

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الرَّحِيمِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

تأثیر عوامل طبیعی و انسانزاد بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بسطام

نگارنده: رضوان سادات نزل آبادی

استاد راهنما

دکتر رحیم باقری

دی ماه ۱۳۹۷

مشکر و قدردانی

در این هنگام که با لطف و عنایت الهی، کارنخارش و تدوین این تحقیق به اتمام رسیده است، بر خود لازم می دانم در ابتدا از زحمات و محبت های بی دریغ خانواده ام و همسر مهربانم که در نهایت صبر و بردباری، همواره محیطی مساعد و آرام را جهت رشد و تحصیلاتم فراهم نموده اند، سپاس گذاری نمایم و از زحمات بی شائبه استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر رحیم باقری که در تهیه و تکمیل این پژوهش، همواره از مساعدت ها و راهنمایی های سودمندشان بهره برده ام کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

در پایان از ریاست محترم دانشکده علوم زمین، جناب آقای دکتر امید ی و کارکنان محترم دانشکده به خاطر مساعدت - هایشان کمال تشکر دارم. همچنین از زحمات اساتید دلسوز و محترم دانشکده علوم زمین، سرکار خانم دکتر فرقانی، دکتر قشلاقی، دکتر جعفری، دکتر کریمی و دکتر مؤمنی به خاطر راهنمایی های ارزنده شان در طول دوره تحصیلی مشکر و قدردانی نمایم.

رضوان سادات نزل آبادی

دی ماه ۹۷

تعهد نامه

اینجانب رضوان سادات نزل آبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تأثیر عوامل طبیعی و انسانزاد بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بسطام تحت راهنمایی دکتر رحیم باقری متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شد است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده‌اند در مقالات مستخرج در پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

دشت بسطام با وسعتی حدود ۴۸۴ کیلومتر مربع، در ۶ کیلومتری شمال شرقی شهرستان شاهرود (استان سمنان) در مسیر جاده شاهرود - آزاد شهر واقع شده است. سفره آب زیرزمینی موجود در این منطقه توسط حدود ۳۳۰ حلقه چاه بهره برداری جهت مصارف مختلف کشاورزی و شرب تخلیه می-گردد. هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی، غلظت نیترات و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی دشت بسطام بوده است. برای انجام این تحقیق و با توجه به وسعت منطقه تعداد ۵۲ نمونه آب‌زیرزمینی از چاه‌های پمپاژ جهت تعیین غلظت یونهای اصلی و نیترات توسط روش‌های تیتراسیون و دستگاه IC و فلزات سنگین توسط دستگاه ICP-MS، برداشت شده است. سفره آب زیرزمینی منطقه عمدتاً از طرف سازندهای کربناته واقع در بخش‌های شمالی (جنگل ابر) و سمت جنوب غربی (مجن) تغذیه گردیده و در نهایت به آبخوان شاهرود در بخش جنوبی تخلیه می‌گردد. ترکیب هیدرووشیمیایی آب زیرزمینی در این منطقه در اثر اضافه برداشت در اثر رخداد خشکسالی و همچنین نفوذ آب شور از طریق سازندها تبخیری و کفه‌های نمکی واقع در بخش‌های شرقی و غربی تغییر کرده است، بطوریکه بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی دشت دارای کمترین مقادیر EC و کناره‌های غربی و شرقی دشت، از بیشترین مقدار EC برخوردار می‌باشد. میانگین نیترات در تمام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام در حدود ۱۴ ppm اندازه‌گیری شده است که کمتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۵۰ میلی گرم در لیتر) می‌باشد. بنابراین از لحاظ مقدار نیترات، خطر زیست محیطی آب زیرزمینی منطقه را تهدید نمی‌کند. در محدوده مورد مطالعه، غلظت ۱۰ عنصر بالقوه‌سمی (Se, Cr, As, Cu, Mo, Zn, Pb, U, V, Sb) اندازه‌گیری شد. براساس مقادیر درجه آلودگی (Cd)، همه نمونه‌های آب از لحاظ محتوای فلزات بالقوه سمی، در مرتبه آلودگی متوسط (کمتر از ۳) قرار می‌گیرند. همچنین همه نمونه‌های آب از لحاظ محتوای فلزات سنگین (HPI) در مرتبه آلودگی پایین (کمتر از ۱۰۰) قرار می‌گیرند. اما به این دلیل وجود تعدد روستاها در منطقه و ورود فاضلاب و پساب‌های کشاورزی به آب زیرزمینی، درجه آلودگی در برخی

نمونه‌ها ، کمی افزایش یافته است. بطور کلی غلظت فلزات سنگین در همه نمونه‌های منطقه از حد استاندارد WHO و FAO پایین تر می‌باشند.

کلمات کلیدی: دشت بسطام، هیدروشیمیایی، فلزات سنگین، نیترات

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱.....	فصل اول کلیات
۲.....	۱-۱ مقدمه
۲.....	۲-۱ بیان مساله و هدف از انجام تحقیق
۳.....	۳-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
۴.....	۴-۱ هواشناسی منطقه مورد مطالعه
۶.....	۵-۱ زمین شناسی عمومی منطقه بسطام
۶.....	۱-۵-۱ چینه شناسی منطقه بسطام
۶.....	۱-۱-۵-۱ نهشته‌های پالئوزوئیک
۸.....	۲-۱-۵-۱ نهشته‌های مزوزوئیک
۹.....	۳-۱-۵-۱ نهشته‌های سنوزوئیک
۹.....	۴-۱-۵-۱ رسوبات کواترنری (عهد حاضر)
۹.....	۲-۵-۱ زمین‌شناسی ساختمانی منطقه
۱۰.....	۶-۱ هیدرولوژی دشت بسطام
۱۱.....	فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته
۱۲.....	۱-۲ مقدمه
۱۳.....	۲-۲ عوامل موثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی
۱۳.....	۱-۲-۲ اثر لیتولوژی
۱۳.....	۲-۲-۲ اثر اقلیم
۱۴.....	۳-۲-۲ سرعت آب زیرزمینی
۱۴.....	۴-۲-۲ نفوذ آب شور
۱۴.....	۵-۲-۲ پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی
۱۵.....	۳-۲ مروری بر مطالعات پیشین درباره خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب

۴-۲	مروری بر چرخه نیتروژن	۱۷
۵-۲	منابع نیترات در آب‌های زیرزمینی و سطحی.....	۱۷
۱-۵-۲	منابع طبیعی	۱۸
۲-۵-۲	منابع انسانزاد	۱۸
۶-۲	غلظت نیترات و کاربری اراضی	۱۸
۷-۲	اثر زیان‌بار نیترات بر سلامتی	۱۹
۸-۲	بررسی استانداردهای ملی و بین‌المللی کیفیت آب برای کنترل نیترات	۱۹
۹-۲	مروری بر پژوهش‌های پیشین انجام شده در زمینه آلودگی نیترات	۲۰
۱۰-۲	مروری بر مطالعات انجام شده درباره فلزات سنگین	۲۲
۱۱-۲	فلزات سنگین	۲۲
	فصل سوم: روش انجام کار	۲۵
۱-۳	مقدمه	۲۶
۲-۳	جمع‌آوری آمار و داده‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی.....	۲۶
۳-۳	تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه	۲۶
۴-۳	نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی و اندازه‌گیری برخی از پارامترهای هیدروشیمیایی.....	۲۷
۵-۳	پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه	۲۸
۶-۳	آماده‌سازی نمونه‌های فلزات سنگین.....	۲۹
۷-۳	برآورد صحت نتایج.....	۳۰
۸-۳	تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان دشت بسطام.....	۳۰
۹-۳	تهیه نقشه‌های کیفی با استفاده از نرم افزارهای GIS.....	۳۰
۱۰-۳	محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب.....	۳۰
۱-۱۰-۳	درجه آلودگی.....	۳۰
۲-۱۰-۳	شاخص آلودگی فلزات سنگین	۳۱
۳-۱۰-۳	شاخص کیفی (WQI).....	۳۲
۴-۱۰-۳	روش‌های آماری تحلیل داده‌ها.....	۳۳

۳۳	..... ضریب همبستگی ۱-۴-۱۰-۳
۳۴	..... تحلیل خوشه‌ای ۲-۴-۱۰-۳
۳۵	..... فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئوشیمیایی، تعیین غلظت نیترات و فلزات سنگین در دشت بسطام
۳۶	..... ۱-۴ مقدمه
۳۶	..... ۲-۴ هیدروژئولوژی آبخوان دشت بسطام
۳۶	..... ۱-۲-۴ بررسی نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه
۳۹	..... ۳-۴ هیدروژئوشیمی آبخوان دشت بسطام
۳۹	..... ۱-۳-۴ جمع‌آوری داده‌های هیدرووشیمیایی
۳۹	..... ۲-۳-۴ بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان
۴۲	..... ۱-۲-۳-۴ بررسی تغییرات هدایت الکتریکی
۴۳	..... ۲-۲-۳-۴ بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در دشت بسطام
۴۴	..... ۳-۲-۳-۴ ارزیابی مقادیر pH در نمونه‌های آب
۴۵	..... ۴-۲-۳-۴ بررسی تغییرات یون کلر
۴۶	..... ۵-۲-۳-۴ بررسی تغییرات یون سولفات
۴۷	..... ۶-۲-۳-۴ ارزیابی تغییرات غلظت سایر یون‌ها
۵۲	..... ۷-۲-۳-۴ تعیین رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه
۵۵	..... ۸-۲-۳-۴ نمایه‌های اشباع
۵۶	..... ۹-۲-۳-۴ بررسی تکامل ژئوشیمیایی دشت بسطام
۶۰	..... ۱۰-۲-۳-۴ نسبت جذب سدیم (SAR)
۶۰	..... ۱۱-۲-۳-۴ نمودار ویلکاکس
۶۱	..... ۱۲-۲-۳-۴ محاسبه شاخص کیفی آب (WQI)
۶۲	..... ۴-۴ بررسی غلظت عناصر بالقوه سمی در آبهای زیرزمینی دشت بسطام
۶۴	..... ۱-۴-۴ سرب
۶۵	..... ۲-۴-۴ روی
۶۷	..... ۳-۴-۴ مس

۶۹.....	۴-۴-۴ کروم
۷۰.....	۴-۴-۵ مولیبدن
۷۲.....	۴-۴-۶ آرسنیک
۷۴.....	۴-۴-۷ سلنیوم
۷۵.....	۴-۴-۸ آنتیموان
۷۷.....	۴-۴-۹ وانادیوم
۷۸.....	۴-۴-۱۰ اورانیوم
۸۰.....	۴-۵-۵ درجه آلودگی و شاخص آلودگی عناصر بالقوه سمی
۸۳.....	۴-۶-۶ بررسی همبستگی پارامترها در نمونه‌های آب
۸۴.....	۴-۶-۱ تحلیل مولفه اصلی
۸۶.....	۴-۶-۲ تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی
۸۷.....	۴-۷-۷ بررسی تغییرات غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام
۹۷.....	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها
۹۸.....	۵-۱ نتیجه گیری
۱۰۱.....	۵-۲ پیشنهادها
۱۰۲.....	منابع

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه	۴
شکل ۲-۱: نمودار آمپروترمیک بسطام در سال ۱۳۹۰	۴
شکل ۳-۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بسطام	۷
شکل ۱-۳: موقعیت نقاط نمونه برداری دشت بسطام	۲۷
شکل ۲-۳: محل نمونه برداری از چاه‌های مورد مطالعه	۲۸
شکل ۳-۳: دستگاه نورسنج شعله ای و دستگاه کدورت سنج	۲۹
شکل ۴-۱: نقشه هم‌پتانسیل دشت بسطام در سال ۱۳۹۶	۳۸
شکل ۲-۴: نقشه تغییرات مقدار EC در دشت بسطام در سال ۱۳۹۶	۴۳
شکل ۳-۴: گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۴۴
شکل ۴-۴: نقشه تغییرات pH در دشت بسطام ۱۳۹۶	۴۵
شکل ۵-۴: غلظت یون کلر در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۴۶
شکل ۶-۴: غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۴۷
شکل ۷-۴: غلظت یون سدیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۴۸
شکل ۸-۴: غلظت یون بی کربنات در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۴۹
شکل ۹-۴: غلظت یون منیزیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۵۰
شکل ۱۰-۴: غلظت یون پتاسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۵۱
شکل ۱۱-۴: غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۵۲
شکل ۱۲-۴: نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۱ در دشت بسطام	۵۳
شکل ۱۳-۴: نمودار شولر نمونه‌های آب گروه ۲ در دشت بسطام	۵۳
شکل ۱۴-۴: نمونه‌های شولر نمونه‌های آب گروه ۳ در دشت بسطام	۵۴
شکل ۱۵-۴: نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۵۵

- شکل ۴-۱۶: رابطه نمایه‌های اشباع در منابع آب دشت بسطام..... ۵۶
- شکل ۴-۱۷: رابطه بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف در دشت بسطام..... ۵۸
- شکل ۴-۱۸: نمودار نسبت کلر به سدیم در مقابل کلر مربوط به دشت بسطام..... ۵۸
- شکل ۴-۱۹: نسبت SO_4+HCO_3 در مقابل $Ca+Mg$ در منابع آب بسطام..... ۵۹
- شکل ۴-۲۰: نسبت بین Na/Cl به $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$ در منابع مختلف آب دشت بسطام..... ۵۹
- شکل ۴-۲۱: تعیین کیفیت آب برای کشاورزی به کمک دیاگرام ویلکاکس ۶۱
- شکل ۴-۲۲: مقادیر شاخص کیفی آب برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۶۲
- شکل ۴-۲۳: نقشه پراکندگی غلظت سرب در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۶۴
- شکل ۴-۲۴: نمودار ستونی سرب در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۶۵
- شکل ۴-۲۵: نقشه پراکندگی غلظت روی در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۶۶
- شکل ۴-۲۶: نمودار ستونی روی در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۶۶
- شکل ۴-۲۷: نقشه پراکندگی غلظت مس در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۶۸
- شکل ۴-۲۸: نمودار ستونی مس در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۶۸
- شکل ۴-۲۹: نقشه پراکندگی غلظت کروم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۶۹
- شکل ۴-۳۰: نمودار ستونی کروم در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۰
- شکل ۴-۳۱: نقشه پراکندگی غلظت مولیبدن در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۷۱
- شکل ۴-۳۲: نمودار ستونی مولیبدن در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۱
- شکل ۴-۳۳: نقشه پراکندگی غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۷۳
- شکل ۴-۳۴: نمودار ستونی آرسنیک در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۳
- شکل ۴-۳۵: نقشه پراکندگی غلظت سلنیوم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۷۴
- شکل ۴-۳۶: نمودار ستونی سلنیوم در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۵
- شکل ۴-۳۷: نقشه پراکندگی غلظت آنتیموان در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۷۶
- شکل ۴-۳۸: نمودار ستونی آنتیموان در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۶
- شکل ۴-۳۹: نقشه پراکندگی غلظت وانادیوم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۷۷
- شکل ۴-۴۰: نمودار ستونی وانادیوم در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۸
- شکل ۴-۴۱: نقشه پراکندگی غلظت اورانیوم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۷۹

- شکل ۴-۴۲: نمودار ستونی اورانیوم در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۹
- شکل ۴-۴۳: نقشه پراکندگی غلظت فلزات بالقوه سمی در منطقه مورد مطالعه..... ۸۰
- شکل ۴-۴۴: نمودار شاخص درجه آلودگی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام ۸۱
- شکل ۴-۴۵: نقشه پراکندگی درجه آلودگی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۸۱
- شکل ۴-۴۶: نمودار مقادیر شاخص آلودگی فلزات سنگین نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام ۸۲
- شکل ۴-۴۷: نقشه پراکندگی شاخص آلودگی فلزات سنگین نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۸۳
- شکل ۴-۴۸: مولفه‌های استخراج شده نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۸۵
- شکل ۴-۴۹: خوشه‌بندی سلسله مراتبی برای متغیرهای اندازه‌گیری شده ۸۷
- شکل ۴-۵۰: گروه‌بندی نمونه‌های نیترات در آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۹۰
- شکل ۴-۵۱: نقشه هم‌غلظت یون نیترات در منطقه مورد مطالعه..... ۹۱
- شکل ۴-۵۲: نقشه پراکندگی مکانی غلظت یون نیترات در منطقه مورد مطالعه..... ۹۲
- شکل ۴-۵۳: نمودار $(NO_3+Cl)/HCO_3$ در مقابل EC ۹۳
- شکل ۴-۵۴: نمودار غلظت نیترات با یون‌های مختلف..... ۹۵

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: آمار ۲۶ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک شاهرود	۵
جدول ۱-۲: استاندارد غلظت نیترات در آب آشامیدنی	۱۹
جدول ۳-۱: حد آشکار سازی دستگاه ICP-MS برای عناصر مورد مطالعه	۲۹
جدول ۳-۲: مقادیر وزن پارامترهای آب و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی	۳۲
جدول ۳-۳: مقادیر WQI و رده‌بندی سازمان بهداشت جهانی	۳۳
جدول ۱-۴: مختصات و ارتفاع سطح ایستابی در پیزومتر در ۱۳۹۶ سال بر حسب متر	۳۷
جدول ۲-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت بسطام تیر ماه ۱۳۹۶	۴۰
جدول ۳-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی اندازه گیری شده نمونه های آب زیرزمینی دشت بسطام	۶۳
جدول ۴-۴: مقادیر شاخص‌های کیفی محاسبه شده برای نمونه‌های منابع آب زیرزمینی دشت بسطام	۸۳
جدول ۵-۴: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۸۴
جدول ۶-۴: مؤلفه‌های استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها از روش PCA	۸۶
جدول ۷-۴: غلظت نیترات اندازه‌گیری شده نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام	۸۸

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

آب آشامیدنی سالم و به دور از هر گونه آلودگی، یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در سلامت جوامع بشری و محیط زیست و جزء اصلی‌ترین جنبه‌های توسعه‌ی پایدار برای هر کشور می‌باشد. امروزه آلودگی‌های زیست‌محیطی، به ویژه آلودگی آب در اشکال مختلف، در نتیجه‌ی پیشرفت تکنولوژی و بالا رفتن استانداردهای زندگی، به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. از آنجا که آلاینده‌ها در ارتباط با مسائل زیست محیطی، مشکلاتی را موجب می‌شوند و شرایط محیطی را برای زندگی جانداران نامطلوب می‌گردانند، این مسأله توجه بسیاری از دولت‌مردان دنیا را به خود جلب نموده است. میزان این آلودگی‌ها در جوامع پیشرفته‌ی بشری در نتیجه‌ی فعالیت‌های انسانی که تکنولوژی مدرن دنیا را در خدمت دارند، روند فزاینده‌ای داشته است. با توجه به این که آب یکی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین عوامل حیات موجودات زنده است، از این نظر جلوگیری از آلودگی نیز به همان نسبت مهم و مورد توجه می‌باشد. بر این اساس آلودگی آب عبارت است از افزایش مقدار هر معرف اعم از فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که موجب تغییر خواص و نقش اساسی آن در مصارف ویژه‌اش شود. بر اساس برآورد انجمن حفاظت محیط زیست ایالت متحده‌ی آمریکا، تقریباً یک سوم آب‌های جهان به طور مشخص آلوده و کیفیت آب بر هم زده شده است.

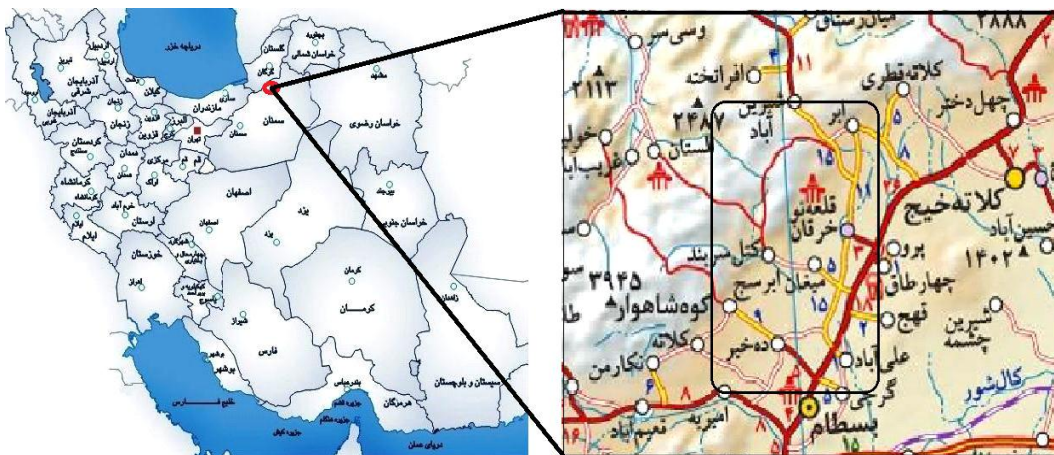
۱-۲ بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منبع تأمین آب در همه‌ی کشورهای دنیا محسوب می‌شود و استفاده از آن‌ها در آبیاری کشاورزی و مصارف شهری و صنعتی رو به افزایش است. با توجه به این که ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد و تقریباً فاقد آب‌های سطحی کافی می‌باشد، آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز در ایران محسوب می‌شود. استفاده بیش از حد آب‌های زیرزمینی و ورود آلاینده‌ها به این منابع از طریق زباله‌های جامد شهری و صنعتی، هیدروکربن‌های نفتی، آلودگی ناشی از فلزات سنگین مانند آرسنیک، زباله‌های رادیواکتیو و نیترات مشکلات فراوانی را

برای این منابع به وجود آورده است. نیترات یکی از شایع‌ترین آلاینده‌های محلول در منابع آبی می‌باشد که اثر نامطلوبی بر سلامت انسان و محیط زیست می‌گذارد. نیترات علاوه بر چرخه‌ی طبیعی ازت، در اثر ورود فاضلاب انسانی، مواد زائد شهری، صنعتی و کشاورزی وارد منابع آبی می‌شود. استاندارد نیترات در آب آشامیدنی طبق سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است که افزایش بیش از حد آن در آب باعث ایجاد بیماری مهتموگلوبینمیا می‌شود و همچنین باعث افزایش رشد گیاهان آبی، کاهش اکسیژن آب و از بین رفتن ماهی‌ها می‌شود. فلزات سنگین نیز یکی از عوامل آلاینده‌ی آب زیرزمینی محسوب می‌شود که از طریق فاضلاب‌های شهری، شیرابه‌های حاصل از زباله‌ها، عملیات حاصل از معدنکاری و دفن غیر بهداشتی زباله‌ها وارد آب زیرزمینی می‌شود. این آلاینده‌ها نیز در صورت تجاوز از حد استاندارد می‌تواند مخاطراتی همچون مسمومیت و سرطان را در مصرف‌کنندگان ایجاد کند. با توجه به تعداد زیاد روستاها و فعالیت‌های کشاورزی امکان آلوده بودن دشت وجود دارد که هدف از انجام تحقیق بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی، اندازه‌گیری غلظت نیترات و فلزات سنگین در دشت بسطام می‌باشد.

