسوب مشتق شده از روانه‌های بازالتی-آندزیتی (Kua) بیشتر از سایر نمونه‌های رسوب است. نتایج نشان می‌دهند که غلظت کروم، نیکل و منیزیم در نمونه رسوب سرچشمه گرفته از سنگ‌های اولترامافیک (S8) به شکل معناداری از سایر نمونه‌های رسوب بالاتر است. در این نمونه رسوب غلظت برخی عناصر از جمله آلومینیم، مولیبدن، فسفر، استرانسیم و فلوتور از سایر نمونه‌های رسوب کمتر است.

به لحاظ میانگین فاکتور غنی‌شدگی در رسوبات، آرسنیک (۸/۵۳)، کروم (۴/۴۹)، نیکل (۲/۷۴) و منیزیم (۲/۲۳) به ترتیب بیشترین و مس (۰/۵۲)، فسفر (۰/۵۳)، آهن (۰/۷۸) و آلومینیم (۰/۸) به ترتیب کمترین میزان را دارا هستند.

میانگین شاخص زمین‌انباشتگی در نمونه‌های رسوب به دست آمده از منطقه نشان می‌دهد که کروم (۰/۹۳)، منیزیم (۰/۵۶)، نیکل (۰/۳۷) و استرانسیم (۰/۰۵) به ترتیب بیشترین و گوگرد (۳/۹۹-)، مولیبدن (۲/۳-)، فلئور (۱/۵۷-) و روی (۱/۵۲-) به ترتیب کمترین میزان شاخص زمین‌انباشتگی را به خود اختصاص داده‌اند.

میانگین به دست آمده از فاکتور آلودگی نشان‌دهنده این است که عناصر کروم (۳/۷۱)، منیزیم (۲/۵۵)، نیکل (۲/۴۵) و استرانسیم (۱/۵۸) به ترتیب بیشترین و عناصر گوگرد (۰/۱۷)، مولیبدن (۰/۳۱)، روی (۰/۵۳) و مس (۰/۵۴) به ترتیب کمترین میزان فاکتور آلودگی در رسوبات منطقه را دارند. با استفاده از مقادیر درجه آلودگی می‌توان دریافت که نمونه‌های S8، S15 و S9 (به ترتیب ۲/۴۷، ۱/۷۵ و ۱/۵) بیشترین و نمونه‌های S13، S14 و S2 (به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۹ و ۰/۸۲) کمترین میزان درجه آلودگی را دارا می‌باشند.

علاوه بر این، استفاده از پارامترهای آماری مانند آنالیز خوشه‌ای، تحلیل مؤلفه اصلی و همبستگی نشان می‌دهد که عناصر به کار رفته در این پژوهش از نظر شباهت رفتاری به سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: گروه اول کروم، منیزیم و نیکل، گروه دوم آهن، روی، وانادیم و آلومینیم و گروه سوم فلئور، استرانسیم و فسفر.

۸-۳ جمع‌بندی مطالعات مربوط به غلظت عناصر و تیپ و رخساره در منابع آب

بررسی‌های انجام شده بر روی نمونه‌های آب نشان می‌دهد که بسیاری از پارامترهای فیزیکوشیمیایی مانند هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، سختی کل، کلراید، سولفات، سدیم، کلسیم و منیزیم در منابع آب موجود در اطراف محیط دریاچه‌ای قدیمه (W6، W7، W8 و W9) بالاتر از سایر منابع آب است که این مسئله تأثیر کانی‌های تبخیری موجود در محیط دریاچه‌ای قدیمه را بر کیفیت

منابع آب بیش از پیش آشکار می‌کند. به دلیل این‌که بیشتر رسوبات موجود در بالادست مناطق غربی حوضه افیولیتی بوده و در نتیجه انحلال‌پذیری اندکی دارند، کیفیت منابع آب در غرب حوضه بهتر از منابع آب موجود در بخش‌های شرقی حوضه است. منابع آب موجود در نمونه‌های بالادست حوضه با توجه به قرار گرفتن در بالادست حوضه و در نتیجه زمان ماندگاری کمتر آب در آن‌ها نسبت به سایر منابع آب و از طرف دیگر نبود کانی‌های تبخیری در بالادست این منابع، در مقایسه با منابع دیگر موجود در حوضه مواد محلول کمتر و کیفیت بهتری را دارند. کیفیت آب رودخانه از بالادست به سمت پایین دست تغییرات چندانی را از خود نشان نمی‌دهد و به لحاظ غلظت مواد محلول، حد واسط بین منابع غربی و شرقی حوضه است. به لحاظ تیپ و رخساره، تیپ تمامی منابع آب سولفاته و کلرواره است، با این توضیح که تیپ منابع آب موجود در اطراف محیط دریاچه‌ای قدیمه و منابع موجود در پایین دست حوضه کلرواره و تیپ سایر منابع آب سولفاته است. رخساره تمامی منابع آب سدیک می‌باشد. توالی کاتیونی در منابع آب نشان می‌دهد که در منابع آب موجود در نزدیک توده‌های افیولیتی، منیزیم و با فاصله گرفتن از این توده‌ها، کلسیم کاتیون غالب موجود پس از سدیم است که این امر با توجه به این‌که غلظت منیزیم در رسوبات سرچشمه گرفته از سنگ‌های اولترامافیک بالا است، تأثیر این توده‌ها را بر کیفیت آب آشکار می‌کند. همچنین نتایج به دست آمده از آنالیز ICP-MS نمونه‌های آب نشان می‌دهد که غلظت عناصر آلومینیم $119(R1) - 5(W1)$ ppb، آرسنیک $27(W7) - 5/9(Q2)$ ppb، بور $8399(W11) - 1002(Q1)$ ppb، کروم $744(W9) - 150(Q2)$ ppb، مس $133(Q1) - 2/9(Q2)$ ppb، آهن $79(Q3) - 10(Q1)$ ppb، وانادیم $44/4(Q1) - 9/3(Q2)$ ppb، مولیبدن $46(W6) - 7(W10)$ ppb، سیلیسیم $30177(Q1) - 8779(Q2)$ ppb، روی $320(R3) - 3/8(Q2)$ ppb، استرانسیم $23815(W9) - 1311(Q1)$ و فلئور $1810(Q1) - 1311(W3)$ متغیر هستند. همانطور که مشاهده می‌شود غلظت برخی از عناصر مانند مس، وانادیم، سیلیسیم و فلئور در نمونه آب واقع در بالادست حوضه (Q1) بیشتر از