۱-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

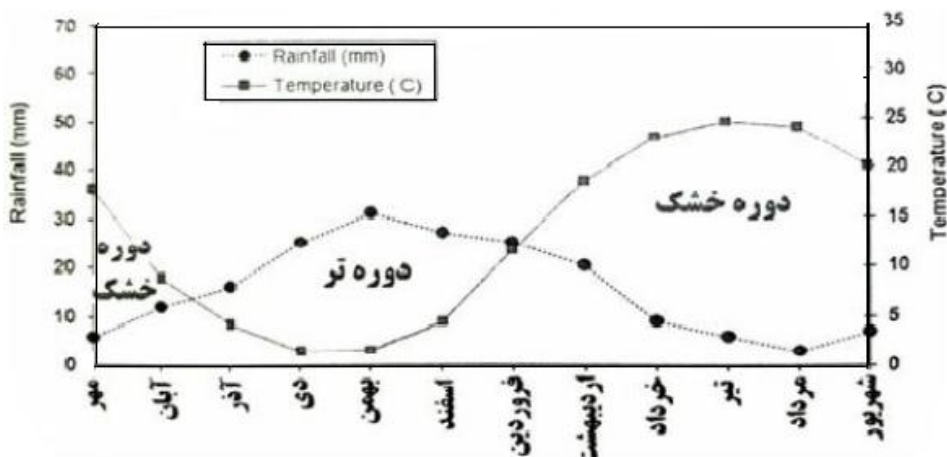
دشت بسطام با وسعتی حدود ۴۸۴ کیلومتر مربع، در ۶ کیلومتری شمال شرقی شهرستان شاهرود (استان سمنان) در مسیر جاده شاهرود - آزاد شهر واقع شده است. این دشت از طرف شمال به رشته کوه شاهوار، از سمت شرق به کوه سیاه و زرین‌کمر و از جنوب به ارتفاعات آهکی بین این دشت و شاهرود ختم می‌شود. منطقه‌ی بسطام بین مختصات ۵۵ درجه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه طول‌های شرقی و ۳۶ درجه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض‌های شمالی قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا، به طور متوسط ۱۴۰۰ متر است. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۴-۱ هواشناسی منطقه مورد مطالعه

دشت بسطام در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک قرار دارد. به طور کلی در دشت بسطام مقدار بارندگی و درجه حرارت هوا در نقاط مختلف دشت، بسیار متنوع است. به این ترتیب که در محدوده‌ی جنوب دشت، مقدار بارندگی و میانگین درجه حرارت هوا کم و بیش شبیه به دشت شاهرود است. در محدوده‌ی مجن، مقدار بارندگی در مقایسه با دیگر نقاط دشت به طور قابل توجهی بالاتر و میانگین درجه حرارت هوا نیز کمتر می‌باشد. شکل (۲-۱) نمودار آمبروترمیک دشت بسطام را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱: نمودار آمبروترمیک بسطام در سال ۱۳۹۰

به منظور بررسی آب و هوا و اقلیم مورد مطالعه، از آمار ایستگاه سینوپتیک شهرستان شاهرود استفاده گردیده است. با توجه به جدول (۱-۱) که مربوط به آمار ۲۶ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک شاهرود است،

در دوره‌ی آماری (۱۳۶۲-۱۳۸۸) متوسط درجه‌ی حرارت سالانه ۱۲/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین

بارش سالانه در حدود ۱۶۳ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۱-۱: آمار ۲۶ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک شاهرود

سال	بارش سالانه (mm)	متوسط درجه حرارت سالانه (سانتیگراد)
۶۲-۶۳	۱۶۲/۲	۱۲/۲
۶۳-۶۴	۱۲۵	۱۱/۸
۶۴-۶۵	۱۵۷/۵	۱۲/۲
۶۵-۶۶	۱۸۵	۱۳/۱
۶۶-۶۷	۲۲۴/۵	۱۱/۶
۶۷-۶۸	۱۲۵	۱۱/۶
۶۸-۶۹	۱۳۵/۹	۱۲/۲
۶۹-۷۰	۲۲۹	۱۱/۵
۷۰-۷۱	۲۵۱	۱۰
۷۱-۷۲	۱۹۹	۱۱/۱
۷۲-۷۳	۸۸	۱۱/۴
۷۳-۷۴	۱۹/۵	۱۱/۸
۷۴-۷۵	۱۸۲/۶	۱۱/۴
۷۵-۷۶	۸۱/۵	۱۲/۴
۷۶-۷۷	۱۷۷/۴	۱۲/۷
۷۷-۷۸	۹۲/۵	۱۳/۳
۷۸-۷۹	۱۰۴/۸	۱۲/۹
۷۹-۸۰	۱۶۳	۱۳
۸۰-۸۱	۱۱۸	۱۳/۳
۸۱-۸۲	۲۵۱	۱۲/۸
۸۲-۸۳	۱۸۱/۴	۱۳/۱
۸۳-۸۴	۱۴۹/۴	۱۲/۴
۸۴-۸۵	۱۴۲/۵	۱۳/۶
۸۵-۸۶	۱۷۷/۴	۱۲/۳
۸۶-۸۷	۹۷/۷	۱۲/۴
۸۷-۸۸	۲۰۲/۶	۱۲/۷
۸۸-۸۹	۱۹۱/۵	۱۳/۵
میانگین	۱۶۲/۶	۱۲/۳

۱-۵ زمین شناسی عمومی منطقه‌ی بسطام

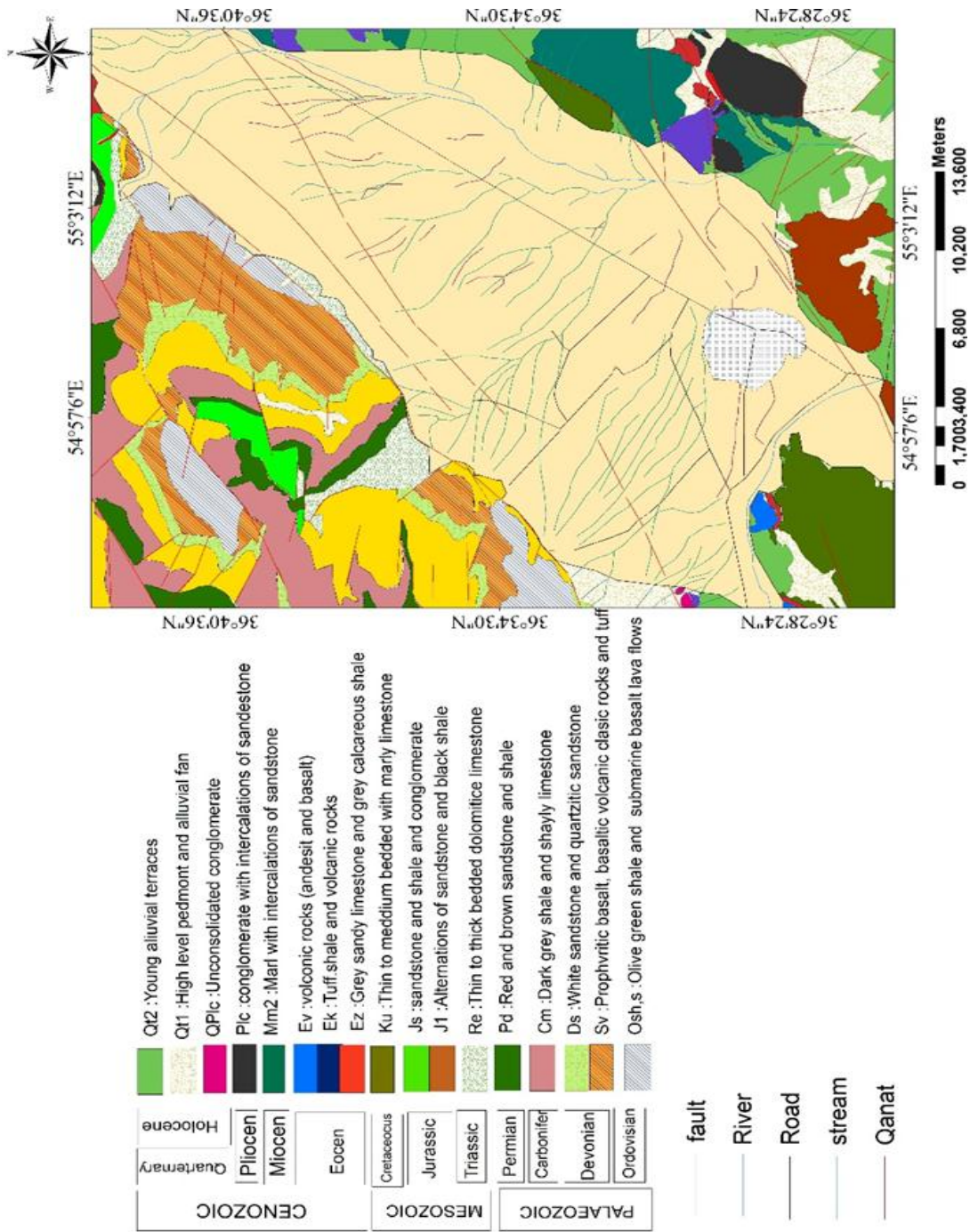
دشت بسطام بخشی از ایالت ساختاری البرز شرقی است. در منطقه‌ی مورد مطالعه سنگ‌ها و سازندهای مختلف از دوران پالئوزوئیک تا عهد حاضر رخنمون دارند. بخش‌های شمال غربی دشت، بیشتر از سنگ‌هایی با سن دونین، قسمت جنوب غربی پوشیده از سنگ‌هایی با سن کرتاسه، در بخش شرقی دشت، سنگ‌هایی با سن ائوسن و میوسن و قسمت مرکزی از رسوبات عهد حاضر (کواترنری) تشکیل شده است. کوه‌های این منطقه با روند شمال شرقی-جنوب غربی، جزئی از رشته کوه‌های البرز شرقی هستند که خود بخشی از قسمت شمالی کوهزایی آلپ-همالیا در آسیای غربی به شمار می‌رود که از شمال به بلوک فرو رفته خزر و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. گسل‌های اصلی در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل گسل میقان، گسل زرین کمر و شاهرود-ابر با روند شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشند. شکل (۱-۳) نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۱-۵-۱ چینه شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

ارتفاعات این ناحیه از سازندهای متنوع زمین‌شناسی از اردویسین تا عهد حاضر تشکیل شده است. بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه، مهم‌ترین سازندهایی که در منطقه رخنمون دارند از قدیم به جدید عبارتند از: شیرگشت، سلطان میدان، خوش ییلاق، مبارک، دورود، الیکا، لار، مجن، زیارت، کرج و رسوبات کواترنری (درویش زاده ۱۳۸۵).

۱-۵-۱-۱ نهشته‌های پالئوزوئیک

محدوده‌ی مورد بررسی در این دوره، تنها منحصر به رسوبات اردویسین، دونین، کربونیفر و پرمین است. رخنمون‌های سازند شیرگشت، سلطان میدان، خوش ییلاق، مبارک و در نهایت درود تنها در قسمت شمال غربی دشت برون‌زاد دارند.



شکل (۱-۳): نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه: ۱:۲۵۰۰۰۰)

سازند شیرگشت: این سازند با ضخامت ۱۰۰ متر از تناوب شیل سبز خاکستری با ماسه سنگ کواتزیتی تشکیل شده است. این تشکیلات مربوط به اردویسین پیشین می‌باشد. سازند سلطان میدان بازالت‌های پورفیری، آندزیت و توف با ضخامت ۷۵ متر و با سنی حدود دونین پسین در این سازند دیده می‌شوند.

سازند سلطان میدان: بازالت‌های پورفیری، آندزیت و توف با ضخامت ۷۵ متر و با سنی حدود دونین پسین در این سازند دیده می‌شوند.

سازند خوش بیلاق: این سازند دارای مجموعه‌ای از آهک‌های دولومیتی، شیل توفی، دولومیت و ماسه سنگ می‌باشد. همچنین با فسیل‌های فراوان باکیوپودا، تریولیت و مرجان مشخص می‌شود. این سازند مربوط به دوره‌ی دونین می‌باشد.

سازند مبارک: این سازند مربوط به دوران کربونیفر می‌باشد و با آهک‌های حاوی مواد آلی نازک تا متوسط، لایه شیل‌های با رنگ خاکستری تیره و آهک شیلی شناخته می‌شود.

سازند درود: این سازند با ضخامت ۱۵۰ متر از ماسه سنگ قهوه‌ای و قرمز، شیل و آهک تشکیل شده است. فسیل بلروفن گاستروپودی موجود در آهک‌های این سازند شاخص پرمین زیرین می‌باشد.

۱-۵-۱-۲ نهشته‌های مزوزوئیک

سازند الیکا: این سازند با ضخامتی حدود ۲۹۰ متر به تریاس زیرین و میانی تعلق دارد. این سازند از آهک‌های دولومیتی نازک تا ضخیم لایه تشکیل شده است و در بخش بالایی دشت بسطام رخنمون دارد. شاخص این سازند آهک‌های ورمیکوله‌دار می‌باشد.

سازند لار: این سازند از نظر لیتولوژی شامل آهک‌های لایه‌ای تا توده‌ای حاوی چرت با نوارهای سیلیسی با ضخامت ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر است و فسیل آمونیت پریسفتکس، سن این آهک‌ها را ژوراسیک بالایی تعیین می‌کند. رخنمون این سازند در بخش جنوب شرقی دشت می‌باشد.

سازند آبدراز: این سازند بیشتر از آهک‌های سفید رنگ نازک تا متوسط لایه تشکیل شده و در جنوب شرق رخنمون دارد.

۱-۵-۳ نهشته‌های سنوزوئیک

سازند زیارت: در منطقه‌ی مورد مطالعه، این سازند به روی سازند آبدراز قرار گرفته که متعلق به ائوسن زیرین است. این سازند از نظر سنگ شناسی، از آهک ماسه‌ای مایل به زرد و شیل آهکی خاکستری تیره تشکیل شده و فسیل‌های موجود در این سازند، انواع نوولیت‌ها می‌باشند. این سازند به دلیل وجود لایه‌ی آهکی برای ذخیره سازی آب‌های نفوذی اهمیت دارد.

سازند کرج: این سازند به روی سازند زیارت قرار دارد و بر اساس شواهد چینه شناسی و فسیل شناسی، این سازند متعلق به ائوسن میانی می‌باشد و از واحدهای توف سبز و سنگ‌های ولکانیکی با جنس آندزیت و بازالت، تشکیل شده است. در دوران ائوسن، رسوباتی از جنس مارن سبز روشن گچ‌دار با ماسه سنگ‌های بین لایه‌ای ایجاد شده است و در پلیوسن، رسوبات از جنس کنگلومرای پلی مکتیک با بین لایه‌های ماسه سنگی تشکیل یافته است.

۱-۵-۴ رسوبات کواترنری (عهد حاضر)

این رسوبات متعلق به آخرین دوران بوده و غالباً از نهشته‌های آبرفتی، پادگانه‌های مسطح و بادبزنی‌های آبرفتی رودخانه‌های عهد حاضر تشکیل شده است. این رسوبات به وسیله‌ی دریا‌های کم عمق و جریان‌های سطحی بر جا مانده‌اند که در سطح دشت‌ها و حاشیه‌ی ارتفاعات گسترش زیادی دارند.

۱-۵-۲ زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

فلات ایران از نگاه ساختمانی-رسوبی به چندین زون ساختاری تقسیم می‌شود که مرز جدایش بیشتر آن‌ها، گسل‌های اصلی یا رورانگی‌های مهم است. از دیدگاه زمین‌شناختی، منطقه‌ی مورد بررسی در دو پهنه‌ی ساختاری ایران مرکزی و البرز شرقی قرار گرفته است. بخش کوچکی از منطقه (کوه بسطام) در گوشه‌ی شمال غربی ورقه، با پهنه‌ی ساختاری البرز شرقی هم‌خوانی دارد. پهنه‌ی

ساختاری ایران مرکزی در برگیرنده‌ی گستره پهنای از شمال تا جنوب منطقه است. مرز جدایش این دو پهنه‌ی ساختاری در منطقه، گسل رانده‌ی شاهرود است. این گسل در حقیقت دنباله‌ی گسل اصلی و شناخته شده آبیک-فیروزکوه-شاهرود است. پهنه ایران مرکزی در محدوده ورقه بسطام به دلیل نزدیکی به زون البرز شرقی، دارای روندهای ساختاری اصلی با گرایش شمال شرقی- جنوب غربی است. پهنه البرز شرقی در منطقه مورد مطالعه تنها شامل سنگ‌های ژوراسیک (سازند دلیچای و لار) با رخساره کربناتی است (نبوی ۱۳۵۵).

۱-۶ هیدرولوژی دشت بسطام

دشت بسطام شامل دو زیر حوضه اصلی مجن و بسطام می‌باشد. با توجه به توپوگرافی کوهستانی و همچنین زمین‌های پر شیب و از طرف دیگر بارش‌های مناسب، دارای رودخانه‌های دائمی و متعدد است. از رودخانه‌های مهم منطقه که اغلب دارای دبی پایه می‌باشند، می‌توان به رودخانه تاش، فرحزاد، میقان، ابرسج و سرتنگه اشاره کرد. مجموع جریانات سطحی این محدوده از طریق رودخانه شاهرود و کال محمودآباد که واقع در دشت بسطام است، وارد حوضه شاهرود شده و در نهایت از کال شاهرود یا کال سیاه در جهت غرب به کویر حاج علیقلی تخلیه می‌گردد. پتانسیل آب‌های سطحی این حوضه حدود ۵ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است، که غالب این مقدار از منابع آب، به مصرف کشاورزی اهالی منطقه، به ویژه مردم منطقه مجن می‌رسد (ذاکری ۱۳۸۲). به غیر از رودخانه‌های دائمی ذکر شده، چندین رشته قنات در این محدوده وجود دارد که از ارتفاعات به سمت دشت بسطام کشیده شده و دشت بسطام را تغذیه می‌کند. از جمله این قنات‌ها می‌توان به قنات‌های صادق‌خان، امیریه، دولت آباد و میقان اشاره کرد. علاوه بر این، تعدادی چشمه در این ارتفاعات مشرف به دشت منطقه مورد مطالعه نیز وجود دارد که یکی از مهمترین آن‌ها چشمه مریم است.

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

۱-۲ مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب در همه کشورهای دنیا محسوب می‌گردند و استفاده از آن‌ها در آبیاری کشاورزی و مصارف شهری و صنعتی رو به افزایش است. استفاده بیش از حد آب‌های زیرزمینی و ورود آلاینده‌ها به این منابع از طریق زباله‌های جامد شهری و صنعتی، هیدروکربن‌های نفتی، آلودگی ناشی از فلزات سنگین مانند آرسنیک، زباله‌های رادیواکتیو و نیترات مشکلات فراوانی را برای این منابع به وجود آورده است. کیفیت آب زیرزمینی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زمین‌های کشاورزی مؤثر است و نقش مهمی را در میزان تولید محصولات دارد. فلزات سنگین تجزیه نمی‌شوند و به تدریج در بدن جانداران مثل گیاهان و جانوران تجمع می‌یابند، در بافت‌های چربی، عضلات و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌شود. یکی از شاخصه‌های مهم آلودگی منابع آب زیرزمینی حضور نیترات می‌باشد که بر اثر کاربرد انواع کودهای شیمیایی، آلی (دامی و انسانی)، تجزیه گیاهان و دیگر باقی مانده‌های آلی در خاک و تخلیه نامناسب فاضلاب بوجود می‌آید. گاهی اوقات، باران این عنصر کودی را به طرف آب‌های سطحی و زیرزمینی حرکت می‌دهد. بسیاری از این فرآیندها، موجب تشدید آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات می‌شوند (نیک عمل لاریجانی، ۱۳۹۰). از سال ۱۹۷۰ آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات به یک مشکل عمده زیست محیطی تبدیل شده است که در بسیاری از نقاط جهان گزارش آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات وجود دارد (Jonathan and Chrystina, 2008). نیترات یک ترکیبی از نیتروژن است که به طور طبیعی در غلظت متوسط در بسیاری از محیط‌ها وجود دارد. فعالیت‌های شیمیایی به دلیل استفاده از کودهای ازت‌دار، دفع مواد زائد جامد، نشت از شبکه دفع فاضلاب، شیرابه محل‌های دفن زباله یا فاضلاب و محل‌های دفن زغال-سنگ از جمله منابعی هستند که می‌توانند موجب افزایش غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی شوند (Fernando and David, 2005). با توجه به رابطه نزدیک غلظت نیترات با پارامترهای هیدروشیمیایی، در مطالعات بررسی غلظت و آلودگی نیترات مطالعات هیدروشیمیایی و کیفی نیز لازم و ضروری است.

۲-۲ عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی

یکی از مسائل مهم در مطالعات زیست‌محیطی بررسی کیفیت آب است. کیفیت منابع آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن اهمیت دارد. عوامل زیادی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار هستند. این عوامل یا در اثر پدیده‌های طبیعی (لیتولوژی، اقلیم، سرعت آب زیرزمینی، کیفیت آب‌های تغذیه‌ای، برهم کنش آب و خاک و سنگ و تعامل با سایر آبخوان‌ها) و یا فعالیت‌های انسانی (کشاورزی، صنعت و افزایش بهره برداری از منابع آب) ایجاد می‌گردد.

۱-۲-۲ اثر لیتولوژی

یکی از عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی جنس خاکی است که آب از آن عبور می‌کند (Mokik and Bbaublyte, 2005). آب زیرزمینی با عبور از خاک، موادی که از تجزیه خاک و سنگ به دست می‌آید را حل می‌کند و از این راه بر مقدار نمک خود می‌افزاید. انواع و غلظت نمک‌ها به سنگ و موادی که آب زیرزمینی با آن‌ها در تماس است، سرعت حرکت، مسافتی که طی کرده و منشأ بستگی دارد. کیفیت آب زیرزمینی با تغییر سنگ شناسی تغییر می‌کند. مهمترین سنگ‌هایی که در تماس با آب زیرزمینی دچار انحلال می‌شوند کانی‌های تبخیری‌اند، انحلال کانی‌های تبخیری چون ژپس و هالیت سبب از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی می‌شود.

۲-۲-۲ اثر اقلیم

صنعتی شدن جوامع در چند دهه اخیر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده است، این افزایش سبب گرم‌تر شدن جو کره زمین می‌شود و موجب تغییراتی در اقلیم می‌شود (Massah and Morid, 2006). پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی اثرات قابل توجهی بر سامانه‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی، بهداشت و صنعت دارد. تأثیر اقلیم از طریق ترکیب آب باران بر روی کیفیت آب اثر می‌گذارد، لذا افزایش پیوسته انتشار گازهای گلخانه‌ای این اثرات را تشدید خواهد کرد. تغییر اقلیم با تغییر در شرایط تغذیه ناشی از بارندگی و رواناب به صورت غیرمستقیم بر تخلیه و ذخیره آب

زیرزمینی اثر می‌گذارد. تغییرات آب و هوایی می‌تواند اثرات زیادی بر چرخه آب داشته باشد. کاهش بارندگی تغذیه آبخوان را با مشکل مواجه می‌کند و باعث افت تراز آب می‌شود که این مورد با کاهش شدید کیفیت آب همراه خواهد بود. با توجه به اینکه منابع زیرزمینی به عنوان یک منبع ارزشمند تأمین آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک هستند این مسئله باعث وارد شدن فشار و افت قابل توجه منابع زیرزمینی شده است.

۲-۲-۳ سرعت آب زیرزمینی

شیب آبی (گرادیان هیدرولیک)، نفوذپذیری، عمق سطح ایستابی، نوع آبخوان و عمق آبخوان بر سرعت جریان و کیفیت آب زیرزمینی تأثیر دارد.

۲-۲-۴ نفوذ آب شور

نفوذ آب شور از مهمترین عواملی است که منجر به کاهش کیفیت آب شرب و آبیاری می‌گردد. در بسیاری از مناطق ساحلی آب زیرزمینی به عنوان مهمترین منبع تأمین آب مورد نیاز مصارفی چون کشاورزی، شرب و صنعت تلقی می‌شود. در این نواحی منابع آب شیرین در معرض نفوذ آب‌های شور و لب شور قرار دارند، و همین امر همواره موجب ایجاد نگرانی‌هایی در این مناطق می‌شود (Melloul and Goldenberg, 1998). تداخل و نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی به دلیل افت سطح آب زیرزمینی صورت می‌گیرد و باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌شود (Barker et al., 1998). آب زیرزمینی هنگام عبور از خاک، مواد انحلال پذیر ناشی از هوازدگی خاک را به خود می‌افزاید. آب مازاد آبیاری هم مقدار زیادی نمک را وارد آب زیرزمینی می‌کند. غلظت نمک در آب‌هایی که از منطقه ریشه گیاهان عبور می‌کند چندین برابر آبی است که برای آبیاری به کار می‌رود، که این افزایش به این علت است که با افزایش تبخیر و تعرق غلظت نمک در آب افزایش می‌یابد.

۲-۲-۵ پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی

عوامل انسان‌زاد با رشد جمعیت، توسعه شهری، پساب‌های صنعتی، خانگی، کشاورزی و برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی باعث آلودگی و کاهش کیفیت آب‌ها می‌شود. آلودگی‌های انسان‌زاد برای مدت زیادی در منابع آب زیرزمینی باقی می‌مانند، زیرا حرکت آب در آبخوان به کندی پیش می‌رود. آلاینده‌های دارای منبع نقطه‌ای (فاضلاب‌های خانگی و صنعتی) را می‌توان قبل از ورود به آب زیرزمینی تصفیه کرد. پساب‌های کشاورزی که حاوی کودهای شیمیایی‌اند و منبع غیرنقطه‌ای به شمار می‌روند را به سختی می‌توان تصفیه کرد، بنابراین پساب کشاورزی نسبت به فاضلاب‌های شهری و صنعتی نقش مهمتری بر کاهش کیفیت آب زیرزمینی دارد دفع فاضلاب‌های شهری و مواد مضر خطرناک خروجی از کارخانه‌ها و صنایع تولیدی، از مسائل مهم جهان امروز است. دفع نادرست فاضلاب در بسیاری از شهرهای کشورهای توسعه نیافته محیط را به گونه‌ای آلوده کرده که مردم در معرض بیماری‌های عفونی، انگلی و بیماری‌های ناشی از عناصر سمی قرار گرفته‌اند. با اینکه بسیاری از مواد شیمیایی به صورت طبیعی در آب وجود دارند اما در غلظت‌های بالا باعث آلودگی آب می‌شوند (El-sayedand Salem, 2015).

۳-۲ مروری بر مطالعات پیشین در مورد خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب

کلانتریان و کرمی (۱۳۸۸) با هدف بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی منطقه تنکابن نشان دادند که با وجود پتانسیل آلودگی زیادی که در منطقه وجود دارد سفره آب زیرزمینی در کنار دریای مازندران آلوده نیست، علت آن بارش زیاد و تغذیه بالا به سفره آب زیرزمینی می‌باشد و از طرف دیگر به علت دانه درشت بودن رسوبات پوشاننده زمان ماندگاری آب در آبخوان کوتاه است و غلظت عناصر محلول در آب زیاد نیست.

نتایج محمدی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین با استفاده از روش‌های زمین آمار نشان داد که غلظت (TDS) در منطقه باعث نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن شده است و دلایل احتمالی آن را مدیریت آبی نامناسب،

نفوذ عمقی آب برگشتی کشاورزی به سطح آب‌های زیرزمینی، مصرف بی‌رویه کود و سموم شیمیایی در منطقه و خصوصیات زمین‌شناسی بیان کردند.

افخمی نهند (۱۳۹۵) با مطالعاتی که روی دشت شیرآمین شهرستان عجب شیر داشتند به این نتیجه رسیدند که به علت برداشت بیش از حد مجاز آب از آبخوان دشت و نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به مناطق ساحلی این آبخوان و عدم تغذیه کافی آبخوان دشت به طریق طبیعی، کیفیت آب زیرزمینی این دشت کاهش یافته است.

در پژوهشی کیفیت آب زیرزمینی دشت کشاورزی زرآباد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل هیدروشیمی و هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی نشان داد که آب آبخوان کلروره-سولفات و سولفات-کلروره و رخساره غالب آن سدیک است که این امر به علت نزدیکی این محدوده به دریا و خروجی حوضه است. فلزات سرب، نیکل، آرسنیک و آهن در آبخوان غلظت بالاتر از استانداردهای WHO و EPA داشتند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی گویای آن بود که هر دو منشأ انسان‌زاد و زمین‌زاد در پراکندگی این عناصر مشارکت دارند. کاربرد کودهای سولفات و سموم ارگانوکلره در زمین‌های کشاورزی که می‌تواند باعث رهاسازی عناصر به خاک‌های کشاورزی و فرونشست آنها به آب‌های زیرزمینی دشت زرآباد شود، از مهمترین عوامل انسان‌زاد آلودگی آب زیرزمینی منطقه است (وحیدی‌فر، ۱۳۹۳).

فرنگستاد و همکاران (Frengstad et al., 2000) با مطالعه‌ی شیمی آب زیرزمینی جنوب نروژ، به این نتیجه رسیدند که وجود عناصر جزئی در آب زیرزمینی به طور عمده توسط سنگ شناسی آبخوان کنترل می‌گردد همچنین تغییرات pH، تأثیر ویژه‌ای بر غلظت این عناصر دارد.

تاونسند و ویت‌مور (Townsend and Whittmore, 2005) با تشخیص منشأ نیترات و کلرید با استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمیایی و آماری به این نتیجه رسیدند که افزایش نیترات و کلرید آب زیرزمینی منطقه کانزاس به علت استفاده از کودهای نیتروژن دار و فضولات دامی می‌باشد و همبستگی مثبت بین نیترات و کلرید و سولفات نیز بیانگر همین علت است.

۴-۲ مروری بر چرخه نیتروژن

نیتروژن یک عنصر ضروری برای موجودات است اما در غلظت‌های بالاتر نیتروژن در آب زیرزمینی برای انسان مضر است (Yue et al., 2015). چرخه نیتروژن یکی از مهمترین چرخه‌های غذایی موجود در اکوسیستم‌ها است.

۵-۲ منابع نیترات در آب‌های زیرزمینی و سطحی

نیتروژن به عنوان یک ماده مغذی، کود نیتروژن به مقدار زیاد در چمن‌زار و باغات و محصولات کشاورزی کاربرد دارد علاوه بر کود نیتروژن در خاک به فرم آلی از تجزیه گیاهان و حیوانات بوجود می‌آید. فرم‌های مختلف نیتروژن در خاک توسط باکتری‌ها به نیترات تبدیل می‌شود. نیتروژن به فرم نیترات جذب گیاه می‌شود. به هر حال نیترات به راحتی با عبور آب از لایه‌های خاک به زمین نفوذ کرده و در اثر بارش یا آبیاری‌های شدید، به ریشه گیاهان و نهایتاً به آب‌های زیرزمینی می‌رسد. نیترات در آب‌های زیرزمینی یا از منابع نقطه‌ای مانند دفع فاضلاب دامداری‌ها و یا منابع غیر نقطه‌ای مانند مصرف کود کشاورزی در پارک‌ها ، چمن‌زارها و باغات نشأت می‌گیرد و یا به صورت طبیعی اتفاق می‌افتد. حداکثر مجاز غلظت نیترات که می‌تواند در آب آبیاری وجود داشته باشد، توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ۴۵ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است (US EPA 1996). مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران حداکثر غلظت نیترات در آب شرب را به میزان ۵۰ میلی‌گرم تعیین کرده است (بدیعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). نیترات در آب زیرزمینی می‌تواند منشأ طبیعی یا انسان‌زاد داشته باشد.

۲-۵-۱ منابع طبیعی

منابع طبیعی نیترات شامل تثبیت نیتروژن آلی توسط باکتری‌ها، کانه زایی نیتروژن فعال خاک فضولات و بقایای حیوانی و گیاهی، بارش، تثبیت نیتروژن جو و انحلال رسوبات تبخیری و خاک‌های غنی از نیترات است (Power and Schepers, 1989).

۲-۵-۲ منابع انسان‌زاد

غلظت بالای نیترات از منابع انسانی می‌تواند در اثر نشت فاضلاب‌های خانگی، استفاده از لجن فاضلاب در آبیاری، استفاده از کودهای شیمیایی و آفت کش‌ها، لندفیل‌ها باشد. معمولاً غلظت نیترات بیش از ۳ میلی‌گرم در لیتر در آب زیرزمینی نشان‌دهنده منشأ آلودگی انسان‌زاد است (Power and Schepers, 1989).

۲-۶ غلظت نیترات و کاربری اراضی

در نواحی شهری، فاضلاب شهری عامل اصلی در آلودگی سفره‌های زیرزمینی بوده و اثرات ناشی از شهرسازی بر منابع آب‌های زیرزمینی یکی از موضوعات مهم زیست‌محیطی و مورد علاقه تحقیق در سال‌های اخیر است. مشکل آلودگی آب‌های زیرزمینی در شهرهای واقع بر سفره‌های آبرفتی شدیدتر می‌باشد. به طور طبیعی سفره‌های آبرفتی آلودگی وارده به سفره را کاهش می‌دهند اما در صورتی که حجم آلودگی وارده بیش از ظرفیت تصفیه طبیعی خاک باشد، موجب آلودگی منابع آب زیرزمینی خواهد شد. افزایش سطح آب و کاهش ضخامت منطقه غیراشباع از جمله دلایل دیگر گسترش آلودگی است. آلودگی با منشأ فاضلاب خانگی سبب افزایش غلظت یون فسفات، کلراید، نیترات و باکتری‌های کلیفرم در آب‌زیرزمینی خواهد شد. در مناطق شهری، کشتارگاه‌ها و محل‌های قبلی دپوی زباله از جمله مناطق به شدت آلوده هستند. در اطراف قبرستان‌ها معمولاً غلظت یون فسفات خیلی بیشتر از سایر مناطق شهری است (Dorgham et al., 2004).

لی و همکاران (Lee et al., 2003) در ارزیابی غلظت نیترات با استفاده از GIS به این نتیجه رسیدند که اراضی با کاربری فضای سبز و کشاورزی بیشترین تأثیر در افزایش غلظت نیترات در فصول کم بارش و اراضی با کاربری مسکونی و تجاری باعث افزایش غلظت نیترات در فصل پربارش شده است.

۷-۲ اثر زیان بار نیترات بر سلامتی

خطر اولیه نیترات در آب‌های آشامیدنی زمانی اتفاق می‌افتد که در دستگاه گوارش فرم نیترات به نیتريت تبدیل شود. نیتريت باعث اکسید شدن آهن موجود در هموگلوبین گلبول‌های قرمز شده و نمی‌تواند اکسیژن را با خود حمل کند که به آن بیماری مهموگلوبینمیا گویند (Barker et al., 1998). نیترات یکی از شایع‌ترین آلوده‌کننده‌های آب زیرزمینی است در صورت مصرف آب آلوده به نیترات توسط نوزادان سبب کاهش اکسیژن در بدن آنان شده و در نهایت موجب مرگ آن‌ها می‌گردد (بدیعی-نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). سرطان معده، بیماری‌های قلبی عروقی، فشار خون و اثر بر سیستم‌های عصبی از اثرات مصرف غلظت بالای نیترات است (Gibson et al., 1987).

۸-۲ بررسی استانداردهای ملی و بین‌المللی کیفیت آب برای کنترل نیترات

جدول (۱-۲) استانداردهای مختلف و غلظت نیترات در آب آشامیدنی را نشان می‌دهد. حداکثر مقدار مجاز نیترات برای منابع آب آشامیدنی در استاندارد سازمان بهداشت محیط ایالات متحده (USEPA) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است.

جدول ۱-۲: استاندارد غلظت نیترات در آب آشامیدنی

استاندارد	حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب (میلی‌گرم در لیتر)
استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۹۵)	۵۰
استاندارد کیفیت آب آشامیدنی سازمان برنامه بودجه وزارت نیرو- ایران (۱۳۷۱)	۴۵
سازمان بهداشت جهانی (WHO)، (2008)	۵۰

۵۰	سازمان بهداشت ایالات متحده (EPA)،
۵۰	(1998)
۵۰	آژانس محیط زیست اروپا (EEA)، (1961)

۲-۹ مروری بر پژوهش‌های پیشین انجام شده در زمینه آلودگی نیترات

ملک آبادی و همکاران (۱۳۸۳) غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی استان اصفهان را بررسی کردند و متوجه شدند که بیشترین آلودگی نیترات در اکثر نواحی مربوط به مناطق کشاورزی بوده و مناطق صنعتی و شهری در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

قیصری و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی ناحیه جنوب شرق اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که در بعضی از نقاط، به خصوص در جنوب شرقی منطقه، غلظت نیترات در مقایسه با استانداردهای جهان بالا است حداکثر غلظت نیترات در مرحله اول و دوم نمونه برداری به ترتیب ۱۸۹/۱ و ۲۴۸/۳ میلی گرم در لیتر بوده است. در نمونه برداری اول ۸۰ درصد و در نمونه برداری دوم ۹۰ درصد از چاه‌ها، دارای غلظت نیترات بیش از حد مجاز (۴۵ میلی گرم در لیتر) بوده‌اند. میانگین غلظت نیترات در نمونه برداری اول و دوم به ترتیب ۷۶/۹ و ۹۳/۱ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شد که در ارتباط با تراکم کشاورزی در این مناطق و مصرف بی‌رویه کودهای ازته است.

آبادچی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت نیترات ناشی از فعالیتهای کشاورزی و صنعتی، توسعه سیستم های جمع آوری، فاضلاب و نشت از آنها می‌باشد. همچنین غلظت ترکیبات نیتروژنی روند رو به افزایشی دارد که دلیل اصلی آن عدم تکمیل شبکه جمع آوری فاضلاب در شهرها و همچنین استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی می باشد.

در پژوهشی که سلکی و مراد پور (۱۳۹۵) با هدف تعیین مقادیر و تهیه نقشه توزیع مکانی نیترات در دشت سرچهران فارس انجام شد. در این پژوهش روی هم‌رفته ۵۰ حلقه چاه برای اهداف نمونه برداری

انتخاب شدند و غلظت نیترات در آزمایشگاه به روش استاندارد مورد سنجش قرار گرفت. مقادیر نیترات اندازه گیری شده با استاندارد سازمان بهداشت جهانی مقایسه شد. هر چند تغییرات افزایشی یا کاهش‌ی جزئی در غلظت نیترات برخی چاه‌ها مشاهده گردید، اما زیر حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۵۰ میلی گرم در لیتر) بودند. به نظر می‌رسد غلظت نیترات در دشت از منابع غیر نقطه‌ای (استفاده از کودهای نیتروژنی) و منابع نقطه‌ای (فاضلاب شهری) متأثر شده است که بی‌شک مهم‌ترین عامل بروز آلودگی نیترات خواهند بود. الگوهای مکانی نیترات نشان داد که بیشترین مقادیر غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی در شمال شرقی و جنوب شرقی دشت سرچهان واقع شده‌اند. همچنین همبستگی آماری معنی داری بین غلظت نیترات با عمق چاه‌ها مشاهده نشد.

جیواناندام و همکاران (Jeevandam et al., 2007) با ارزیابی شیمی آب زیرزمینی حوضه رودخانه‌ی پونپار هند به این نتیجه دست یافتند که آب زیرزمینی به نیترات آلوده است و ورود نیترات، ناشی از تخلیه فاضلاب خانگی و مصرف کودهای شیمیایی است.

فابرو و همکاران (Fabro et al., 2015) در تحقیقی غلظت و توزیع مکانی نیترات در آبخوان کارستی مریدا در مکزیک را با استفاده از تکنیک‌های آماری و زمین آماری مورد بررسی قرار دادند. ۱۷۷ نمونه آب زیرزمینی از چهار سیستم تأمین آب شهر مریدا جمع آوری شده بود. غلظت نیترات در نمونه‌ها بین ۱۵/۵۱ تا ۷۰/۶۱ میلی‌گرم در لیتر اندازه گیری گردیده و همبستگی مثبت و معناداری ($p < 0.05$) بین نیترات و کلرید، سولفات و پتاسیم وجود داشت که پتانسیل آلودگی از فاضلاب خانگی و فعالیت‌های کشاورزی را نشان می‌دهد.

در ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی دشت شاهرود به یون نیترات مشخص شد که آلودگی در این دشت در مناطق شهری تحت تأثیر فاضلابهای شهری و خانگی بوده و در مناطق کشاورزی به دلیل ریزدانه بودن رسوبات، فعالیت های کشاورزی تأثیر چندانی بر غلظت نیترات آب های زیرزمینی نداشته است (مریم کلاتگی، ۱۳۹۳).

۲-۱۰ فلزات سنگین

فلزات سنگین به گروهی از فلزات اطلاق می‌شود که دارای وزن مخصوص بیش از ۵ گرم بر متر مکعب است. فلزات سنگین از طریق دفن زائدات شهری، صنایع، حمل و نقل، فعالیت‌های کشاورزی و کاربرد آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی در محیط انتشار یافته و اثرات نامطلوبی بر آن می‌گذارد. فلزات سنگین تجزیه نمی‌شوند و به تدریج در بدن تجمع پیدا می‌کنند. در بافت‌های چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب می‌کند و انباشته می‌شود. به دلیل داشتن ویژگی‌هایی نظیر تجمع پذیری در بافت‌ها، تجزیه ناپذیری، مقاومت نسبت به فرآیندهای بیولوژیکی دارند و با راه‌یابی به زنجیره غذایی موجودات زنده و در نهایت انسان را تحت تأثیر عوارض سمیت، سرطان‌زایی و اثرات ژنتیکی کوتاه و بلند قرار می‌دهد.