سایر منابع آب است که این امر به دلیل تماس مستقیم آب با رسوبات مشتق شده از روانه‌های بازالتی- آندزیتی می‌باشد. همچنین ماتریس همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر یاد شده در منابع آب نشان از همبستگی بالای کلر با سدیم (۰/۹۹۲)، کلسیم (۰/۹۷۸)، منیزیم (۰/۸۱۴)، سولفات (۰/۹۸۹)، EC (۰/۹۹۷)، TDS (۰/۹۹۵)، برم (۰/۷۱۸) و استرانسیم (۰/۹۳۲) دارد که این موضوع شباهت رفتاری عناصر و پارامترهای یاد شده در منابع آب از بالادست به سمت پایین‌دست حوضه را آشکار می‌کند.

۸-۴ انجام آزمون فیشر بر روی نمونه‌های رسوب و آب منطقه

با توجه به تعداد نمونه‌های آب و رسوب و درجه آزادی، اگر مقادیر به دست آمده از آزمون فیشر از ۲/۳ کمتر باشند، نشان‌دهنده معنادار بودن ارتباط دو محیط است. مقایسه مقادیر به دست آمده از انحراف معیار، میانگین و واریانس غلظت عناصر موجود در رسوبات و منابع آب با یکدیگر و کمتر بودن تمامی اعداد به دست آمده از ۲/۳ نشان‌دهنده رابطه نزدیک غلظت عناصر موجود در رسوبات و منابع آب با یکدیگر است. به عبارت دیگر صحت آزمون فیشر بر روی داده‌های به دست آمده از غلظت عناصر در رسوبات و منابع آب، تأییدی است بر این‌که منشأ عناصر محلول در آب از ترکیب رسوبات در تماس با آن تبعیت می‌کند.

۸-۵ بررسی زمین‌پزشکی منطقه

بررسی‌ها بر روی غلظت عناصر در منبع آب شرب منطقه (Q1)، نشان‌دهنده بالاتر بودن غلظت فلئور و آرسنیک از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (2008) است. پس از اثبات بالاتر بودن غلظت این دو عنصر در منبع آب شرب منطقه، مطالعات میدانی بر روی سلامت افراد ساکن در منطقه

صورت پذیرفت. مطالعات انجام شده حاکی از نبود شیوع بیماری‌های خاص مربوط به افزایش آرسنیک در آب، به خصوص بیماری‌های پوستی بودند. اما همین مطالعات نشان داد که آلودگی قنات Q1 به فلئور باعث شیوع فلوروسیس دندان‌دانی در اکثر قریب به اتفاق ساکنین منطقه شده است. مطالعات بر روی منشأ فلئور در رسوبات و منابع آب منطقه نشان‌دهنده این امر است که به احتمال فراوان منشأ فلئور در قنات Q1 از رسوبات سرچشمه گرفته از روانه‌های بازالتی - آندزیتی (Kua) و بازالت‌های حفره‌دار (PI) و به صورت کانی‌های فسفات‌ه حاوی فلئور مانند فلئورآپاتیت $[Ca_5(PO_4)_3(F)]$ است. مطالعات آماری صورت پذیرفته بر روی میزان شیوع فلوروسیس دندان‌دانی در دانش‌آموزان منطقه نشان می‌دهد که شیوع فلوروسیس دندان‌دانی با افزایش سن، افزایش می‌یابد و در جنس ذکور بیشتر می‌باشد. به طور کلی ۶۵٪ از افراد ۱۶-۱۳ سال به فلوروسیس درجه ۳ و بالاتر مبتلا می‌باشند

۸-۶ پیشنهادات

انجام مطالعات بیشتر در منطقه در جهت بهسازی و مدیریت صحیح منابع آب منطقه پیشنهاد می‌گردد. برخی از این پیشنهادات به قرار زیر می‌باشند:

- مطالعه ارتباط فلئور در آب آشامیدنی با غلظت این عنصر در خون و ادرار
- مطالعه و بررسی تأثیر آلودگی خاک بر محصولات کشاورزی و سلامت جانوران منطقه
- بررسی روش‌های مختلف جهت پاکسازی منابع آب منطقه