۲-۱۱ مروری بر مطالعات انجام شده درباره فلزات سنگین

علیدادی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی غلظت فلزات سنگین (کروم، کادمیم، سرب) در آب آشامیدنی شهر مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که، غلظت فلزات کروم و کادمیم در آب از حد استاندارد ملی و بین‌المللی کمتر است. تنها غلظت سرب در برخی مناطق اندکی از میزان استاندارد بالاتر و اختلاف میانگین آن در فصل بهار و تابستان معنی‌دار بود در حالی که این اختلاف برای دو فلز کروم و کادمیم معنی‌دار نبود. رابطه معناداری بین غلظت فلزات و نوع منبع آب مشاهده نشد. با توجه به این که مقادیر کروم و کادمیم در تمام و سرب در اکثر مناطق پایین‌تر از حد استانداردها بوده است، به نظر می‌رسد بافت کهنه و فرسوده لوله‌های آب‌رسانی می‌تواند در برخی از نقاط منجر به افزایش غلظت فلزات به ویژه سرب شود.

رحیم پور و عباس پور (۱۳۹۳) به پهنه بندی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از روش کریجینگ در شهرستان هریس پرداختند تجزیه و تحلیل نقشه توزیع مکانی آلودگی فلزات سنگین نشان داد که برای عناصر منگنز، بیشتر اراضی در محدوده کفایت قرار دارد و برای عنصر مس، حدود ۹۲ درصد در

کلاس زیاد قرار داشته و حدود ۸ درصد از محدوده مورد مطالعه دچار آلودگی بوده است برای عناصر روی و آهن نه تنها آلودگی مشاهده نشده بلکه به ترتیب حدود ۹۶ و ۸۰ درصد دچار کمبود بود. رهنمای رهسپار و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی به عناصر سنگین و پهنه بندی آن در منطقه گیلان مرکزی به کمک زمین آمار پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت کادمیوم و سرب در چاه‌های محدوده‌ی گیلان مرکزی، بالاتر از استانداردهای آب و غلظت روی و مس، پایین‌تر از این استانداردها می‌باشد.

پناهی و کرمی (۱۳۹۵) به منظور بررسی خصوصیات آب‌های زیرزمینی و کیفیت این آب‌ها از نظر سرب و کادمیم در دشت سیلاخور شهرستان بروجرد در استان لرستان با متوسط بارندگی سالیانه ۴۵۱ میلی متر طی سالهای ۱۳۹۰-۱۳۹۲ که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار عناصر سنگین مربوط به مناطق صنعتی می‌باشد و همچنین منقه سراسیابه در بخش جنوبی شهر بروجرد بیشترین میزان کادمیم را داراست (۰/۰۱۹ میلی گرم در لیتر) تجمع نفوذ فاضلاب‌های شهری، کارگاه‌های صنعتی شامل ریخته‌گری‌ها و خدمات خودرویی و کارگاه‌های رنگ‌آمیزی باعث تجمع این عنصر در منطقه شده است. تجمع سرب بیشترین مقدار را در کل منطقه نشان می‌دهد و همچنین در ترمینال مسافربری نیز مقدار سرب در آب‌های زیرزمینی بسیار زیاد است که می‌تواند ناشی از تردد بیش از اندازه اتومبیل‌ها در این مکان باشد.

لیونگ و جیائو (Leung and jiao, 2006) با مطالعه‌ی فلزات سنگین و عناصر جزئی در آب‌های زیرزمینی هنگ‌کنگ به این نتیجه دست یافتند که ورود فاضلاب‌های شهری، منشأ برخی فلزات بالقوه سمی در آب زیرزمینی است.

منظور و همکاران (Manzoor et al., 2006) با مطالعه فلزات بالقوه سمی در فاضلاب‌های صنایع نساجی منطقه حنار پاکستان، به این نتیجه رسیدند که منبع اصلی آلاینده‌های سرب، کادمیم، روی و نیکل در آب زیرزمینی و خاک منطقه، فاضلاب صنایع نساجی است.

کمره‌ای و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه غلظت فلزات سنگین در منابع آب شهر بروجرد به این نتیجه رسیدند که منابع آب سطحی به علت ورود فاضلاب شهری و فلزات سنگین آلوده است، اما غلظت این عناصر در منابع آب زیرزمینی، پایین‌تر از مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی است.

فصل سوم

روش انجام کار

۳-۱ مقدمه

در این بخش کارهای صحرائی و آزمایشگاهی که برای بررسی‌های هیدروشیمیایی، اندازه‌گیری یون نیترات و فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام انجام شده است به طور مختصر بیان می‌شود. به طور کلی فعالیت‌های صورت گرفته برای انجام این تحقیق را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی نمود:

۱. جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های لازم دشت بسطام در رابطه با کمیت آب‌های زیرزمینی.
۲. نمونه‌برداری از منابع آب انتخابی در دشت بسطام جهت آنالیز هیدروشیمیایی، فلزات سنگین و نیترات.
۳. بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌های آبخوان.
۴. ترسیم منحنی‌ها و گراف‌های مختلف و تفسیر آن‌ها.

۳-۲ جمع‌آوری آمار و داده‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی

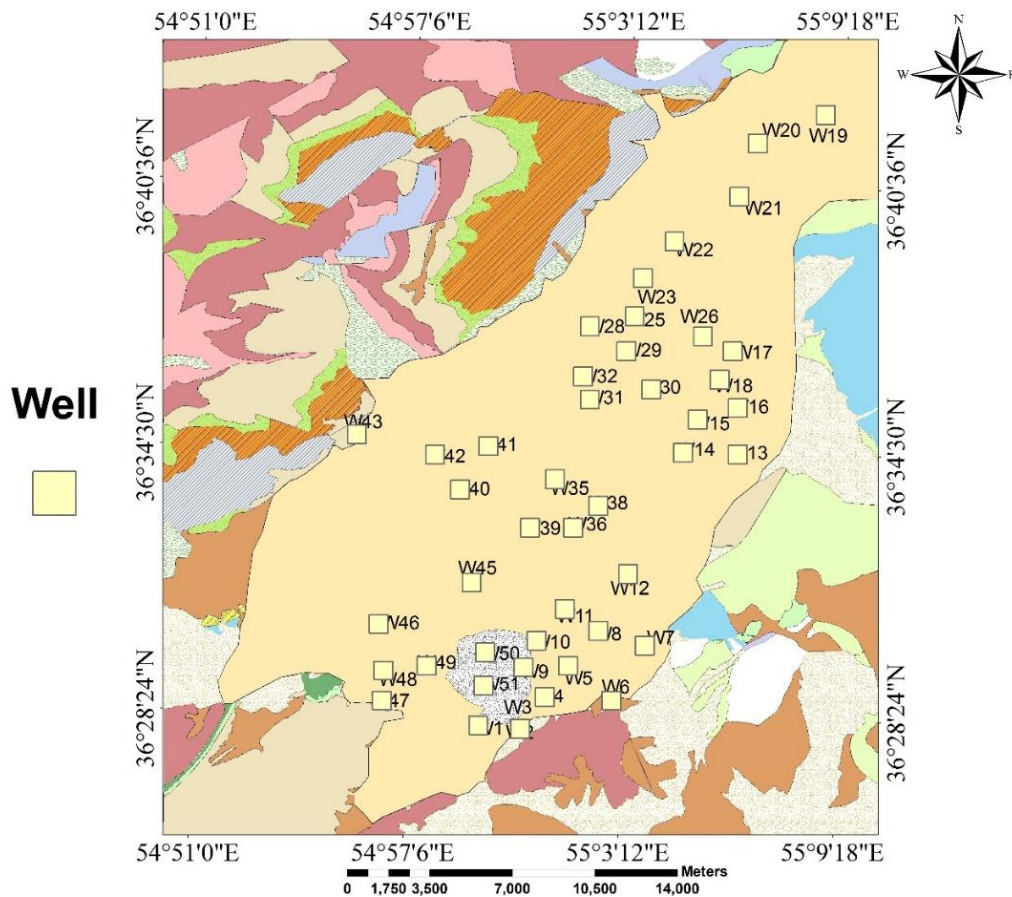
به منظور بررسی جامع منابع آب زیرزمینی در یک منطقه، وجود داده‌ها و اطلاعات مرتبط با کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی است. در این راستا اولین گام در بررسی یک آبخوان جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز است. بنابراین، اطلاعات هیدروژئوشیمی آبخوان، آمار منابع آب‌های زیرزمینی، اطلاعات سنگ‌شناسی و عوامل ساختاری منطقه مورد نظر از اداره امور آب شهرستان شاهرود، پایان‌نامه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی انجام شده در منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید.

۳-۳ تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه

جهت مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی مناطق مختلف، ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه بایستی دقیقاً مورد بررسی قرارگیرد که این امر در اکثر موارد به وسیله نقشه‌های زمین‌شناسی صورت می‌گیرد. بدین منظور نقشه زمین‌شناسی دشت بسطام با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰۰ بسطام و شاهرود با نرم‌افزار Arc GIS تهیه گردید.

۳-۴ نمونه برداری از آب‌های زیرزمینی و اندازه‌گیری پارامترهای هیدروشیمیایی

برای انجام این تحقیق و با توجه به وسعت منطقه تعداد ۵۲ نمونه آب‌زیرزمینی از چاه‌های پمپاژ برداشت گردید. شکل (۳-۱) نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد. نمونه برداری طی دو روز در تیر ماه ۱۳۹۶ انجام گرفت. مختصات چاه‌های نمونه برداری توسط دستگاه GPS ثبت و بر روی نقشه پلات گردیدند. برای نمونه برداری جهت آنالیز هیدروشیمیایی از بطری‌های ۱۵۰۰ cc استفاده گردید. لازم به ذکر است که در هنگام نمونه برداری ظرف مربوطه سه بار با آب چاه مورد نظر شستشو داده شد. شکل (۳-۲)، محل نمونه برداری یکی از چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱: موقعیت نقاط نمونه برداری دشت بسطام



شکل ۳-۲: محل نمونه برداری یکی از چاه‌های مورد بررسی

غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب، در آزمایشگاه آب و زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شد، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه EC متر با دقت $0/01$ میکروموس بر سانتیمتر و pH با استفاده از pH متر با دقت $0/01$ در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد.

۳-۵ پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب در آزمایشگاه آب و زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که یون‌های کلر، بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم توسط روش تیتراسیون، یون سولفات توسط روش کدورت‌سنجی و یون سدیم و پتاسیم به روش شعله‌سنجی و مقادیر غلظت یون نیترات نیز با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) موجود در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳: الف) دستگاه نورسنج شعله ای. ب) دستگاه کدورت سنج. ج) دستگاه کروماتوگرافی یونی مورد استفاده برای آنالیز نمونه‌ها

۳-۶ آماده سازی نمونه‌ها برای آنالیز فلزات سنگین

نمونه‌های آب برداشته شده برای اندازه گیری عناصر بالقوه سمی، ابتدا از فیلتر ۰/۴۵ میکرون عبور داده شده و سپس به هر نمونه چند قطره اسید نیتریک ۰/۲ مولار اضافه گردید تا pH آب به کمتر از ۲ کاهش یابد. اسیدی کردن نمونه‌ها به منظور تثبیت آنها و جلوگیری از تغییر خواص شیمیایی می‌باشد. پس از افزودن اسید، نمونه‌ها بلافاصله برای آنالیز عناصر بالقوه سمی (Cr, Mo, Cu, Zn, Pb, Sb, U, V, Se, As) به آزمایشگاه زرازمای تهران فرستاده شدند. در آزمایشگاه غلظت عناصر بالقوه سمی توسط دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شدند. حد آشکارسازی دستگاه-ICP-MS برای عناصر مورد مطالعه در جدول (۳-۱) آورده شده است.

جدول ۳-۱: حد آشکار سازی دستگاه ICP-MS برای عناصر مورد مطالعه

نام عنصر	Zn	Se	Pb	Mo	Cu	As	Cr	Sb	U	V
حد آشکارسازی دستگاه	۱	۰/۱	۱	۰/۱	۱	۰/۱	۱	۰/۱	۱	۱

۷-۳ برآورد صحت نتایج

درصد خطای آنالیز یون‌های اصلی در هر نمونه آب، از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد (Hounslow, 1995)

$$\text{رابطه ۱-۳} \quad \text{درصد خطا} = \left| \frac{\sum \text{آنیون‌ها} - \sum \text{کاتیون‌ها}}{\sum \text{آنیون‌ها} + \sum \text{کاتیون‌ها}} \right| \times 100$$

در این مطالعه درصد خطای آزمایش در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام کمتر از ۱۰ درصد بدست آمد.

۸-۳ تهیه نقشه های هم‌پتانسیل آبخوان دشت بسطام

برای تعیین جهت عمومی حرکت آب زیرزمینی در منطقه و بررسی مناطق تغذیه و تخلیه نقشه هم‌پتانسیل سطح ایستابی رسم شده است. نقشه هم‌پتانسیل ابتدا به صورت دستی رسم و سپس با استفاده از نرم افزار Arc Gis رقومی گردید.

۹-۳ تهیه نقشه های کیفی با استفاده از نرم افزارهای GIS

برای تهیه نقشه های کیفی مورد نیاز در این تحقیق از نرم افزارهای مختلف GIS استفاده شد. هم‌چنین نمودارهای شولر، ویلکاکس و پایپر با استفاده از نرم افزارهای Excel و Diagram ترسیم شده است. لازم به ذکر است که محل‌های نمونه‌گیری و هم‌چنین سایر منابع آلاینده واقع در منطقه، با استفاده از مختصات اندازه‌گیری شده توسط GPS بر روی نقشه تهیه شده توسط نرم افزارهای مرتبط مشخص گردید و در نهایت نقشه‌های مختلف ترسیم شد. نقشه هم EC مربوط به دشت به دلیل پیچیدگی منطقه به وسیله دست ترسیم و سپس با اعمال نظر کارشناسی تصحیح و توسط نرم افزار Arc Gis رقومی گردید.

۱۰-۳ محاسبه شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب

۱-۱۰-۳ درجه آلودگی

با استفاده از شاخص درجه آلودگی، کیفیت و میزان آلودگی آب مشخص می‌گردد. این شاخص برای هر نمونه آب جداگانه حساب می‌شود. درجه آلودگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Tijani, 2009).

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cfi \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

$$Cfi = \frac{CAi}{CNI} \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

در این رابطه Cfi ضریب آلودگی، CAi مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده و CNI غلظت استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای پارامتر i ام می‌باشد. با استفاده از مقادیر Cd می‌توان سطح آلودگی آب را به ۳ رده تقسیم کرد. مقادیر $1 < Cd < 3$ آلودگی پایین، مقادیر ۱ تا ۳ آلودگی متوسط و $Cd > 3$ آلودگی بالا را نشان می‌دهد.

۳-۱۰-۲ شاخص آلودگی فلزات سنگین

شاخص آلودگی فلزات سنگین برای بررسی آلوده بودن آب شرب استفاده می‌گردد و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Monhan et al, 1996).

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n WiQi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad \text{رابطه ۴-۳}$$

Wi وزن پارامتر i ام است که از طریق معکوس استاندارد ($Wi = \frac{1}{Si}$) محاسبه می‌شود و Si مقدار استاندارد برای فلز، n تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده و Qi زیر شاخص پارامتر i ام فلزات بالقوه سمی است که طبق این رابطه محاسبه می‌شود:

$$Qi = \sum_{i=1}^n \frac{|Mi - Ii|}{(Si - Ii)} * 100 \quad \text{رابطه ۵-۳}$$

در این رابطه، Ii مقدار ایده‌آل برای فلز است و Mi مقدار غلظت فلز سنگین محاسبه شده است. در این شاخص اگر HPI بیشتر از ۱۰۰ باشد، آب به فلزات سنگین آلوده است. در صورتی که HPI برابر با ۱۰۰ باشد، آب در آستانه آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد، اگر HPI کمتر از ۱۰۰ باشد، آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین است.

۳-۱۰-۳ شاخص کیفی (WQI)

این شاخص توسط سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۹۳ تدوین شده است. برای محاسبه شاخص کیفی آب حداقل ۳ پارامتر مورد نیاز است و بر اساس وزن‌دهی برای هر پارامتر با توجه به استاندارد آب شرب که توسط سازمان بهداشت جهانی مطرح شده است، کیفیت آب را بین صفر تا بی‌نهایت مشخص می‌کند. هر چه عدد شاخص بیشتر باشد آب کیفیت کمتری برای مصارف شرب دارد (WHO, 2008). برای محاسبه WQI سه مرحله لازم است:

۱- وزن‌دهی به پارامترهای در نظر گرفته شده با توجه به جدول (۲-۳) بر اساس اهمیت هر

پارامتر

جدول ۲-۳: مقادیر وزن پارامترهای آب و استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008)

پارامتر	وزن	Wi	استاندارد سازمان بهداشت جهانی
Ca ²⁺	۲	۰/۵	۷۵
Mg ²⁺	۱	۰/۰۲	۵۰
Na ⁺	۲	۰/۰۵	۲۰۰
K ⁺	۲	۰/۰۵	۱۲
HCO ₃ ⁻	۳	۰/۰۸	۳۰۰
SO ₄ ⁻	۴	۰/۱۱	۲۵۰
Cl ⁻	۳	۰/۰۸	۲۵۰
EC	۴	۰/۱۱	۵۰۰
pH	۴	۰/۱۱	۷/۵
NO ₃ ⁻	۵	۰/۱۳	۵۰
TH	۲	۰/۰۵	۱۵۰

۲- وزن نسبی از رابطه (۳-۶) محاسبه می‌شود.

$$W_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

رابطه ۳-۶

۳- مقیاس رتبه‌بندی کیفی (qi) با استفاده از تقسیم غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب بر مقدار

استاندارد سازمان بهداشت جهانی محاسبه شده و در ۱۰۰ ضرب می‌شود.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad \text{رابطه ۷-۳}$$

$$SI_i = W_i \times q_i \quad \text{رابطه ۸-۳}$$

برای محاسبه WQI باید SI_i را برای هر پارامتر حساب کرد:

$$WQI = \sum SI_i \quad \text{رابطه ۹-۳}$$

که در این رابطه SI_i زیر شاخص پارامترها، q_i رتبه‌بندی براساس غلظت هر پارامتر و n تعداد

پارامترها می‌باشد. سپس مقادیر WQI محاسبه شده برای هر نمونه آب بر اساس جدول (۳-۳)

توصیف می‌شود.

جدول ۳-۳ مقادیر WQI و رده‌بندی سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1998)

کیفیت آب	مقدار شاخص
عالی	$WQI > 50$
خوب	50-100
ضعیف	100-200
خیلی ضعیف	200-300
غیر قابل شرب	$WQI > 300$

۳-۱۰-۴ روش‌های آماری تحلیل داده‌ها

به منظور تفسیر داده‌ها و ارزیابی منشأ احتمالی عناصر و توجیه رفتار شیمیایی آنها در منابع آب

زیرزمینی دشت بسطام، روش‌های آماری چند متغیره، شامل ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای

سلسله مراتبی با استفاده از نرم افزار SPSS 19 محاسبه شدند.

۳-۱۰-۴-۱ ضریب همبستگی

از ضرایب همبستگی برای تعیین منشأ احتمالی عناصر، بررسی روابط بین عناصر و ارزیابی تأثیر

پارامترهای محیطی بر کیفیت آب استفاده می‌گردد. ضریب همبستگی بین +۱ تا -۱ می‌کند.

علامت مثبت بیانگر همبستگی مثبت و علامت منفی، بیانگر همبستگی منفی بین دو متغیر است.

۳-۱۰-۴ تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای عناصر یک روش تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی است که بیشتر به منظور طبقه‌بندی عناصر مورد بررسی در گروه‌ها یا زیرگروه‌ها است، به گونه‌ای که اختلاف بین عناصر در هر گروه حداقل و با گروه‌های دیگر حداکثر شود. در این مطالعه برای خوشه‌بندی عناصر از روش ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

فصل چهارم

ارزیابی هیدروژنوشیمیایی، بررسی غلظت نیتрат و فلزات سنگین در

دشت بسطام

۴-۱ مقدمه

دشت بسطام دارای وسعتی حدود ۴۸۴ کیلومتر مربع است. این منطقه هم شامل آبخوان آبرفتی و هم آبخوان سازند سخت است که با هم در ارتباط می‌باشند. ۳۹۳ کیلومتر مربع از این دشت جزء آبخوان آبرفتی بوده که ضخامت متوسط آن حدود ۷۰ متر می‌باشد. آبخوان‌های سازند سخت به ویژه در ارتفاعات تپال و صحرای جلالی و حوضه مجن از توسعه خوبی برخوردار بوده و سفره‌های آبی غنی را ایجاد کرده‌اند. ارتباط این آبخوان با سازندهای آهکی مجاور باعث شده تا علاوه بر تغذیه آن‌ها از طریق آب‌های نفوذی سطحی، از تغذیه زیرزمینی این آبخوان‌های غنی نیز بهره‌مند شوند. سنگ بستر در مرکز، شرق و شمال غربی دشت از مارن‌های میوپلیوسن و در شمال از آهک‌ها تشکیل شده است. سنگ بستر منطقه در نواحی مرکزی و شمال غرب بالا آمده و رخنمون‌های پراکنده آن در برخی قسمت‌های مرکزی دشت مشاهده می‌شود (نصرتی ۱۳۹۵). محمدزاده (۱۳۹۵) به مطالعه دشت بسطام با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS برای پردازش و تجزیه تحلیل کیفی آبخوان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص دراستیک برای دشت بسطام ۴۰ تا ۱۶۳ می‌باشد و بخش‌های مرکزی، غرب و شمال دشت دارای آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد است. آسیب‌پذیری بالا در این منطقه به علت شیب کم، عمق سطح آب زیرزمینی و بافت دانه درشت در محیط اشباع، غیر اشباع و محیط خاک است.

۴-۲ هیدروژئولوژی آبخوان دشت بسطام

در این بخش با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل به ارزیابی هیدروژئولوژیکی دشت بسطام پرداخته می‌شود.

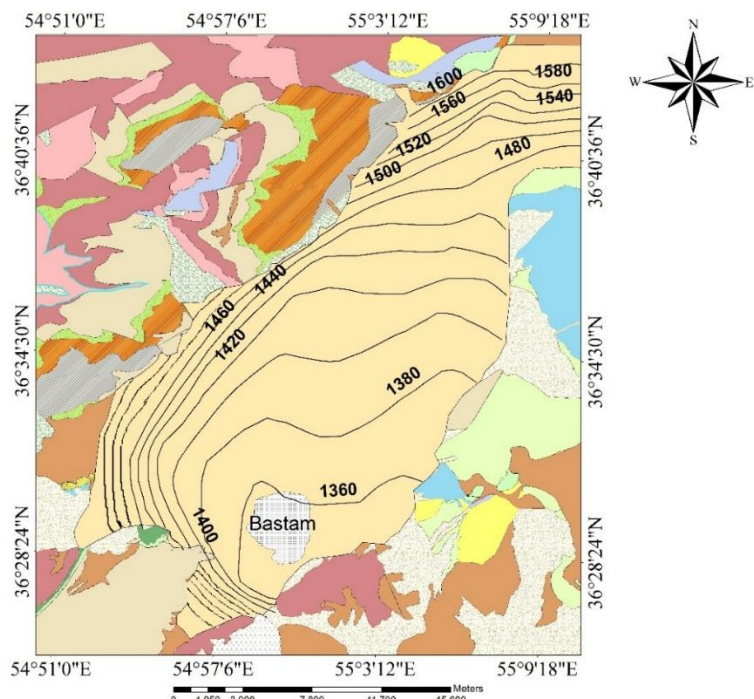
۴-۲-۱ بررسی نقشه هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه

برای تفسیر داده‌های هیدروشیمی، تعیین جهت جریان آب زیرزمینی، مشخص کردن محل‌های تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی، تعیین محل مناسب جهت حفر چاه جدید و هم‌چنین برای بدست آوردن

مقدار شیب هیدرولیکی از نقشه‌های هم‌پتانسیل استفاده می‌گردد. بدین منظور اطلاعات تغییرات سطح آب زیرزمینی مربوط به پیزومترهای موجود در سال ۱۳۹۶ از اداره امور آب شهرستان شاهرود گردآوری شد. در این دشت تعداد ۱۶ چاه پیزومتری وجود دارد که مختصات آن‌ها در جدول (۴-۱) ارائه شده است. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل (شکل ۴-۱) آبخوان بسطام، بالاترین تراز آب زیرزمینی مربوط به قسمت‌های شمال، غرب و جنوب‌غربی دشت و پایین‌ترین تراز آب زیرزمینی مربوط به نواحی شرقی و جنوب‌شرقی دشت است.

جدول ۴-۱: مختصات و ارتفاع سطح ایستابی در پیزومتر در اسفند ماه ۱۳۹۶ سال بر حسب متر

علامت اختصاری	نام محل	UTMY	UTMX	تراز سطح آب زیرزمینی (متر)
P1	ابر جاده قطری	4065761	333963	1614.3
P2	ابر گیاهی ۲	4062190	331129	1501.8
P3	اقبالیه ۱۲	4042137	314704	1352.8
P4	امیریه نکارمن	4040815	309932	1572.7
P5	دوراهی ابر	4060655	333822	1457.5
P6	دولت آباد ۳	4042793	318543	1331.6
P7	ابوالقاسم ۲	4038812	320170	1389.2
P8	شرف آباد ۵	4040159	325339	1344.8
P9	شریف آباد ۸	4051371	331374	1378.1
P10	غیاثی ۱۳	4040896	319581	1325.5
P11	قلعه بلوچ ۱۷	4046793	328503	1370.5
P12	کال چخماق ۶	4043738	323455	1371.1
P13	کلامو ۱۴	4052965	326789	1414
P14	مخزن	4036643	317997	1327.4
P15	میغان ۷	4053584	321549	1413.9
P16	نجفی	4055806	330955	1339.3



شکل ۴-۱: نقشه هم‌پتانسیل دشت بسطام براساس داده‌های سال ۱۳۹۶

شیب توپوگرافی دشت روند شمال‌غربی و غربی به سمت جنوب‌شرقی را نشان می‌دهد که تقریباً با جریان‌های سطحی و جریان آب زیرزمینی همسو است. به طور کلی آبخوان بسطام عمدتاً توسط سه جبهه مهم از ارتفاعات موجود در بخش‌های شمالی از سمت منطقه ابر، بخش جنوب‌غربی از سمت منطقه مجن و هم‌چنین به مقدار کمتر از سمت ارتفاعات غربی دشت تغذیه و در نهایت از بخش جنوب شرقی به سمت آبخوان شاهرود تخلیه می‌گردد. تغذیه عمده دشت بیشتر از سمت مجن و جنگل ابر صورت می‌گیرد. گرادیان هیدرولیکی نیز در محل‌های تغذیه دارای شیب زیادی است. مقادیر شیب هیدرولیکی دشت را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد. بیشترین نهشته‌های آبرفتی دانه درشت با نفوذپذیری بالا در قسمت جنوب‌غربی دشت دیده می‌شوند که حداکثر تغذیه آبخوان در این منطقه وجود دارد که سبب افزایش شیب هیدرولیکی تا حدود ۰/۰۷ شده است. در بخش شمالی دشت نیز گرادیان زیاد است اما مقدار تغذیه از این ناحیه کمتر صورت می‌گیرد و علت شیب زیاد می‌تواند به شیب زیادتر بستر آبخوان در این ناحیه و کمتر بودن عرض مقطع عبور جریان آب زیرزمینی مرتبط باشد. در قسمت مرکز دشت کمترین مقدار شیب هیدرولیکی مشاهده می‌شود، که علت آن را

می‌توان به برداشت بیش از حد آب زیرزمینی و کاهش مقدار دبی و جریان آب زیرزمینی و همچنین با احتمال کمتر به کم بودن شیب توپوگرافی و کاهش شیب سنگ بستر در این ناحیه نسبت داد. متوسط مقدار شیب هیدرولیکی آن نیز بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۸ است. در سایر نقاط دشت مقدار شیب هیدرولیکی از ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۱۵ متغیر است.

۳-۴ هیدروژئوشیمی آبخوان دشت بسطام

امروزه با پیشرفت صنایع و افزایش جمعیت بشر و عدم رعایت استانداردهای زیست محیطی، خطرات زیادی از لحاظ آلودگی منابع آبی وجود دارد. از آنجا که آب زیرزمینی به عنوان اصلی‌ترین منبع ذخیره آب شیرین مورد توجه و استفاده بشر است، تعیین خصوصیات کیفی آن جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین ارزیابی پارامترهای مؤثر بر تغییر کیفیت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

۱-۳-۴ جمع‌آوری داده‌های هیدروشیمیایی

به منظور ارزیابی هیدروژئوشیمیایی دشت بسطام، از ۵۲ چاه واقع در آبخوان آبرفتی دشت نمونه- برداری شده است. پارامترهای EC و pH همزمان با نمونه‌برداری و غلظت یون‌های عمده (Ca، Na، Mg، K، HCO₃، CO₃، Cl، NO₃، SO₄) در آزمایشگاه آب و زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری گردید. نتایج آنالیز شیمیایی چاه‌های آب منطقه در سال ۹۶ در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

۲-۳-۴ بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان

مطالعات هیدروشیمی جهت تعیین محل تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی، تغییرات املاح آب‌های زیرزمینی در طول مسیر حرکت و بررسی اثرات زمین‌شناسی بر روی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این منظور با استفاده از داده‌های کیفی اقدام به تهیه نقشه‌های هم EC کرده و سپس تغییرات یون‌های دیگر از جمله منیزیم، کلسیم، بی‌کربنات و سدیم در منابع مختلف با استفاده از جدیدترین آنالیز مورد ارزیابی قرار گرفته است علاوه بر این برای مشخص شدن هر چه بهتر وضعیت

هیدروژنوشیمیایی آبخوان دشت بسطام از نمودارهای متنوع مانند نمودار پایپر، شولر و ویلکاکس بهره گرفته شد.

جدول ۴-۲ نتایج آنالیز کیفی منابع آب زیرزمینی دشت بسطام در تیر ماه ۱۳۹۶

درصد خطا	جمع آنیون ها	غلظت آنیون ها meq/l			جمع کاتیون ها	غلظت کاتیون ها meq/l				EC µs/cm	شماره چاه
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
-7.2	6.55	3.1	2.4	1.05	5.67	1.7	1.66	2.252	0.058	674	W1
1.36	12.42	3.7	5.7	3.02	12.762	4.5	4.4	3.77	0.092	1421	W2
0.79	7.17	2.8	2.9	1.47	7.284	2.8	1.3	3.12	0.064	726	W3
-4.79	13.08	2.8	9.1	1.18	11.884	3.2	3	5.6	0.084	1451	W4
0.49	9.5	2.9	5	1.6	9.594	1.8	3.3	4.42	0.074	1085	W5
-0.44	12.67	3.7	7	1.97	12.559	4.3	3.1	5.07	0.089	1423	W6
-6.01	48.2	5	28.2	15	42.738	8.5	13.8	20.19	0.248	5500	W7
-4.06	12.16	4.4	4.8	2.96	11.212	3.7	3.3	4.13	0.082	1519	W8
6.02	11.85	5.3	4.3	2.25	13.368	3.8	5.8	3.42	0.348	1437	W9
-6.6	16.47	5.6	8	2.87	14.432	2.8	4.6	6.95	0.082	1305	W10
-7.14	15.49	6	6.6	2.89	13.425	3.2	4.3	5.82	0.105	1824	W11
-0.64	40.73	3.7	22.2	14.83	40.209	8	16.83	15.19	0.189	4300	W12
-5.37	20.49	4.1	12.6	3.79	18.4	3.4	4.2	10.7	0.1	2210	W13
-6.4	21.4	4.8	12.8	3.8	18.825	3.6	4.8	10.32	0.105	2720	W14
5.59	24.804	5.7	16	3.104	27.742	6	8.8	12.86	0.082	2570	W15
-6.51	22.61	4	16.3	2.31	19.847	2.9	4.3	12.56	0.087	2590	W16
-5.29	10.47	3.7	5.4	1.37	9.418	2.4	3.5	3.47	0.048	1117	W17
-6.86	19.62	4.3	12.8	2.52	17.102	2.6	3.7	10.7	0.102	2280	W18
7.5	7.06	3.3	2.7	1.06	8.205	2.1	2.6	3.49	0.015	423	W19
-0.22	7.59	3.7	2.8	1.09	7.557	2.21	2.3	3.03	0.017	499	W20
0.83	7.15	3.2	2.9	1.05	7.27	2.5	2.1	2.65	0.02	439	W21
-2.87	7.16	4.4	1.6	1.16	6.761	2.1	1.3	3.29	0.071	797	W22
-6.46	13.51	4	7.5	2.01	11.871	2.5	3.4	5.92	0.051	1581	W23
2.01	12.78	3.2	7.4	2.18	13.304	3	6.2	3.92	0.184	1445	W24
-6.65	16.55	4.7	9	2.85	14.487	3.4	5.5	5.49	0.097	2050	W25
-5.01	15.61	6.7	7	1.91	14.121	3.42	4.73	5.93	0.041	1611	W26
-2.64	20.96	2.9	11.5	6.56	19.881	4.01	3.82	11.9	0.151	2450	W27
-5.17	13.98	3.9	7.5	2.58	12.606	4.1	3.8	4.64	0.066	1476	W28
-1.31	13.53	4.1	6.8	2.63	13.179	3.3	4.3	5.49	0.089	1835	W29
-2.64	19.1	2.9	9.1	7.1	18.118	4.6	4.9	8.49	0.128	2320	W30
-4.77	15.73	2.9	9.5	3.33	14.298	2.67	3.68	7.8	0.148	2170	W31
-8.67	19.39	2.8	12.4	4.19	16.295	3.5	3.7	8.96	0.135	2440	W32
-7.14	17.25	3.8	8.5	4.95	14.952	3.6	6.1	5.15	0.102	2150	W33

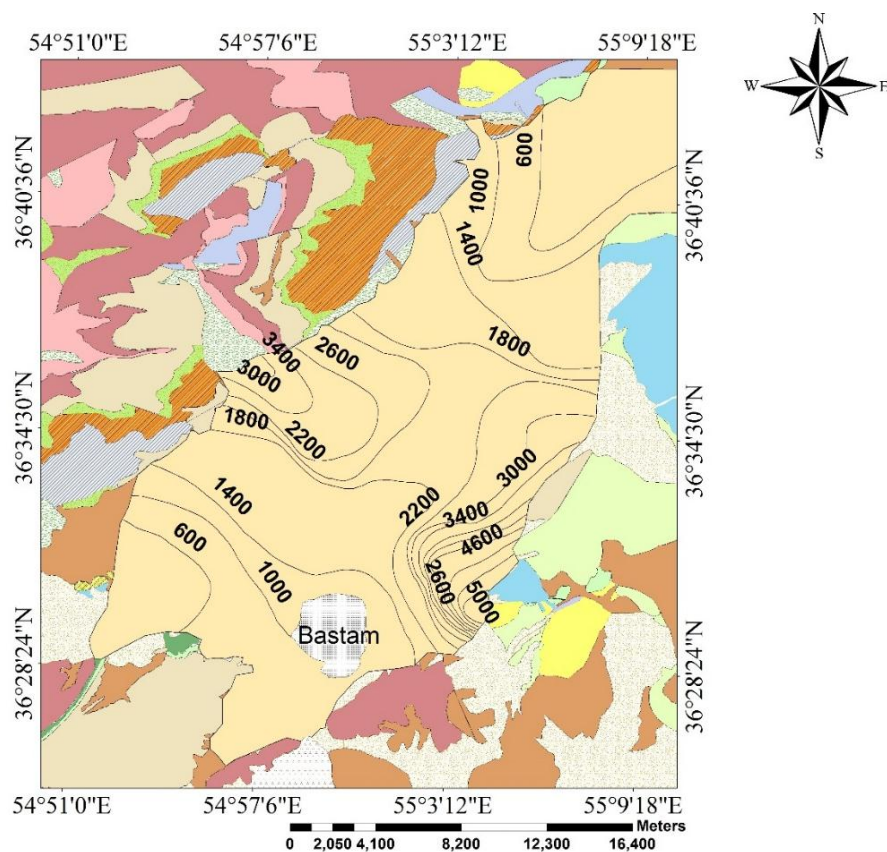
ادامه جدول ۲-۴

درصد خطا	جمع آنیون ها	غلظت آنیون ها meq/l			جمع کاتیون ها	غلظت کاتیون ها meq/l				EC μs/cm	شماره چاه
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
-8.64	20.41	5	8	7.41	17.163	3.2	8.2	5.62	0.143	2390	W34
-0.84	13.43	3.2	6.1	4.13	13.205	2.3	3.9	6.88	0.125	2040	W35
-1.34	12.22	3.1	5.2	3.92	11.897	2.3	4.2	5.29	0.107	1640	W36
1.1	17.11	4.3	8.6	4.21	17.49	4.7	6.6	5.97	0.22	2030	W38
3.15	11.14	3	5.1	3.04	11.864	2.8	4.4	4.57	0.094	1653	W39
-7.45	13.02	2.9	6.3	3.82	11.214	2.25	2.84	6.04	0.084	1590	W40
-7.72	23.57	3.2	15.4	4.97	20.19	2.4	4.5	13.08	0.21	2860	W41
2.28	13.5	4.1	6.4	3	14.13	4.3	4.5	5.23	0.1	1700	W42
4.16	13.97	4.8	6.2	2.97	15.183	3.9	6.3	4.53	0.453	1844	W43
-7.72	19.77	5	10.4	4.37	16.937	3.7	6.7	6.43	0.107	2580	W44
-8.5	14.93	2.7	8.3	3.93	12.59	3.11	3.03	6.33	0.12	1848	W45
5.84	7.22	3.1	2.1	2.02	8.116	3.6	1.9	2.55	0.066	859	W46
3.38	6.18	2.7	2.4	1.08	6.613	3.1	1.4	2.06	0.053	710	W47
7.55	6.65	2.8	2.6	1.25	7.736	3.1	2	2.58	0.056	797	W48
-2.4	6.87	2.9	2.7	1.27	6.548	2.4	1.8	2.29	0.058	746	W49
-4.02	19.12	3.3	13.3	2.52	17.642	3.6	4.5	9.44	0.102	2290	W50
-2.59	11.92	3.5	6.4	2.02	11.319	2.5	3.44	5.3	0.079	1416	W51
1.45	8.01	2.8	3.8	1.41	8.246	3.1	2	3.08	0.066	937	W52

۴-۳-۲-۱ بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی (EC) را هدایت ویژه یا رسانایی هم گویند. هر چه غلظت یون‌های محلول در آب بیشتر باشد، مقدار هدایت الکتریکی هم بیشتر می‌شود. با استفاده از هدایت الکتریکی آب می‌توان مقادیر مواد محلول در آب را تخمین زد. با بررسی تغییرات این پارامتر، می‌توان به تغییرات غلظت یون‌ها در مسیر حرکت جریان پی برد. عوامل بسیاری از جمله مقدار بارش، میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی، لیتولوژی آبخوان و سازندهای همجوار، زمان ماندگاری آب، سرعت حرکت آب زیرزمینی، پساب‌های کشاورزی، ورود فاضلاب‌ها و نفوذ آب شور بر روی مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند. جهت بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در محدوده مورد مطالعه، نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی در تیر ماه سال ۱۳۹۶ با استفاده از داده‌های ۵۲ حلقه چاه بهره‌برداری ترسیم گردید (شکل ۴-۲). همانطور که قبلاً بیان شده است، دشت بسطام از طریق دو جبهه اصلی ورودی آب زیرزمینی از شمال شرق و سمت ارتفاعات برفگیر ابرسج و از سمت جنوب غرب و سمت مجن تغذیه می‌گردد و در نهایت به سمت دشت شاهرود در جنوب شرق جریان می‌یابد. در یک نگاه کلی به نقشه هم هدایت الکتریکی، تغییرات هدایت الکتریکی تقریباً با جهت جریان آب زیرزمینی یکی می‌باشد، به طوری که جبهه‌های ورودی در شمال شرق دارای کمترین مقادیر EC بوده و در حال حاضر حدود ۶۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. در جبهه ورودی جنوب غرب نیز هدایت الکتریکی در حدود ۶۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده که به تدریج به سمت مرکز دشت افزایش یافته و به حدود ۱۸۰۰ تا ۲۴۴۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌رسد. اما همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود میزان هدایت الکتریکی در کناره‌های دشت، عمدتاً در سمت غرب و شرق، از بیشترین مقدار برخوردار است. به طوری که در سمت شرق به دلیل نفوذ جبهه آب شور، مقدار هدایت الکتریکی به حدود ۵۵۰۰ می‌رسد. در سمت غرب دشت نیز میزان هدایت الکتریکی حدود ۳۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده که به سمت مرکز کمتر شده است. کناره شرقی و غربی دشت دارای رسوبات تبخیری است و همان‌طوری که از نقشه هم‌پتانسیل مشاهده می‌شود تغذیه دشت از این نواحی صورت می‌گیرد، بنابراین بالا

بودن هدایت الکتریکی امری بدیهی است. قسمت شمالی و جنوب غربی جبهه‌ی ورودی آب زیرزمینی بوده بنابراین از هدایت الکتریکی کمتر و قسمت جنوب شرقی که خروجی دشت محسوب می‌شود از هدایت الکتریکی بیشتری برخوردار است.



شکل ۴-۲: نقشه تغییرات مقدار EC در دشت بسطام در سال ۱۳۹۶ (غلظت بر اساس $\mu\text{mhos/cm}$)

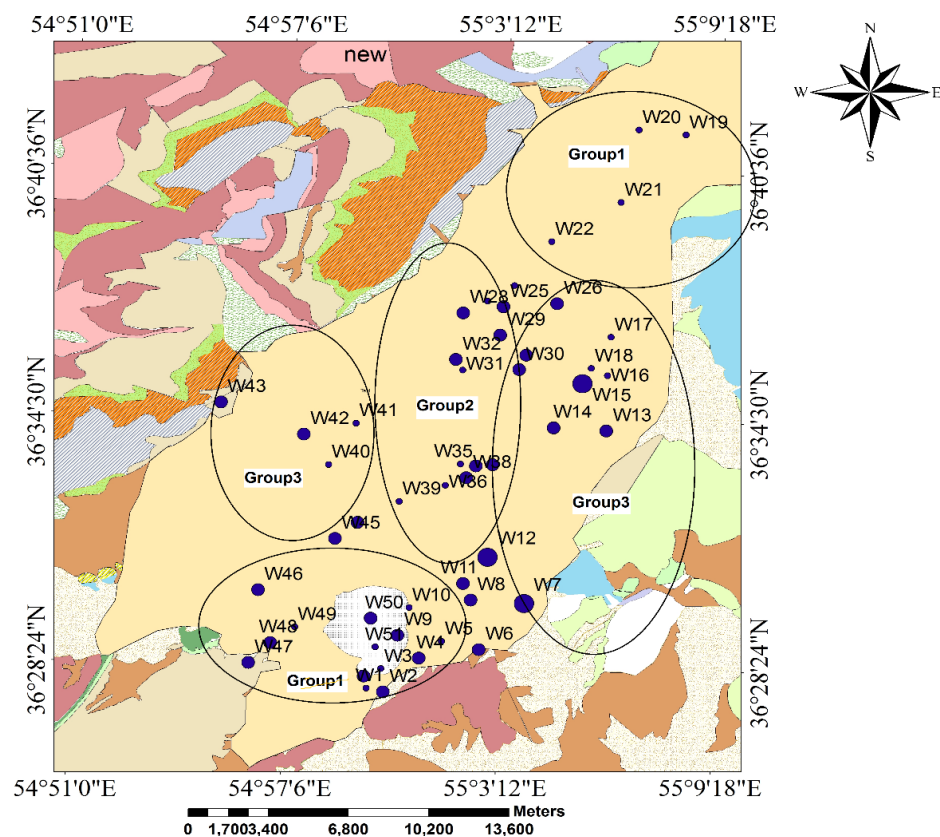
۴-۳-۲ بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در دشت بسطام

چاه‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس مقادیر هدایت الکتریکی به سه گروه کلی تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۴-۳).