پیوست ۱

مقادیر F_t بر حسب دو متغیر (N_1-1) و (N_2-1) (درجه آزادی) به ازای سطح اعتماد ۹۵٪

درجه آزادی (صورت کسر)																
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۵	۲۰	۲۴	...	
	۱	۱۶۱/۴۵	۱۹۹/۵	۲۱۵/۷۱	۲۲۴/۵۸	۲۳۰/۱۶	۲۳۳/۹۹	۲۳۶/۷۷	۲۳۸/۸۸	۲۴۰/۵۴	۲۴۱/۸۸	۲۴۳/۹۱	۲۴۵/۹۵	۲۴۸/۰۱	۲۴۹/۰۵	۲۵۰/۱
	۲	۱۸/۵۱	۱۹	۱۹/۱۶	۱۹/۲۵	۱۹/۳	۱۹۳۳	۱۹/۳۵	۱۹/۳۷	۱۹/۳۸	۱۹/۴	۱۹/۴۱	۱۹/۴۳	۱۹/۴۵	۱۹/۴۵	۱۹/۴۶
	۳	۱۰/۱۳	۹/۵۵	۹/۲۸	۹/۱۲	۹/۰۱	۸/۹۴	۸/۸۹	۸/۸۵	۸/۸۱	۸/۷۹	۸/۷۴	۸/۷	۸/۶۶	۸/۶۴	۸/۶۲
	۴	۷/۷۱	۶/۹۴	۶/۵۹	۶/۳۹	۶/۲۶	۶/۱۶	۶/۰۹	۶/۰۴	۶	۵/۹۶	۵/۹۱	۵/۸۶	۵/۸	۵/۷۷	۵/۷۵
	۵	۶/۶۱	۵/۷۹	۵/۴۱	۵/۱۹	۵/۰۵	۴/۹۵	۴/۸۸	۴/۸۲	۴/۷۷	۴/۷۴	۴/۶۸	۴/۶۲	۴/۵۶	۴/۵۳	۴/۵
	۶	۵/۹۹	۵/۱۴	۴/۷۶	۴/۵۳	۴/۳۹	۴/۲۸	۴/۲۱	۴/۱۵	۴/۱	۴/۰۶	۴	۳/۹۴	۳/۸۷	۳/۸۴	۳/۸۱
	۷	۵/۵۹	۴/۷۴	۴/۳۵	۴/۱۲	۳/۹۷	۳/۸۷	۳/۷۹	۳/۷۳	۳/۶۸	۳/۶۴	۳/۵۷	۳/۵۱	۳/۴۴	۳/۴۱	۳/۳۸
	۸	۵/۳۲	۴/۴۶	۴/۰۷	۳/۸۴	۳/۶۹	۳/۵۸	۳/۵	۳/۴۴	۳/۳۹	۳/۳۵	۳/۲۸	۳/۲۲	۳/۱۵	۳/۱۲	۳/۰۸
	۹	۵/۱۲	۴/۲۶	۳/۸۶	۳/۶۳	۳/۴۸	۳/۳۷	۳/۲۹	۳/۲۳	۳/۱۸	۳/۱۴	۳/۰۷	۳/۰۱	۲/۹۴	۲/۹	۲/۸۶
	۱۰	۴/۹۶	۴/۱	۳/۷۱	۳/۴۸	۳/۳۳	۳/۲۲۲	۳/۱۴	۳/۰۷	۳/۰۲	۲/۹۸	۲/۹۱	۲/۸۴	۲/۷۷	۲/۷۴	۲/۷
	۱۱	۴/۸۴	۳/۹۸	۳/۵۹	۳/۳۶	۳/۲	۳/۰۹	۳/۰۱	۲/۹۵	۲/۹	۲/۸۵	۲/۷۹	۲/۷۲	۲/۶۵	۲/۶۱	۲/۵۷
	۱۲	۴/۷۵	۳/۸۹	۳/۴۹	۳/۲۶	۳/۱۱	۳/۹۹	۲/۹۱	۲/۸۵	۲/۸	۲/۷۵	۲/۶۹	۲/۶۲	۲/۵۴	۲/۵۱	۲/۴۷
	۱۳	۴/۶۷	۳/۸۱	۳/۴۱	۳/۱۸	۳/۰۳	۲/۹۲	۲/۸۳	۲/۷۷	۲/۷۱	۲/۶۷	۲/۶	۲/۵۳	۲/۴۶	۲/۴۲	۲/۳۸
	۱۴	۴/۶	۳/۷۴	۳/۳۴	۳/۱۱	۲/۹۶	۲/۶۵	۲/۷۶	۲/۷	۲/۶۵	۲/۶	۲/۵۳	۲/۴۶	۲/۳۹	۲/۳۵	۲/۳۱
	۱۵	۴/۵۴	۳/۶۸	۳/۲۹	۳/۰۶	۲/۹	۲/۷۹	۲/۷۱	۲/۶۴	۲/۵۹	۲/۵۴	۲/۴۸	۲/۴	۲/۳۳	۲/۲۹	۲/۲۵
درجه آزادی	۱۶	۴/۴۹	۳/۶۳	۳/۲۴	۳/۰۱	۲/۸۵	۲/۷۴	۲/۶۶	۲/۵۹	۲/۵۴	۲/۴۹	۲/۴۳	۲/۳۵	۲/۲۸	۲/۲۴	۲/۱۹