گروه ۱: چاه‌های شیرین با بازه $EC < 1000 \mu\text{mhos/cm}$: این گروه شامل چاه‌های ۱، ۳، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۲ بوده که عمدتاً در مناطق تغذیه در شمال و جنوب غرب واقع شده‌اند.

گروه ۲: چاه‌های نیمه شور با بازه $1000 < EC < 2050 \mu\text{mohs/cm}$. این گروه شامل چاه‌های ۲، ۴، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۷، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۵، ۳۶، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۵۱ بوده که در مناطق مرکزی دشت واقع شده‌اند.

گروه ۳: چاه‌های شور با بازه $2050 \mu\text{mohs/cm} < EC$. این گروه شامل چاه‌های ۷، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۷، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۴۱، ۴۴، ۵۰ بوده که در مناطق منتهی‌الیه شرقی و غربی دشت واقع شده‌اند.

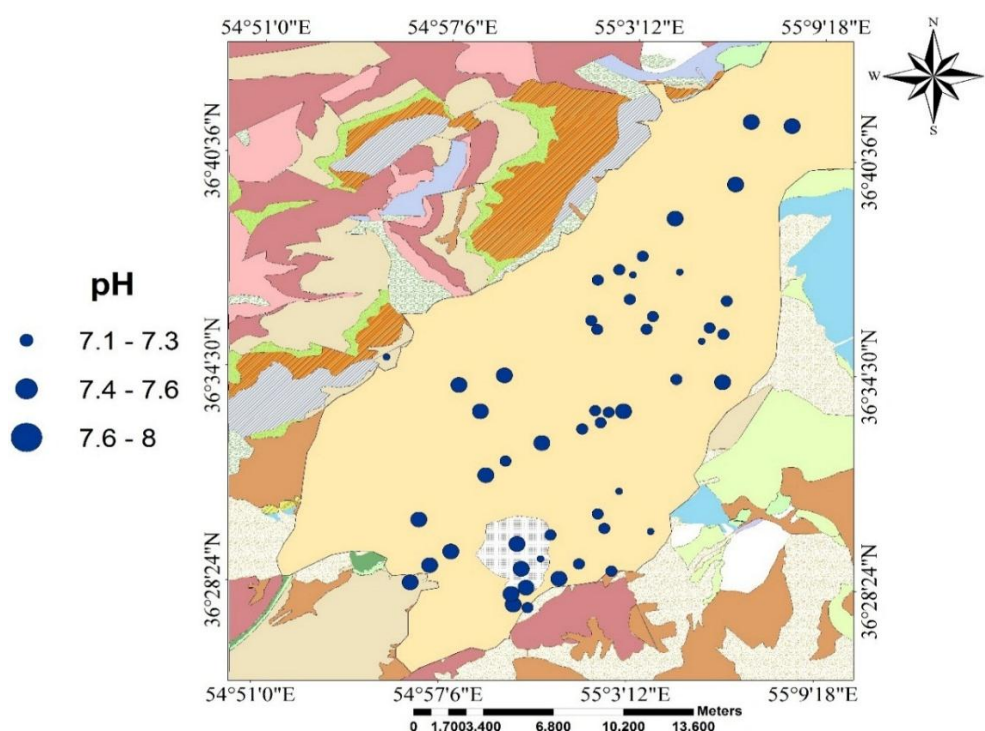


شکل ۴-۳: گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام براساس EC

۴-۳-۲-۳ تغییرات میزان pH در نمونه‌های آب

pH میزان اسیدی یا بازی بودن را مشخص می‌کند. pH یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب است که نشان‌دهنده غلظت یون هیدروژن در آب است و می‌تواند انحلال مواد و فعالیت‌های بیولوژیکی آن را تحت تأثیر قرار دهد، به همین علت در آنالیزهای کیفی برای طبقه‌بندی آب به کار

برده می‌شود. آب‌های طبیعی معمولاً دارای pH ۶ تا ۹ هستند و این میزان تحت تأثیر عواملی چون میزان دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و درجه حرارت آب است. به طوری که با افزایش دما و دی‌اکسید کربن محلول در آب pH کاهش و با افزایش میزان یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب pH افزایش می‌یابد. در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه کمترین pH حدود ۷/۱۶ و بیشترین pH حدود ۸/۰۳ می‌باشد (شکل ۴-۴). نمونه‌های آب شرب مورد مطالعه اکثرآ دارای pH خنثی هستند. با توجه به شکل مشخص می‌شود که مقادیر pH در مناطق شمالی، غربی و جنوبی دشت بیشتر از مناطق شرقی و مرکزی دشت است.

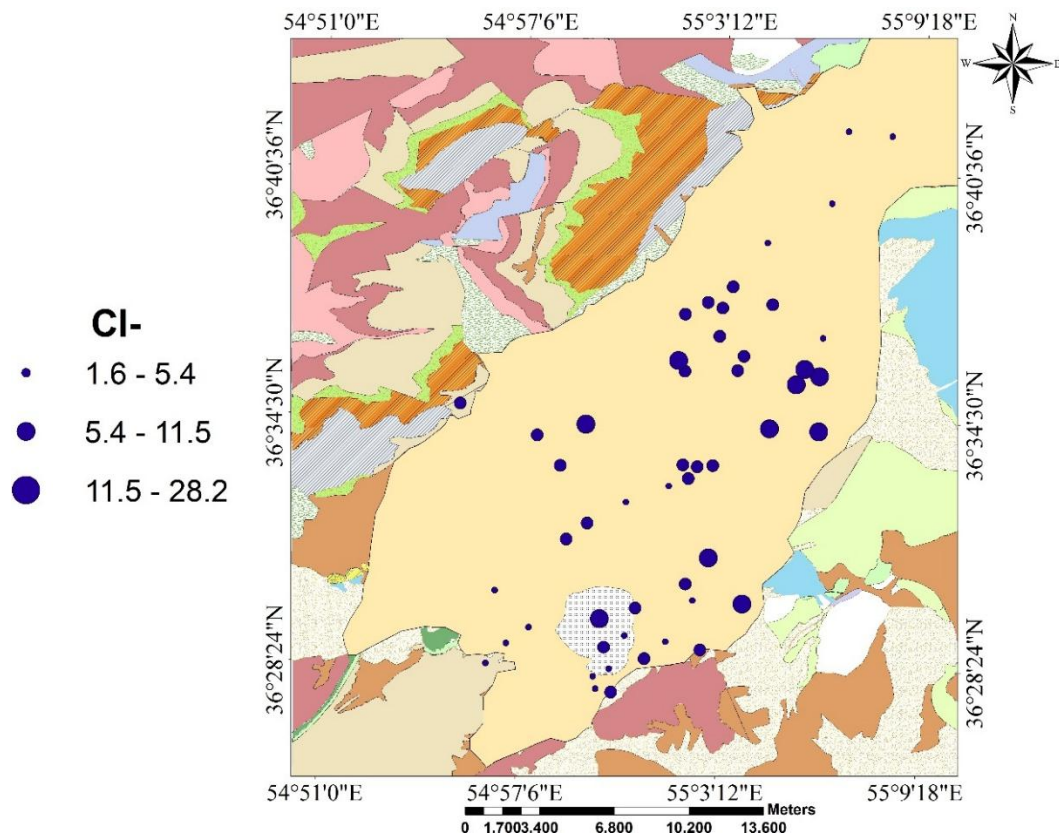


شکل ۴-۴: نقشه تغییرات pH در منابع آب زیرزمینی شت بسطام

۴-۲-۳-۴ بررسی تغییرات یون کلر

یون کلر یکی از فراوانترین آنیون‌ها است. منشأ اصلی یون کلر انحلال سازندهای تبخیری است. علت وجود یون کلر در آب‌های زیرزمینی، نفوذ آب شور و انحلال هالیت است. با توجه به نقشه مشخص می‌شود که در شرق و جنوب شرق دشت میزان کلر افزایش یافته است (شکل ۴-۵). بیشترین مقدار کلر در ایستگاه ۷ و ۱۲ با مقادیر ۲۸ و ۲۲ میلی‌اکی والان بر لیتر است که در

قسمت جنوب شرقی دشت قرار دارد. همان طوری که ملاحظه می‌شود از کناره‌های شرقی و غربی دشت به سمت مرکز دشت و هم‌چنین در جهت حرکت آب زیرزمینی غلظت یون کلر در حال افزایش است. با توجه به وجود رسوبات تبخیری و عبور آب از این نواحی، بالا بودن مقدار یون کلر در این قسمت‌ها قابل توجیه است.

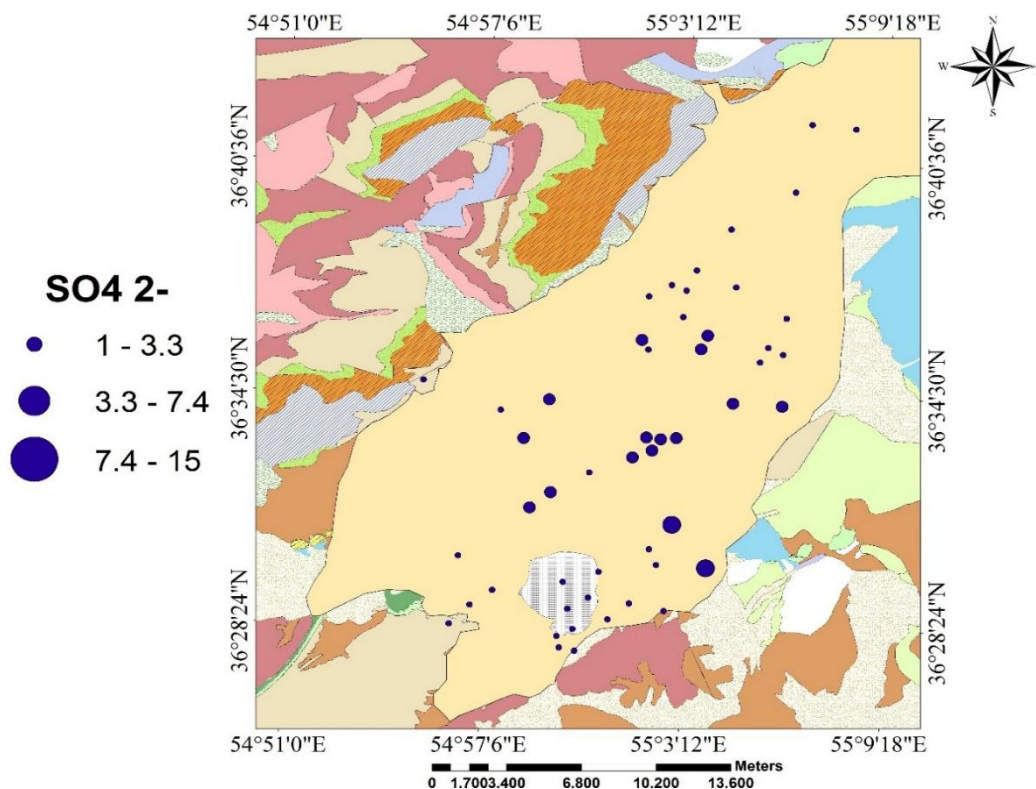


شکل ۴-۵: غلظت یون کلر در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام (بر اساس meq/L)

۴-۳-۵ بررسی تغییرات یون سولفات

آنیون سولفات عمدتاً بصورت سولفات‌های منیزیم و کلسیم یافت می‌شود. مهم‌ترین منبع ورود این یون در آب‌های طبیعی عبارت است از سولفیدهای فلزی و تبخیری‌هاست. این سولفیدها در اثر شرایط جوی و رطوبت اکسیده شده و به سولفات تبدیل می‌شوند که در اثر انحلال در آب جاری، وارد آب‌های زیرزمینی می‌شوند. شکل (۴-۶) نقشه‌ی سولفات برای تیر ماه سال ۱۳۹۶ را نشان می‌دهند. با توجه به نقشه بیشترین سولفات در کناره شرقی دشت بسطام است. دلیل افزایش سولفات در این

بخش از لایه‌های تبخیری کفه‌های نمکی مجاور و یا بین لایه‌های نمکی سازند شمشک است که به-
ویژه وجود ژپس و انیدریت در سازندهای تبخیری، باعث می‌شود که وقتی این کانی‌ها با آب برخورد
کرده سولفات آزاد شده و مقدار آن در آب زیرزمینی افزایش یابد.

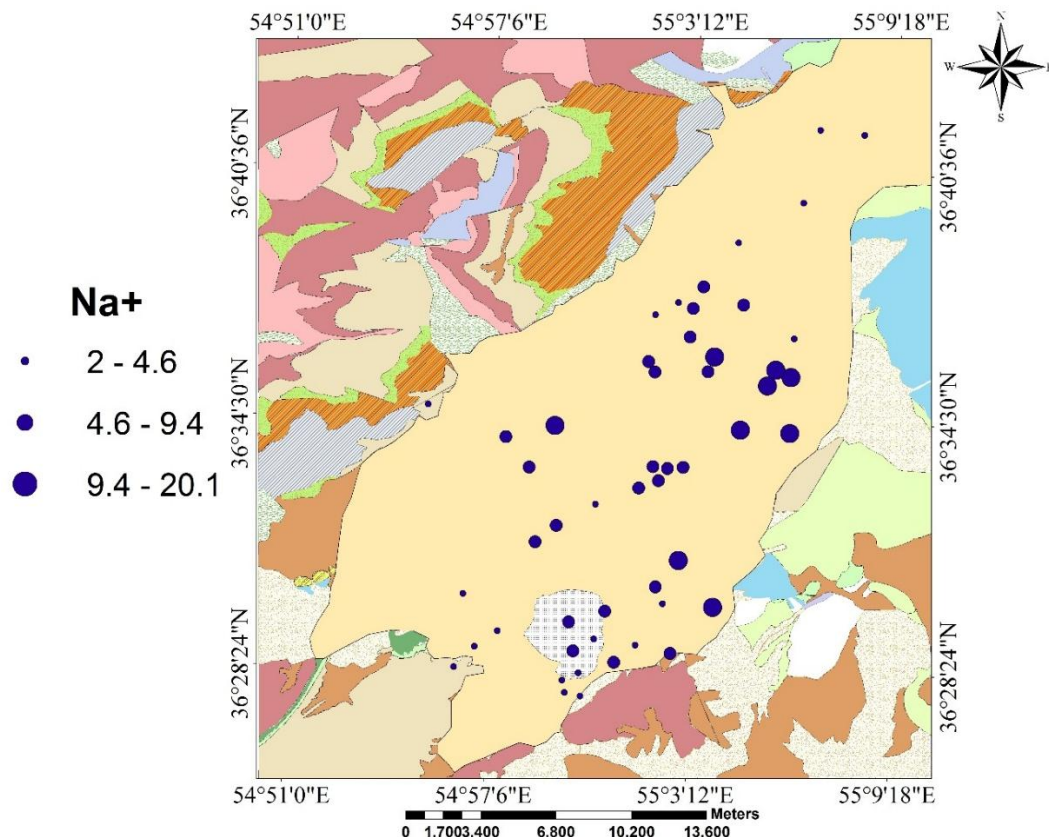


شکل ۴-۶: غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام (بر اساس meq/L)

۴-۳-۲-۶ بررسی تغییرات غلظت سایر یون‌ها

الف: تغییرات یون سدیم

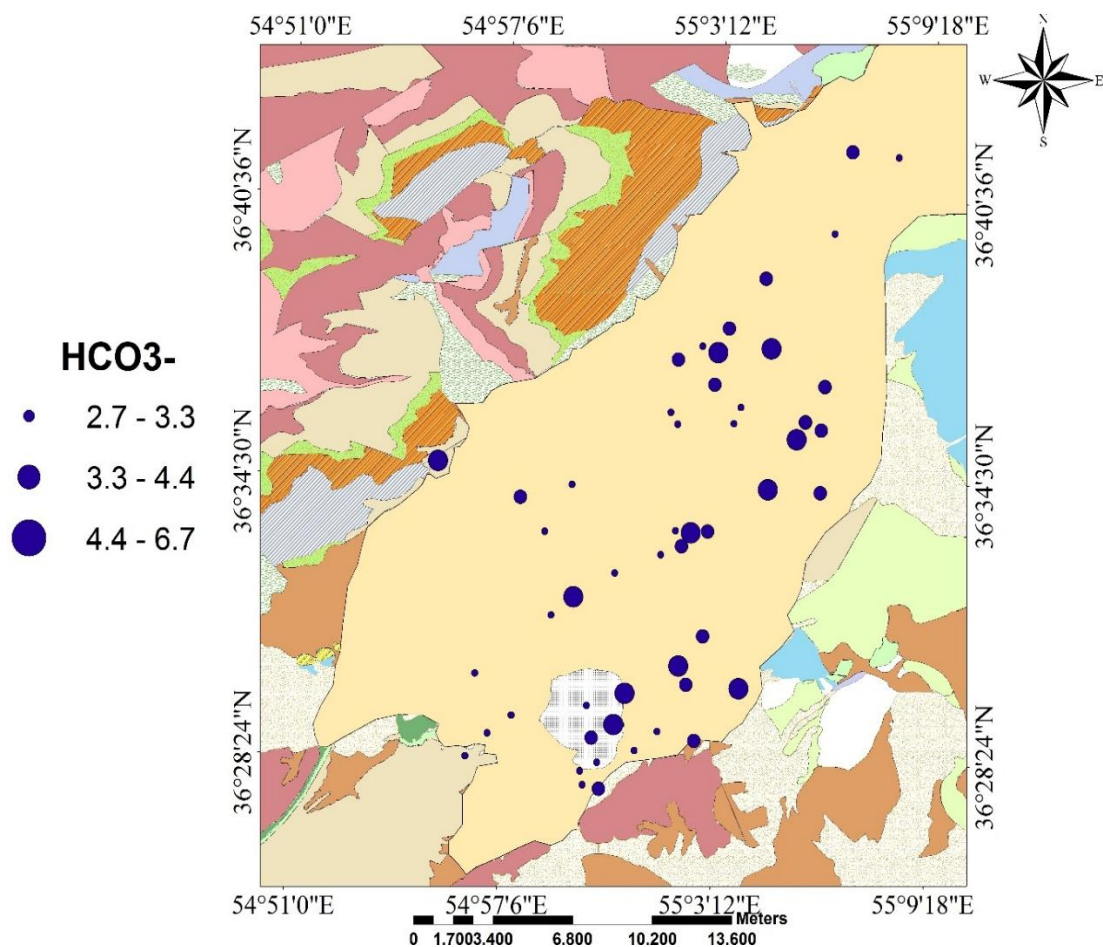
یکی از فراوان‌ترین کاتیون‌ها و فلزات قلیایی موجود در آب‌های زیرزمینی، یون سدیم است که رابطه مستقیمی با درجه شوری آب دارد و با زیاد شدن مقادیر سدیم در آب درجه شوری آب هم افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۴-۷)، یون سدیم در کناره شرقی دشت از غلظت بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار است که دلیل آن را می‌توان به انحلال هالیت نسبت داد. همچنین در جهت حرکت آب زیرزمینی غلظت یون سدیم افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۷: غلظت یون سدیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام (بر اساس meq/L)

ب: تغییرات یون بی‌کربنات

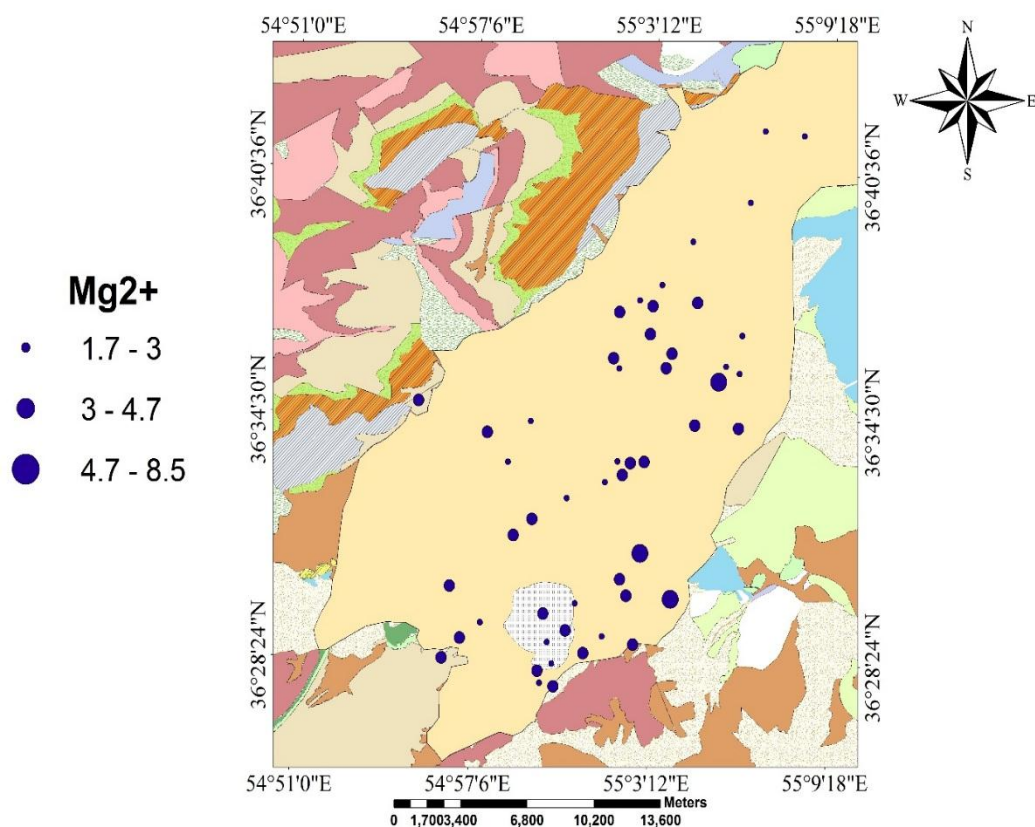
در زمان واکنش آب و دی‌اکسید کربن با سنگ‌های کربناته، یون بی‌کربنات ایجاد می‌شود. تغییرات مکانی یون بی‌کربنات در شکل (۴-۸) نشان داده شده است، کمترین مقدار یون بی‌کربنات ۲/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مربوط به (ایستگاه ۱۰) واقع در جنوب دشت و بیشترین مقدار آن ۶/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در (ایستگاه ۲۶) در شمال شرقی دشت می‌باشد. غلظت این یون در نواحی شمالی و مرکزی دشت بیشتر است که احتمالاً به دلیل رخنمون سازندهای کربناته لار و آهک کرتاسه در این نواحی است.



شکل ۴-۸: غلظت یون بی کربنات در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام (بر اساس meq/L)

ج: تغییرات یون منیزیم

نقشه غلظت یون منیزیم دقیقاً دارای روند تغییرات مشابهی با غلظت یون کلسیم است (شکل ۴-۹). در بخش شمالی و جنوب‌غربی دشت واقع در زون‌های تغذیه میزان منیزیم کم بوده و به سمت مرکز دشت افزایش یافته است. میزان منیزیم در بخش شرقی و جنوب‌شرقی منطقه نشانگر انحلال لایه‌های تبخیری سولفات منیزیم‌دار و یا احتمالاً رخداد فرآیند دولومیت‌زدایی است.

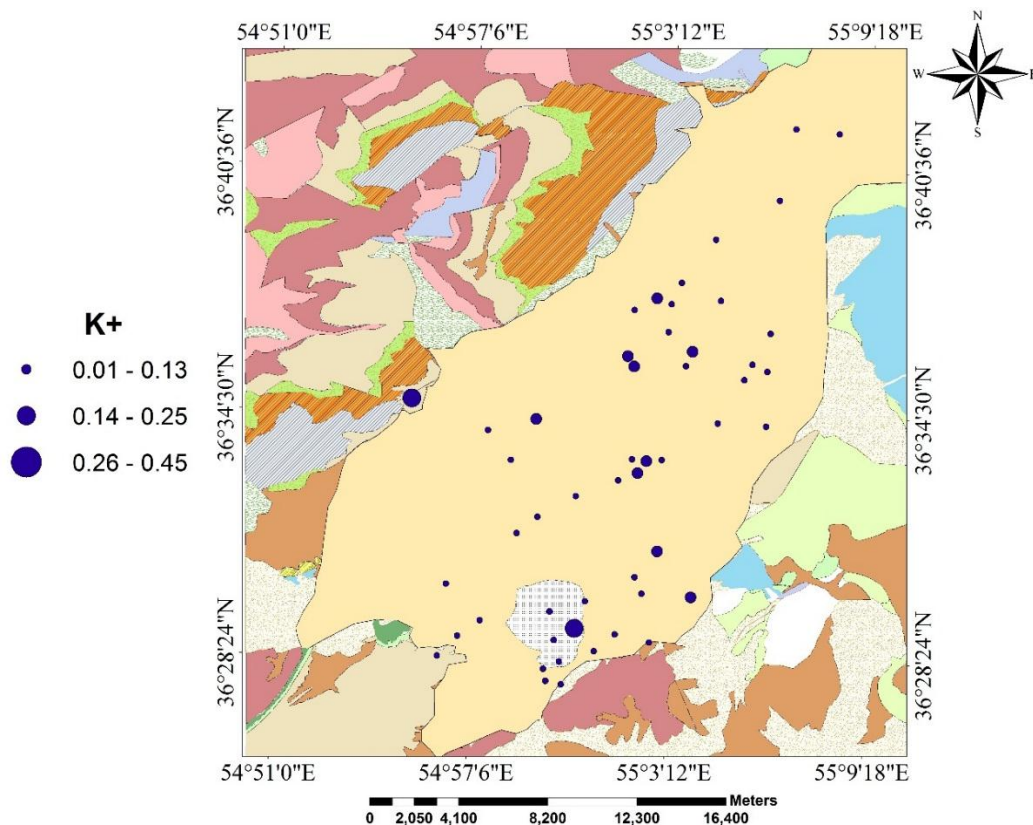


شکل ۴-۹: غلظت یون منیزیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام (بر اساس meq/L)

ح: بررسی تغییرات یون پتاسیم

در نمونه‌های مورد مطالعه، بازه‌ی غلظت پتاسیم ۰/۱۵ تا ۰/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است (شکل ۴-۱۰).

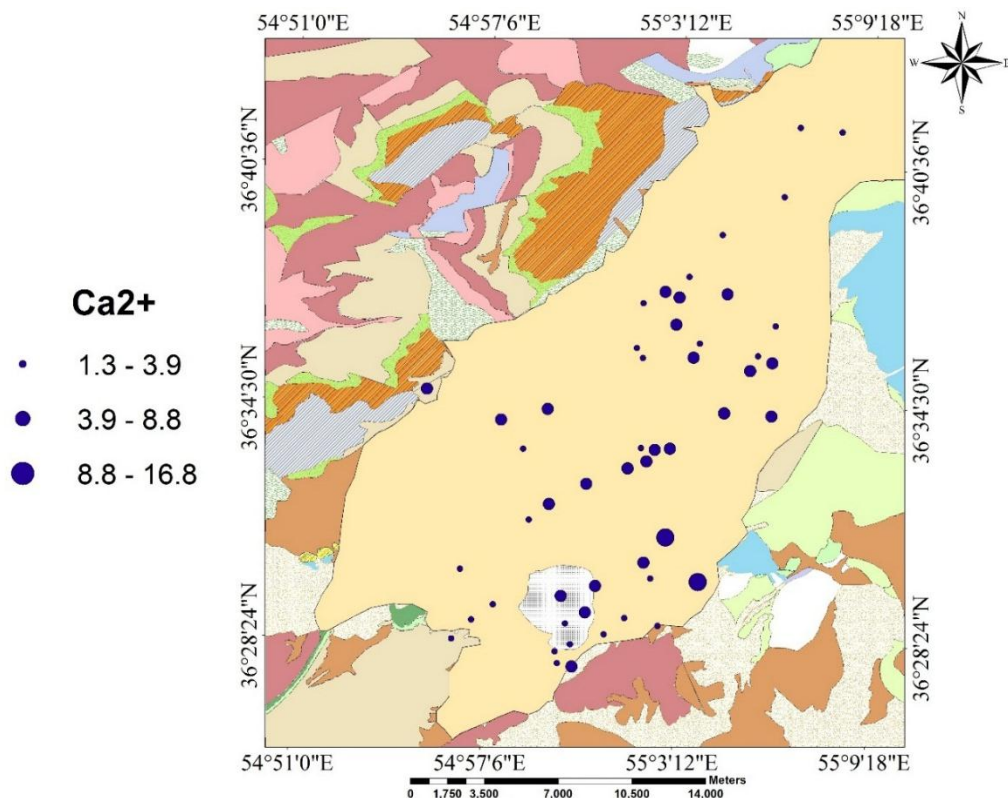
بالاترین غلظت پتاسیم مربوط به (ایستگاه ۴۲) است، که احتمالاً مربوط به نشت فاضلاب‌های خانگی است و بعد می‌توان به ورود پساب‌های کشاورزی به درون آب‌های زیرزمینی نسبت داد. منابع پتاسیم در آب‌های زیرزمینی شامل انحلال فلدسپار پتاسیم، میکا و مقادیر کمتر سیلویت است و منابع دیگر می‌تواند کانی‌های رسی و گیاهان باشد.



شکل ۴-۱۰: غلظت یون پتاسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام (بر اساس meq/L)

د: تغییرات یون کلسیم

کلسیم یکی از کاتیون‌های مهم در اغلب منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. منبع ورود این یون در آب‌های زیرزمینی عمدتاً به سنگ‌های آهکی، دولومیتی و سنگ گچ مربوط می‌شود. همانطوری که از شکل (۴-۱۱) ملاحظه می‌شود، غلظت یون کلسیم از ۱/۳ تا ۱۶/۸۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در حال تغییر می‌باشد. بیشترین غلظت یون کلسیم در قسمت شرقی و جنوبی دشت مشاهده می‌شود که با غلظت یون سولفات در منطقه هم‌خوانی دارد. مقدار بالای کلسیم در بخش شرقی دشت را می‌توان به انحلال کانی‌های تبخیری از این نواحی و مسافت طی شده در طول آبخوان نسبت داد.



شکل ۴-۱۱: غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام (غلظت بر اساس meq/L)

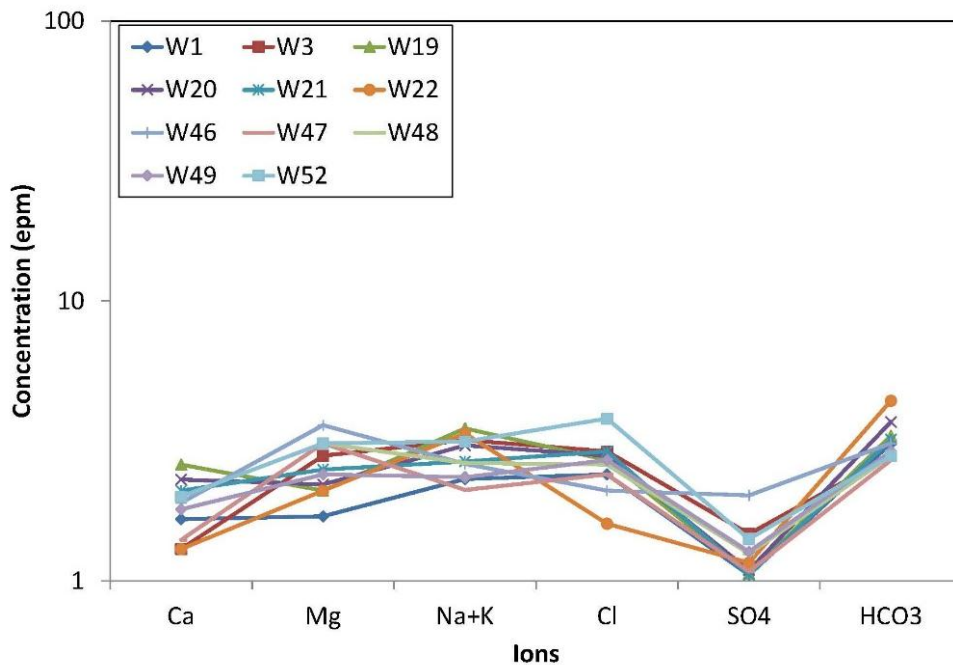
۴-۲-۳-۷ تعیین رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب

جهت تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی آبخوان دشت بسطام و تعیین رخساره و نوع آب در نقاط مختلف دشت، از روش‌های مختلفی نظیر ترسیم نمودارهای شولر و پایپر استفاده شد.

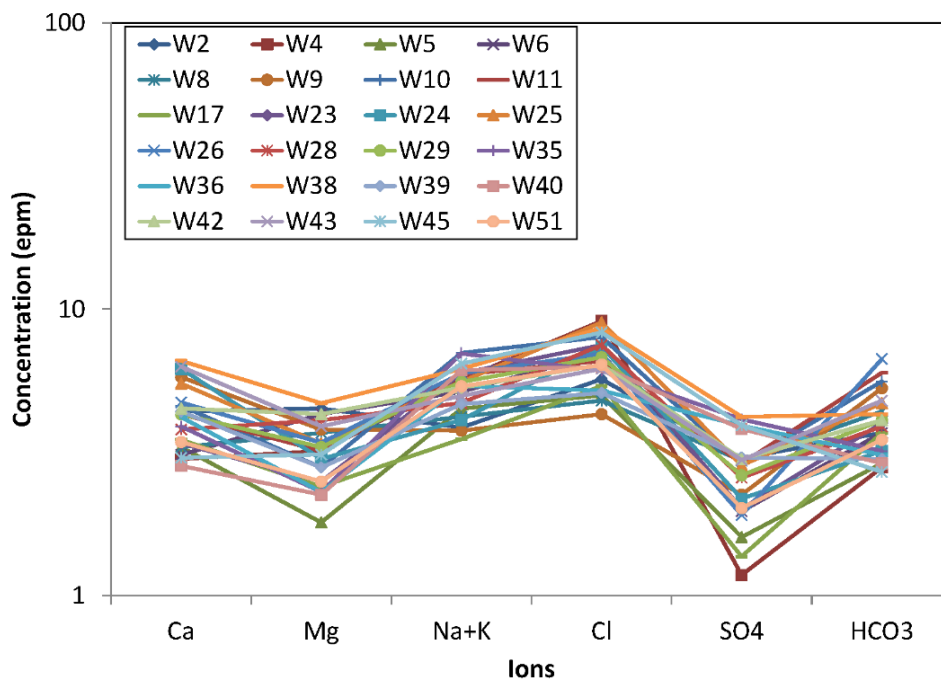
الف: نمودار شولر

نمودار شولر به منظور بررسی یکسان بودن یا نبودن منشأ نمونه‌ها، بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نیمه لگاریتمی بودن محور عمودی نمودار شولر، خطوط موازی نشانگر روند یکسان و بالتبع یکی بودن منشأ و مساوی بودن نسبت یون‌ها در نمونه‌ها است (Todd and Mays 2005). شکل‌های (۴-۱۲)، (۴-۱۳) و (۴-۱۴) روند تغییرات یون‌های اصلی در سه گروه عمده نمونه‌های آب دشت بسطام را نشان می‌دهند. گروه اول مربوط به منابع مناطق تغذیه دشت بوده و تیپ بی‌کربناته را نشان می‌دهد. گروه دوم که مربوط به

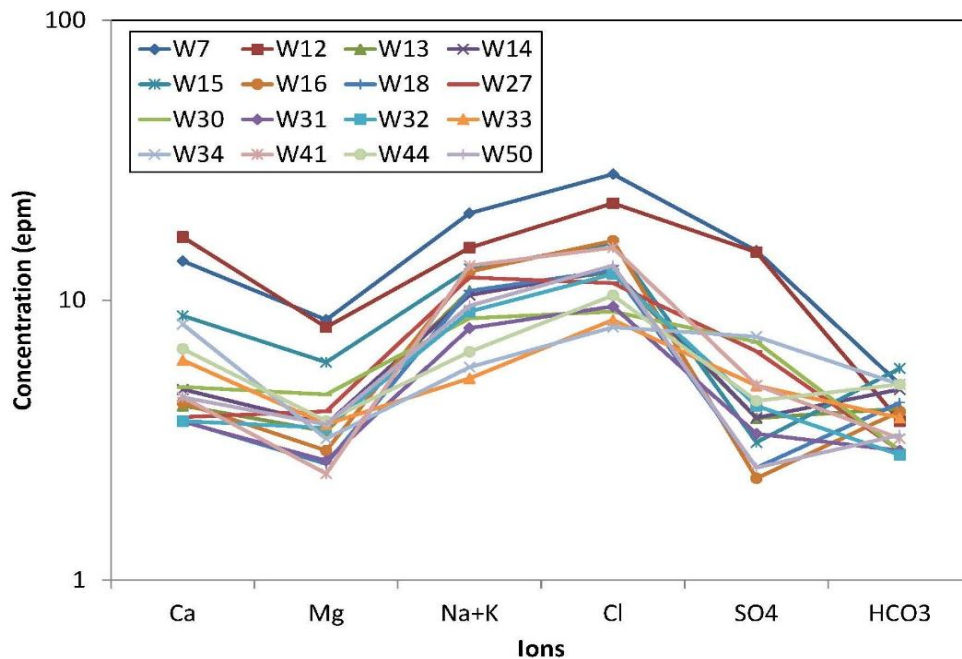
منابع مرکزی و خروجی دشت می‌باشد دارای تیپ کلروره تا بی‌کربناته هستند. در گروه سوم که از بخش‌های شرقی و غربی دشت تغذیه می‌شوند دارای تیپ غالب کلروره می‌باشند.



شکل ۴-۱۲: نمودار شولر برای نمونه‌های آب گروه ۱



شکل ۴-۱۳: نمودار شولر برای نمونه‌های آب گروه ۲



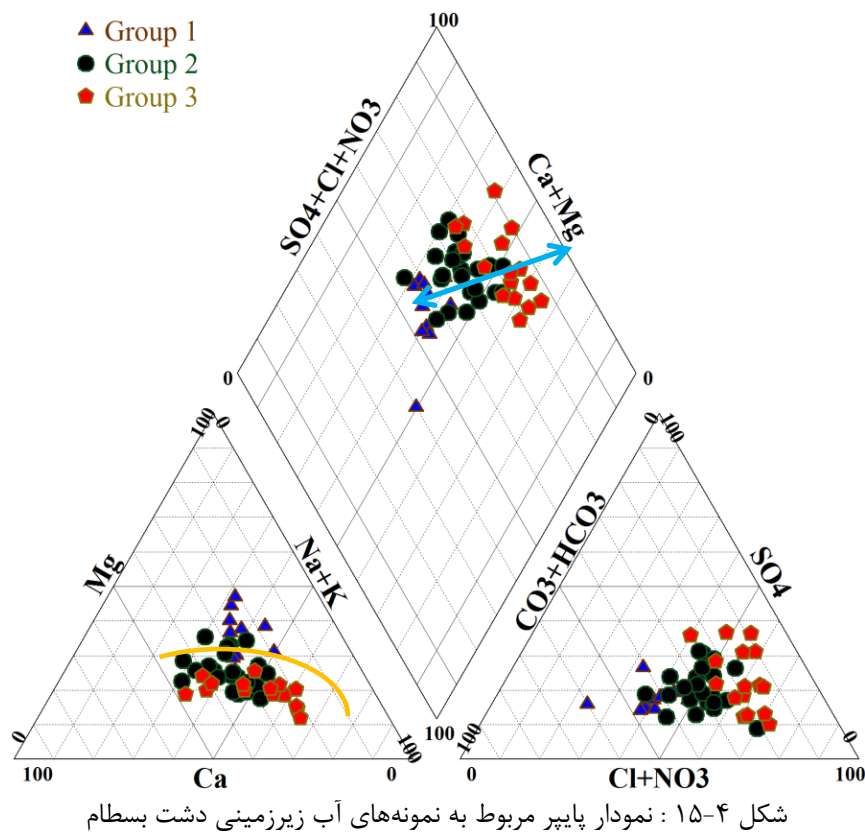
شکل ۴-۱۴: نمودار شولر برای نمونه‌های آب گروه ۳

تمامی گروه ۱ دارای روند مشابه می‌باشد. نمونه‌های گروه ۲ و ۳ دارای روند تقریباً یکسان بوده و نشانگر منشأ یکسان می‌باشد. کلر و سدیم یون‌های غالب این دو گروه می‌باشد.

ب: نمودار پایپر

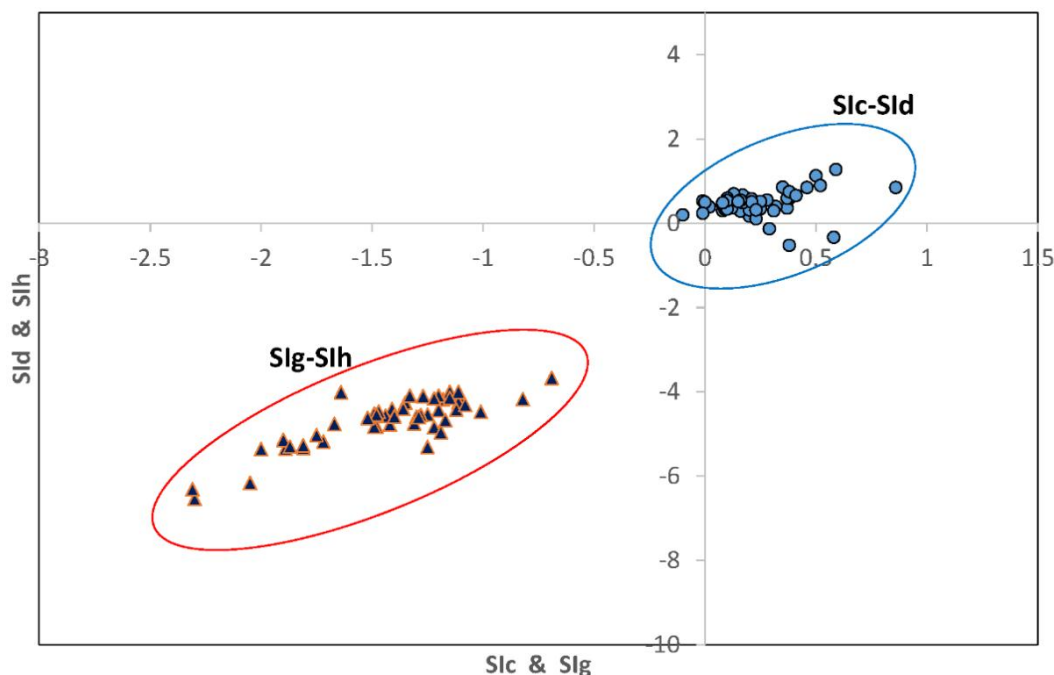
یکی از نمودارهای متداول جهت بررسی رفتار هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی نمودار پایپر می‌باشد. با استفاده از این نمودار نمونه‌های با خصوصیات مشابه در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. از نمودار پایپر جهت تعیین تیپ آب، رخساره هیدروشیمیایی و فرایندهای تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان همچون ته‌نشینی یا انحلال، اختلاط آب‌ها و تبادل یونی می‌توان استفاده کرد (Hounslow 1995). داده‌های منطقه مورد مطالعه در نمودار پایپر در سه گروه مختلف پلات شده‌اند. به‌طوریکه نمونه‌های آب شور در سمت راست و در منطقه شورابه قرار گرفته‌اند که دارای تیپ آب کلروره و رخساره سدیک هستند. نمونه‌های آب نیمه شور (گروه ۲) در بین آب شیرین و شور و تقریباً در اطراف خط اختلاط قرار گرفته‌اند که نشانگر اختلاط بین آب شور و شیرین در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و تیپ آب بین کلرو سدیک و کلسیم بی‌کربناته است. نمونه‌های آب شیرین (گروه ۱) دارای تیپ بی‌کربناته و

رخساره کلسیک می‌باشند. انحراف از خط اختلاط نیز می‌تواند در اثر رخداد فرایندهای ثانویه همچون تبادل یونی علاوه بر فرایند اختلاط در منطقه باشد (شکل ۴-۱۵).