(مخرج کسر)	۱۷	۴/۴۵	۳/۵۹	۳/۲	۲/۹۶	۲/۸۱	۲/۷	۲/۶۱	۲/۵۵	۲/۴۹	۲/۴۵	۲/۳۸	۲/۳۱	۲/۲۳	۲/۱۹	۲/۱۵
	۱۸	۴/۴۱	۳/۵۵	۳/۱۶	۲/۹۳	۲/۷۷	۲/۶۶	۲/۵۸	۲/۵۱	۲/۴۶	۲/۴۱	۲/۳۴	۲/۲۷	۲/۱۹	۲/۱۵	۲/۱۱
	۱۹	۴/۳۸	۳/۵۲	۳/۱۳	۲/۹	۲/۷۴	۲/۶۳	۲/۵۴	۲/۴۸	۲/۴۲	۲/۳۸	۲/۳۱	۲/۲۳	۲/۱۶	۲/۱۱	۲/۰۷
	۲۰	۴/۳۵	۳/۴۹	۳/۱	۲/۸۷	۲/۷۱	۲/۶	۲/۵۱	۲/۴۵	۲/۳۹	۲/۳۵	۲/۲۸	۲/۲	۲/۱۲	۲/۰۸	۲/۰۴
	۲۱	۴/۳۲	۳/۴۷	۳/۰۷	۲/۸۴	۲/۶۸	۲/۵۷	۲/۴۹	۲/۴۲	۲/۳۷	۲/۳۲	۲/۲۵	۲/۱۸	۲/۱	۲/۰۵	۲/۰۱
	۲۲	۴/۳	۳/۴۴	۳/۰۵	۲/۸۲	۲/۶۶	۲/۵۵	۲/۴۶	۲/۴	۲/۳۴	۲/۳	۲/۲۳	۲/۱۵	۲/۰۷	۲/۰۳	۱/۹۸
	۲۳	۴/۲۸	۳/۴۲	۳/۰۳	۲/۸	۲/۶۴	۲/۵۳	۲/۴۴	۲/۳۷	۲/۳۲	۲/۲۷	۲/۲	۲/۱۳	۲/۰۵	۲/۰۱	۱/۹۶
	۲۴	۴/۲۶	۳/۴	۳/۰۱	۲/۷۸	۲/۶۲	۲/۵۱	۲/۴۲	۲/۳۶	۲/۳	۲/۲۵	۲/۱۸	۲/۱۱	۲/۰۳	۱/۹۸	۱/۹۴
	۲۵	۴/۲۴	۳/۳۹	۲/۹۹	۲/۷۶	۲/۶	۲/۴۹	۲/۴	۲/۳۴	۲/۲۸	۲/۲۴	۲/۲۱۶	۲/۰۹	۲/۰۱	۱/۹۶	۱/۹۲
	۲۶	۴/۲۳	۳/۳۷	۲/۹۸	۲/۷۴	۲/۵۹	۲/۴۷	۲/۳۹	۲/۳۲	۲/۲۷	۲/۲۲	۲/۱۵	۲/۰۷	۱/۹۹	۱/۹۳	۱/۹
	۲۷	۴/۲۱	۳/۳۵	۲/۹۶	۲/۷۳	۲/۵۷	۲/۴۷	۲/۳۷	۲/۳۱	۲/۲۵	۲/۲	۲/۱۳	۲/۰۶	۱/۹۷	۱/۹۱	۱/۸۸
	۲۸	۴/۲	۳/۳۴	۲/۹۵	۲/۷۱	۲/۵۶	۲/۴۵	۲/۳۶	۲/۲۹	۲/۲۴	۲/۱۹	۲/۱۲	۲/۰۴	۱/۹۶	۱/۹	۱/۸۷
	۲۹	۴/۱۸	۳/۳۳	۲/۹۳	۲/۷	۲/۵۵	۲/۴۳	۲/۳۵	۲/۲۸	۲/۲۲	۲/۱۸	۲/۱	۲/۰۳	۱/۹۴	۱/۸۹	۱/۸۵
	۳۰	۴/۱۷	۳/۳۲	۲/۹۲	۲/۶۹	۲/۵۳	۲/۴۲	۲/۳۳	۲/۲۷	۲/۲۱	۲/۱۶	۲/۰۹	۲/۰۱	۱/۹۳	۱/۷۹	۱/۸۴
	۴۰	۴/۰۸	۳/۲۳	۲/۸۴	۲/۶۱	۲/۴۵	۲/۳۴	۲/۲۵	۲/۱۸	۲/۱۲	۲/۰۸	۲	۱/۹۲	۱/۸۴	۱/۷	۱/۷۴
	۶۰	۴	۳/۱۵	۲/۷۶	۲/۵۳	۲/۳۷	۲/۲۵	۲/۱۷	۲/۱	۲/۰۴	۱/۹۹	۱/۹۲	۱/۸۴	۱/۷۵	۱/۶۱	۱/۶۵
	۱۲۰	۳/۹۲	۳/۰۷	۲/۶۸	۲/۴۵	۲/۲۹	۲/۱۸	۲/۰۹	۲/۰۲	۱/۹۸	۱/۹۱	۱/۸۳	۱/۷۵	۱/۶۸	۱/۵۲	۱/۵۵
...	...	۳/۸۴	۳	۲/۶	۲/۳۷	۲/۲۱	۲/۱	۲/۰۱	۱/۹۴	۱/۸۸	۱/۸۳	۱/۷۵	۱/۶۷	۱/۵۷	۱/۵۲	۱/۴۸

منابع

منابع فارسی

آقاباتی ع. (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران" چاپ اول، انتشارات صنوبر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

براتی، س.، میرغفاری، ن.، سفینیان، ع.، (۱۳۸۹)، "پایش آلودگی خاک به کروم در اراضی کشاورزی استان همدان"، چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی محیط زیست.

بصیر، ل.، خانه مسجدی، م.، حقیقی، م.، ح.، نعمتی اصل، س.، (۱۳۸۵)، "بررسی مقایسه‌ای شیوع فلئوروزیس و DMFT و رابطه آن‌ها با میزان فلوراید در سه منبع آب شرب (رودخانه‌های مارون، کارون و کرخه) در دانش‌آموزان ۱۰-۱۲ ساله استان خوزستان در سال ۱۳۸۱"، مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. شماره ۱، صفحات ۲۳-۱۴.

پور رحیم نجف آبادی، ز.، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد "ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل شمال شرقی تنگه هرمز (بنادر سیریک و جاسک) تعیین منشأ احتمالی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

پوراسلامی، ح.، ر.، خزانلی، پ.، مسعودپور، ح.، (۱۳۸۷)، "میزان یون فلوراید در آب‌های آشامیدنی استان کرمان"، مجله دانشگاه علوم پزشکی کرمان. شماره ۳، صفحات ۲۴۲-۲۳۵.

جوان، گ.، مستقنی، ا.، جعفری، م.، امینی، ب.، همتی نژاد، ب.، (۱۳۸۴)، "فلئوروزیس دندان‌ها و فلوراید ادرار در نوجوانان ۱۰-۱۲ ساله بوشهر"، دو فصلنامه طب جنوب. شماره ۲، صفحات ۱۷۱-۱۶۵.

حسنی پاک، ع.، شرف الدین، م.، (۱۳۸۰)، "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۰، فصل هفتم.

خسرو تهرانی، خسرو، (۱۳۸۴)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات دانشگاه تهران، جلد ۱ و ۲.

درویش زاده، ع.، (۱۳۸۰)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر.

دلیجانی، ف.، کاظمی، غ.، پروین نیا، م.، خاکشور، م.، (۱۳۸۸)، "غنی شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاکهای منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه)"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.

دوبرادران، س.، رنجبر وکیل آبادی، د.، محوی، ا.، م.، کاظمی، ط.، (۱۳۸۹)، "ارتباط فلوراید آب آشامیدنی با شاخص های DMFT و dmft دندان کودکان در روستاهای منطقه دشتستان"، فصلنامه طب جنوب. شماره ۲، صفحه ۱۰۷-۱۰۲.

سراج، ب.، شهرابی، م.، فلاحزاده، م.، فلاحزاده، ف.، آخوندی، ن.، (۱۳۸۵)، "بررسی تأثیر میزان بالای فلوراید آب آشامیدنی بر هوش کودکان"، مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران. شماره ۲، صفحات ۸۶-۸۰.

عراقی زاده، ع.، زارع، ش.، رادافشار، ز.، چنیده، س.، (۱۳۸۳)، "میزان شیوع فلوروسیس دندان در کودکان دبستانی شهر بندرعباس"، مجله پزشکی هرمزگان. شماره ۱، صفحات ۱۸-۱۳.

کرباسی، ع.، بیاتی، آ.، (۱۳۸۶) "ژئوشیمی زیست محیطی" انتشارات کاوش قلم.

کلانتری، ن.، رحیمی، م.، ح.، اکبری، ا.، (۱۳۸۸)، "بررسی هیدروشیمیایی دشت میان آب با استفاده از روش های آماری، نمودارهای هیدروشیمیایی و منطق فازی"، فصلنامه زمین شناسی ایران. شماره نهم، صفحات ۱۵-۲۵.

گراوند، م.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک های حاصل از شیبست های گرگان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مر، ف.، شرفی، ع.، (۱۳۸۳)، ترجمه، "اصول ژئوشیمی"، انتشارات دانشگاه شیراز.

مر، ف.، مدبری، س.، (۱۳۸۴)، ترجمه، "کاربرد داده های زمین شیمیایی"، مرکز نشر دانشگاهی.

میرغفاری، ن. و شریعتمداری، ح.، (۱۳۸۶)، "توزیع فلوراید در آب های زیرزمینی، خاک و تعدادی از گیاهان زراعی منطقه اصفهان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۴۱، ۴۳-۵۰.

نعیمی، ر.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی غلظت عناصر سنگین و تعیین منشأ احتمالی آنها با توجه به جنس سازندهای زمین‌شناسی در رسوبات بستر رودخانه هراز (نوررود)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بندان و شمال بندان

منابع لاتین

Abraham, G. M. S., (2005), "**Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand**", Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 361p.

Abraham, G. M. S., Parker, R. J., (2008), "**Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand**", Environ Monit Assess, v. 136, pp. 227- 238.

Acosta, J. A., Faz, A., Mrtinez, S. M., (2009), "**Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain)**", Environ Monit Assess, DOI 10.1007/s10661-1194-0.

Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., (2005), "**Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naplescitiy Por**", Chemosphere, v. 61, p. 800-809.

Adriano, D. C., (2001), "**Trace Elements in Terrestrial Environments**", Springer-Verlag, New York.

Ahdy, H., Khaled, A., (2009), "**Heavy Metals Contamination in Sediments of the Western Part of Egyptian Mediterranean Sea**", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4), p. 3330-3336.

Ahmed, K. M., (1999), "**A review of available geochemical data and their implications to the origin of arsenic in Bangladesh groundwater**", Seminar on groundwater arsenic contamination in the Bengal Delta Plains of Bangladesh", University of Dahka, Bagladesh. 24 p.

Al-Awadi, E., Mukhopadhyay, A., Akber, A., Hadi, K., (2003), "**Distribution of selected trace constituents in the ground water of Kuwait**", Advances in Environmental Research. v. 7, pp. 367-380.

Alloway, B. J., (1995), "**Heavy metals in soils**", Blackie Academic & Professional, London.

Appelo, C. A. J., Postma, D., (1996), "**Geochemistry, Groundwater and Pollution**", Rotterdam: Balkema.

Becquer, T., Quantin, C., Sicot, M., Boudot, J. P., (2003), "**Chromium availability in ultramafic soils from New India: Implications to sources of elements and their mobility during basalt–water interaction**", Chemical Geology. v 242, pp. 232-254.

Bibi, H. H., Ahmed, F., Ishiga, H., (2008), “**Geochemical study of arsenic concentrations in groundwater of the Meghna River Delta, Bangladesh**”, Journal of Geochemical Exploration. v. 97, pp. 43-58.

Boers, P, C, N., (2002), “**Influence of internal loading on phosphorus concentration in shallow lakes before and after reduction of the external loading**” Hydrobiologia. v. 275, pp. 379-389.

Bowen, H.J.M., (1979), “**Environmental Chemistry of the Elements**”, Academic Press, New York, 1979. (In:

Bradl, H. B., (2005), “**Heavy Metals in the Environment**”, Elsevier Ltd, Vol, 6.

Brown, G, E, J., (1990), “**Mineral-Water interface geochemistry**”, Mineralogical Society of America. pp. 309-363.

Caritat, D., (1996), “**Stream water geochemistry from selected catchments on the Kola Peninsula (NW Russia) and in neighbouring areas of Finland and Norway: 1. Elements levels and sources**”, Aquatic Geochemistry, v. 2, pp. 149-168.

Chen, C, W., Kao, C, M., Chen, C, F., Dong, C, D., (2007) “**Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan**” Chemosphere, 66, p. 1431-1440.

Cobelo, A., Prego, R., (2003), “**Heavy metal sedimentary record in a Galician Ria (NW Spain) background values and recent contamination**”, Marine Pollution Bulletin. v. 46, pp. 1253-1262.

- Das, A., Krishnaswami, S., (2007), “**Elemental geochemistry of river sediments from the Deccan Traps,**

Dean, H, T and Elvove., (1937)., “**Further Studies on the Minimal Threshold of Chronic Endemic Dental Fluorosis**”, Public Health Rep (Washington). 52(37), pp. 1249-1264.

Dickson, E, L., Stevens, R, J., (1983), “**Extractable copper, lead, zinc and cadmium in Northern Ireland Soils**”, J Sci Food Agric. v. 34, pp. 1197-1205.

Dissanayake, C, B., (1991)., “**The Fluoride Problem in the Groundwater of Sri Lanka—Environmental Management and Health**”, International Environmental Study. v. 38, pp. 137-156.

Drever, J, I., (2000), “**The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments**”, 3rd edition.

Ebrahimpour, M., Mushrifah, I., (2008), “**Heavy metal concentration in water and sediments in Tasik Chini, a freshwater lake, Malasia**”, Environ Monit Assess. v. 141, pp. 297-307.

Farmer, J, G., Thomas, R, P., Graham, M, C., Geelhoed, J, S., Lumsdon, D, G., Paterson, E., (1999), “**Chromium speciation and fractionation in ground and surface waters in the vicinity of chromite ore processing residue disposal sites**”, J Environ Monit. v. 4, pp. 235-243.

Florentino, C, E., Paoloni, J, D., Sequeira, M, E., Arosteguy, P., (2007), “**The presence of vanadium in groundwater of southeastern extreme the pampean region Argentina Relationship with other chemical elements**”, Journal of Contaminant Hydrology, v. 93, pp. 122-129.

- Glasby, G. P., Szefer, P., Geldon, J., Warzocha., (2004), “**Heavy-metal pollution of sediments from Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Poland**”, *Science of the Total Environment*. v. 330, pp. 249-269.
- Glenn, S. M., Lester, L. G., (2010), “**An analysis of the relationship between land use and arsenic, vanadium, nitrate and boron contamination in the Gulf Coast aquifer of Texas**”, *Journal of Hydrology*. v. 389, pp. 214-226.
- Goorzadi, M., Vahabzadeh, Gh., Ghanbarpour, M. R., and Karbassi, A. R., (2009), “**Assessment of heavy metal pollution in Tilehbon river sediment, Iran**”, *Journal of applied sciences*, 9(6), pp. 1190-1193.
- Guo, H., Wang, Y., (2005), “**Geochemical characteristics of shallow groundwater in Datong basin, northwestern China**”, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 87, pp. 109-120.
- Hakanson, L., (1980), “**An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approaches**”, *Water Research*, 14: 975–1001.
- Halim, M.A., Majumder, R. K., Nessa, S. A., Hiroshiro, Y., Uddin, M. J., Shimada, J., Jinno, K., (2009), “**Hydrogeochemistry and arsenic contamination of groundwater in the Ganges Delta Plain, Bangladesh**”, *Journal of Hazardous Materials*. v. 164, pp. 1335-1345.
- Hamilton, M., (1992), “**Water fluoridation: a risk assessment perspective**”, *Environ. Health*, 54(6), pp. 27-32.
- Handa, B. K., (1975), “**Geochemistry and Genesis of Fluoride Containing Ground Waters in India**”, *Ground Water*. v. 13, pp. 275-281.
- Hawkes, H. E., Webb, J. S., (1979), “**Geochemistry in Mineral Exploration**”, Academic Press, London.
- Hounslow, W., (1995), “**Water quality data, analysis and interpretation**”, CRC Press, Inc.
- Huang, K. M., Lin, S., (2003), “**Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan**”, *Chemosphere*. v. 53, pp. 1113-1121.
- Kabata-Pendias A., Mukherjee, A. B., (2007), “**Trace Elements from Soil to Human**” Springer Berlin Heidelberg New York.
- Kampunzu, A. B., Cailteux, J. L. H., Kamona, A. F., Intiomale, M. M., Mulcher, F., (2009), “**Sediment-hosted Zn–Pb–Cu deposits in the Central African Copperbelt**”, *Ore Geology Reviews*. v. 35, pp. 263-297.
- Kouras, A., Katsoyiannis, I., Voutsas, D., (2007), “**Distribution of arsenic in groundwater in the area of Chalkidiki, Northern Greece**”, *Journal of Hazardous Materials*. v. 147, pp. 890-899.
- Leinonen, K. P. (1989), “**The influence of soil preparation on the levels of aluminium, manganese, iron, copper, zinc, cadmium, and mercury in *Vaccinium myrtillus***”, *Chemosphere*. v. 18, pp. 1581-1587.
- Leybourne, M. I., Cameron, E. I., (2008), “**Source, transport, and fate of rhenium, selenium, molybdenum, arsenic, and copper in groundwater associated with porphyry–Cu deposits, Atacama Desert, Chile**”, *Chemical Geology*. v. 247, pp. 208-228.

- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D., and Kwapulinski, J., (1995) **“Use of environment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland”** Water, Air and Soil pollution, 93, pp. 347-365.
- Lund, U., Fobian, A., (1991), **“Pollution of two soils by arsenic, chromium and copper, Denmark”**, Geoderma. v. 49, pp. 83-103.
- Mandal, B. D., Suzuki, T. K., (2002), **“Arsenic round the world: a review”**, Talanta. v. 58, pp. 201-235.
- Marshall, E., (1990), **“The fluoride debate: one more time”**, Science, v. 247, pp. 266-277.
- McCaffrey, L. P., (1998), **“Distribution and Causes of High Fluoride Groundwater in the Western Bushveld Area of South Africa”**, unpublished PhD thesis, University of Cape Town, South Africa.
- Momodou, M. A., Anyakora, C. A., (2010), **“Heavy metal contamination of ground water: the Surulere case study”**, Research Journal Environment and Earth Sciences. 2(1), pp. 29-43.
- Müller, G. (1969), **“Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River”**. Geo Journal, v. 2, pp. 108–118.
- Nael, M., Khademi, h., Jalalian, A, Schulin, R., Kalbasi, M., Sotohan, F., (2009), **“Effect of geo-pedological conditions on the distribution and chemical speciation of selected trace elements in forest soils of western Alborz, Iran”**, Geoderma, V. 152, pp. 157-170.
- Neal, M., Davis, H., (2003), **“Fluoride in UK rivers”**, Sci Total Environ. v. 314, pp. 209-231.
- Nouri, J., Mahvi, A. H., Babaei, A. A., Jahed, G. R., Ahmadpour, E., (2006) **“Investigation of heavy metals in groundwater”**, Pakistan Journal of Biological Sciences. 9(3), pp. 377-384.
- Preda, M., Cox, M., (2002), **“Trace metal occurrence and distribution in sediments and mangroves, Pumicestone region, southeast Queensland, Australia”**, Environmental International. v. 28, pp. 433-449.
- Quantin, C., Ettler, V, Garnier, J., Sebek, O., (2008), **“Sources and extractibility of chromium and nickel in soil profiles developed on Czech serpentinites”**, Surface Geosciences. v. 340, pp. 872-882.
- Rey, R. D., Fierros, F. D., Barral, M. T., (2009), **“Normalization strategies for river bed sediments: A graphical approach”**, Micro chemical journal, v. 91, p. 253-263.
- Samudring, K., Abustan, I., Abdul Rahman, M. A., Isa, M. A., (2009), **“Distribution of heavy metals profiles in groundwater system at solid waste disposal site”**, European Journal of Scientific Research. Vol.37., No.1., pp. 58-66.
- Satyanarayana, D., Panigrahy, P. K., Sahu, S. D., (1994), **“Metal pollution in Harbor and coastal sediments of visakhapatnam, est of India”**, Indian journal of marine science, v. 23, pp. 52-54.
- Selinus, O., (2005), **“Essentials of medical geology, impact of natural environment on public health”**, Elsevier Academic Press.

Shakery, A., Moor, F., Razikordmahalleh, L., (2010), “**Distribution of soil heavy metal contamination around industrial complex zone, Shiraz, Iran**” 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Australia. Published on DVD.

Shitza, A., Swennen. R., Tashko, A., (2005), “**Chromium and nickel distribution in soils, active river, overbank sediments and dust around the Burrel chromium smelter (Albania)**”, Journal of Geochemical Exploration. v.87, pp. 92-108.

Siegel, F, R., (2002), “**Environmental geochemistry of potentially toxic metals**”, Springer, Berlin, Heidelberg.

Sjostedt, C., Wallstedt, T., Gustafsson, J, P., Borg, H., (2009), “**Speciation of aluminium, arsenic and molybdenum in excessively limed lakes**”, Science of Total Environment. v.407, pp. 5119-5127.

Smet, J., (1990), “**Fluoride in Drinking Water**”, Proceedings of the Symposium on Endemic Fluorosis in Developing Countries: Causes, Effects and Possible Solutions. pp. 51-85.

Subramanian V., Datta Dilip K., (1998), “**Distribution and fractionation of heavy metals in the surface sediment of the Ganga–Brahmaputra–Meghna river system in the Bengal basin**”, Environ Geol,v. 36(1–2), p. 93–101.

Tijani, M. N., Okunlola, O. A., Abimbola, A. F., (2006), “**Lithogenic concentrations of trace metals in soils and saprolites over crystalline basement rocks: A case study from SW Nigeria**”, Journal of African Earth Sciences, v. 46, pp. 427–438.

Todd, D, K., (1985), “**Ground Water hydrology**”, John Wiley and Sons. New York, pp. 539.

Upadhyay, A, K., Gupta, K, K., Sircar, J, K., Deb, M, K., Mundhara, G, L., (2006), “**Heavy metals in freshly deposited sediments of the river Subernarekha, India: an example of lithogenic and anthropogenic effects**”, Environ Geol,v. 50, pp. 397-403.

van der Perk, M., (2006), “**Soil and water contamination**”, Teylor & Francis.

Visser, M, J, M., (2006), “**Patterns of Groundwater Quality in Sandy Aquifers under Environmental Pressure**”, Netherlands Graphical Studies.

Wallstedt, T., Bjorkvald, L., Gustafsson, J, P., (2010), “**Increasing concentrations of arsenic and vanadium in (southern) Swedish streams**”, Applied Geochemistry. v.25, pp. 1162-1175.

Yap, C, K., Ismail, A., Tan, S, G., Omar, H., (2002), “**Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel Perna viridis from the west coast of Peninsular Malaysia**”, Environmental International. v. 28, pp. 117-126

Yin, X., Liu, X., Sun, L., Zhu, R., Xie, Z., Wang, Y., (2007), “**A 1500-year record of lead, copper, arsenic, cadmium, zinc level in Antarctic seal hairs and sediments**”, Science of the Total Environment. v. 371, pp. 252-257.

Yongming, H. T., Peixuan, D., Junji, C., & Posmentier, E.S. (2006), “**Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi’an, Central China**”, Science of the Total Environment,v. 355, pp. 176–186.

Zan-dao, W and Yan, W., (2002), **“Fluoridation in China: A Clouded Future”**, Fluoride. 35(2), pp. 122-129.

Zhang, M, K., He, Z, L., Calvert, D, V., Stoffela, P, J., (2004), **“Leaching of minerals and heavy metals from muckamended sandy soil columns”**, Soil Sci. v. 169, pp. 528-540.

Zhou, H., Peng, X., Pan, J., (2004), **“Distribution, source and enrichment of some chemical elements in sediments of the Pearl River Estuary, China”**, Continental Shelf Research. v. 24, pp. 1857-1875.

Zoller, W.H., Gladney, E.S., Duce, R.A., (1974), **“Atmosphere concentrations and sources of trace metals at the South Pole”**, Science, v. 183, p. 199–201.

Abstract

The chemical compounds in the sediments which are in contact with water, are of important effective parameters in the water quality. The present research was conducted to investigate the water resources pollution in southeast of Tabasein Plain as well as the medical geology of the region. The ICP-MS techniques were employed to analyze 4 rock samples as well as 16 sediment samples. In addition, 18 water samples including 11 samples from the wells, 3 samples from the qanats, 3 samples from the river, and 1 samples from a spring were collected in order measure the concentrations of anions and cations while the concentrations of elements were determined through ICP-MS techniques. Based on the environmentally importance of the elements and their concentration, Si, Sr, Br, B, F, Zn, V, S, P, Ni, Mg, Fe, Cu, Cr, As, and Al were selected for further investigations. Geological studies showed that the rocks in the region are mostly ultramafic igneous rocks, basaltic- andesite flow, and sedimentary rocks such as marl, shale, and evaporative minerals. The geochemical studies showed that the concentrations of arsenic, copper, iron, and vanadium in the sample of sediment from basaltic- andesite flow rocks was higher than in the other sediment samples. Also, chromium, nickel, and magnesium have much higher concentrations in the sample of sediment from ultramafic rocks comparing with other sediment samples while abandon of most other elements in these samples were detected. In terms of the modified contamination degree, the samples of sediment from ultramafic rocks were the highest. Enrichment factor, geoaccumulation index, and contamination factor were indications of relatively high contamination by chromium and nickel in the sample of sediment from ultramafic rocks. According to the results of correlation matrix, cluster analysis, and main component analysis, the above elements can be classified into three groups: 1- Cr, Ni, and Mg; 2- Sr, P, and F; and 3- V, Fe, Al, and Zn. The results of chemical analyses of water samples showed that the concentrations of sulfate, chloride, sodium, magnesium, bromium, and strontium and total hardness, total dissolved solids, and EC in the water samples from the vicinity of the old lake perimeter, located on the east of the basin, were higher than the other water resources. Also, the concentration of chromium in the water samples from the vicinity of ophiolite belt in the west of the basin was higher than the other samples. The distribution of the concentrations of elements and the heavy metals in the water resources of the study area indicated that the concentrations of Cu, V, Si, and F in the upstream qanat which is in the direct contact with the sediments from basaltic- andesite flow were higher than in the other samples. The concentration of fluoride in all water resources of the region, including drinking water resource (Q1), was higher than allowable values by Iranian Standard guideline 1053. A statistical investigation was conducted on the people aged 7 to 16 years which showed that dental fluorosis is very common between the residents in the region in a way 65% of the 3-16 year old people were diagnosed with fluorosis degree of 3 or above. The study also indicated that the degree of the dental fluorosis increases with age and more prevalent in males.

Keywords: contamination, heavy metals, geochemistry, water resources, Tabasein Plain.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

**Assessment of pollution in groundwater resources in
Tabasin plain (South East of Nehbandan) with a survey
on medical geology of the region**

by

Ahmad Boskabady

Supervisor:

Dr. B. Dahrazma

Advisor:

Dr. M. Shiva

Dr. M. H. Ebrahimzadeh

June 2011