۴-۳-۲-۸ نمایه‌های اشباع

نمایه اشباع (Saturation Index (SI)) هر یک از نمونه‌های آب نسبت به کانی‌ها آنیدریت، کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت با استفاده از نرم‌افزار PHREEQC محاسبه شد و در شکل (۴-۱۶) ارائه شده است. با توجه به جدول نمایه‌های اشباع، اکثر نمونه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع و تمامی منابع نسبت به ژیپس و هالیت تحت اشباع می‌باشند. به این علت که زون تغذیه آهکی است و اینکه در مسیر جریان از بالا دست به سمت پایین دست مقادیری کلسیم و دولومیت را در خود حل می‌کند، نمونه‌ها فوق اشباع هستند. تحت اشباع بودن نمونه‌ها به ژیپس و هالیت می‌تواند به علت مسیر کوتاه جریان و همچنین رخنمون کمتر سازندهای تبخیری و قدرت انحلال پذیری بیشتر این کانی‌ها باشد.

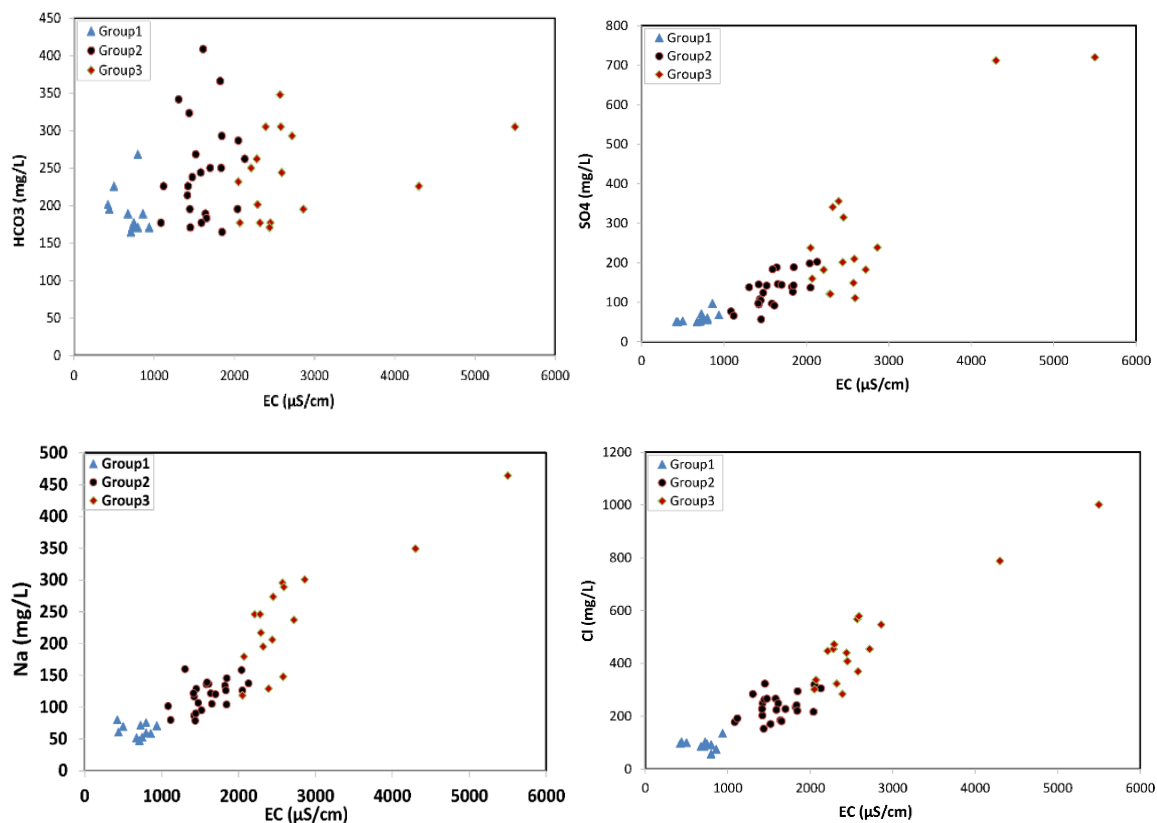


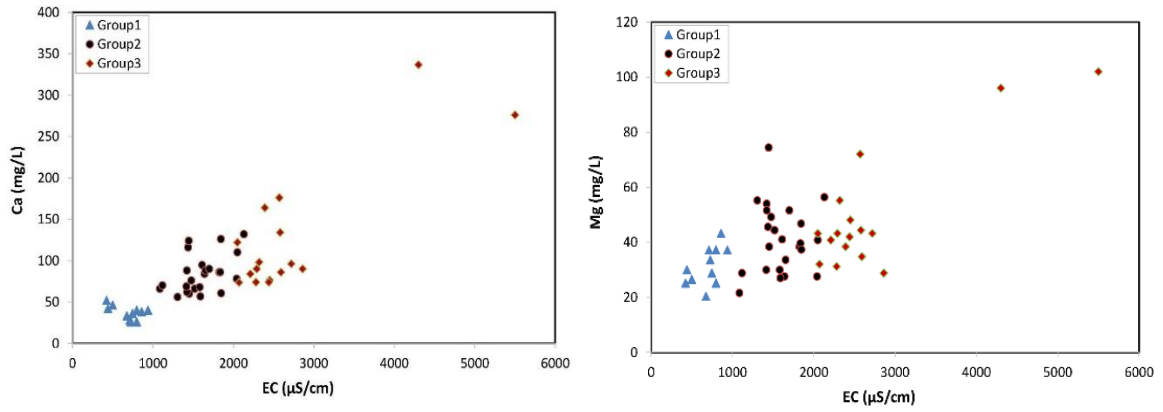
شکل ۴-۱۶: رابطه نمایه‌های اشباع در منابع آب دشت بسطام

۴-۳-۲-۹ بررسی تکامل هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت بسطام

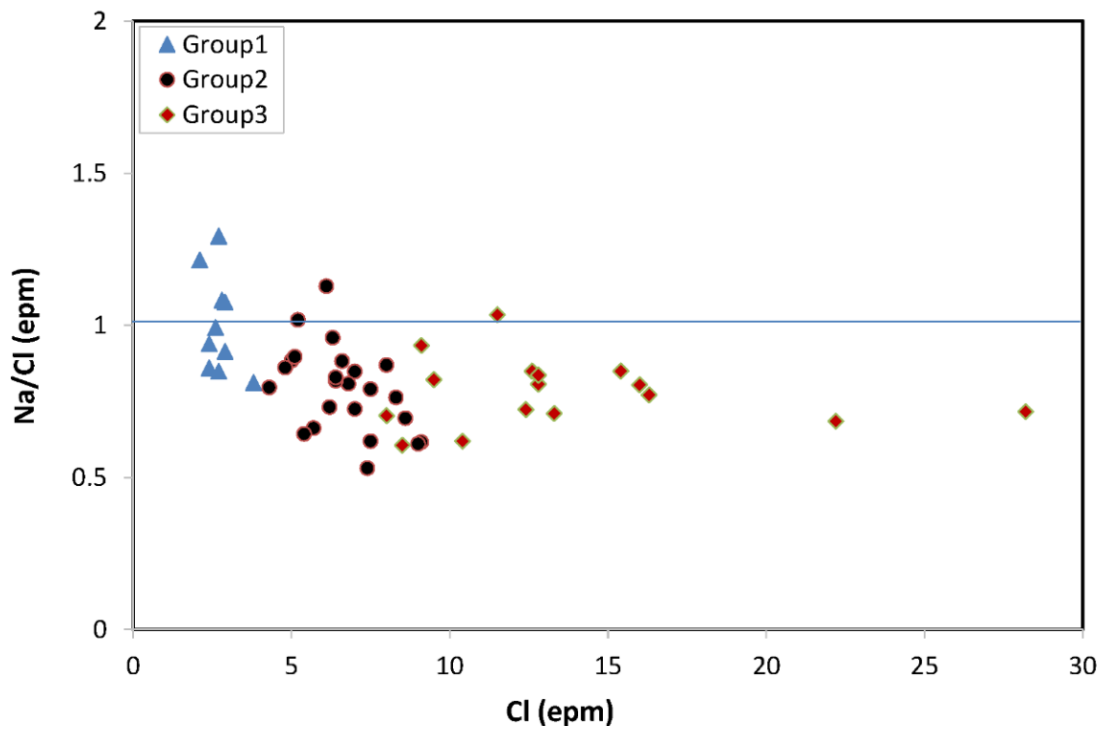
در این بخش به بررسی منشأ یون‌ها و همچنین فرایندهای حاکم بر تکامل هیدروژئوشیمیایی دشت بسطام پرداخته می‌شود. فرایندهای مؤثر شامل دولومیت‌زدایی، تبادل کاتیونی و نفوذ آب شور می‌باشد. در ابتدا به منظور تعیین ارتباط بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف، نمودار غلظت یون‌های سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات در برابر مقدار هدایت الکتریکی رسم شده است (شکل ۴-۱۷). با توجه به نمودارهای ترسیم شده همه یون‌ها به غیر از بی‌کربنات رابطه مستقیمی با هدایت الکتریکی دارند. احتمالاً یون بی‌کربنات در طی مسیر جریان به دلیل فوق اشباع بودن آب نسبت به کلسیت رسوب کرده است، به همین دلیل رابطه مستقیمی را با EC نشان نمی‌دهد. در این میان یون کلر و سدیم بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی دارند که این خود نوعی تخریب در کیفیت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. زمانی که نسبت کلر به سدیم برابر با یک باشد، منشأ کلر را می‌توان به انحلال نمک نسبت داد. به همین منظور غلظت یون

کلر نسبت به سدیم ترسیم شد (شکل ۴-۱۸). با توجه به اینکه اگر میزان کلر نسبت به سدیم بیشتر باشد، می‌توان بیان کرد که علاوه بر فرآیند انحلال نمک فرآیند دیگری همچون تبادل یونی نیز در منطقه رخ داده و غلظت یون‌ها را کنترل کرده است. در طی فرآیند تبادل کاتیونی، یون سدیم با یون‌های کلسیم و منیزیم تبادل می‌یابد. شکل (۴-۱۹)، نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 در منابع آب دشت بسطام را نشان می‌دهد. تقریباً تمامی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه از خط انحلال کلسیت و ژیپس فاصله گرفته و در بالای خط واقع شده‌اند. دلیل ازدیاد کلسیم به خاطر این است که سدیم در طی فرآیند تبادل یونی معکوس وارد محیط جامد شده و کلسیم و منیزیم وارد محلول شده‌اند. نسبت بین $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$ در مقابل نسبت Na/Cl ترسیم شده است (شکل ۴-۲۰). با توجه به شکل، افزایش غلظت کلسیم و منیزیم همراه با کاهش سدیم می‌باشد که دلیلی بر رخداد پدیده تبادل یونی معکوس می‌باشد. با توجه به EC گروه ۱ آب‌های شیرین، گروه ۲ که نتیجه اختلاط آب‌های شور و شیرین است و گروه ۳ آب‌های شور منطقه را نشان می‌دهد.

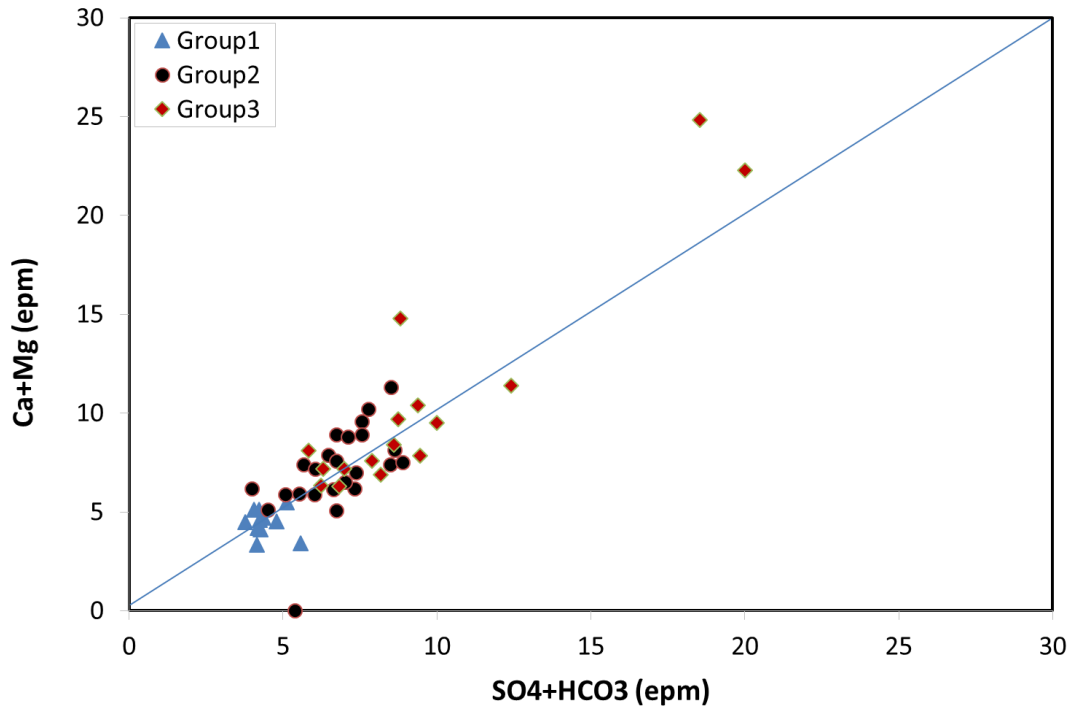




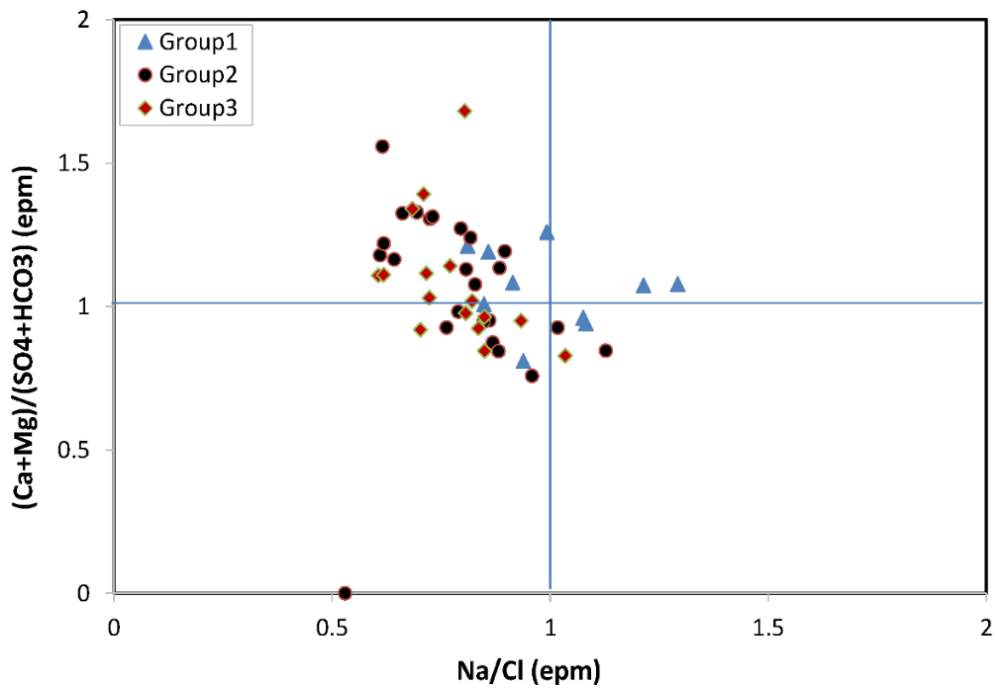
شکل ۴-۱۷: رابطه بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف



شکل ۴-۱۸: نمودار نسبت کلر به سدیم در مقابل کلر



شکل ۴-۱۹: نسبت SO_4+HCO_3 در مقابل $Ca+Mg$



شکل ۴-۲۰: نسبت بین $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$ به Na/Cl

۴-۳-۲-۱۰ نسبت جذب سدیم (SAR)

یکی از پارامترهای مهم برای ارزیابی کیفیت آب برای مصارف آبیاری، غلظت سدیم است که با کاهش نفوذ پذیری خاک ارتباط دارد، زیرا سدیم در آب رسوب می‌کند و موجب کاهش دسترس پذیری آب برای گیاه می‌شود (Ravikumar and Somashekar, 2011). نسبت جذب سدیم (رابطه ۴-۱)، نسبت غلظت یون سدیم را در یک نمونه آب به غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم نشان می‌دهد:

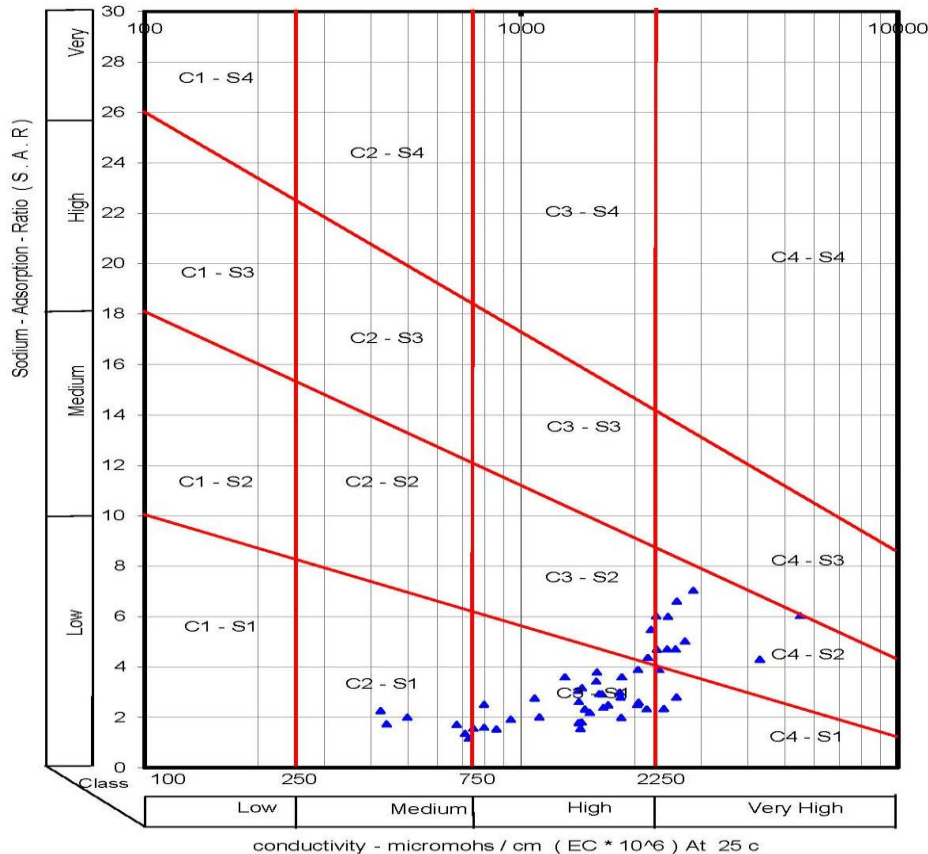
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (\text{رابطه ۴-۱})$$

بر اساس رده‌بندی آب زیرزمینی بر حسب مقادیر SAR در صورتی که مقادیر SAR کمتر از ۳ باشد، خاک از نظر میزان سدیم مشکلی ندارد. اگر این نسبت از ۸ بیشتر شود، نفوذپذیری خاک کاهش یافته و کیفیت آب برای آبیاری نامطلوب می‌شود. در صورتی که این نسبت از ۱۴ بیشتر شود، خاک سدیمی شده و آب برای آبیاری نامناسب می‌شود (Wilcox, 1955). نمونه‌های (۱، ۲، ۳، ۹، ۲۱، ۲۴، ۴۳، ۴۹، ۵۲) دارای SAR کم بوده که از جهت کشاورزی مناسب می‌باشند، اما آب‌های مربوط به بخش‌های شرقی و غربی دشت مقدار SAR بیشتری دارند.

۴-۳-۲-۱۱ نمودار ویلکاکس

برای رده‌بندی آب از نظر کشاورزی، از نمودار ویلکاکس استفاده شد (شکل ۴-۲۱). این نمودار بر اساس دو پارامتر SAR و EC به منظور تعیین کیفیت آب کشاورزی ارائه می‌گردد (Wilcox, 1955). بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس آب‌های خیلی خوب دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتیمتر بوده و در گروه C1S1 قرار می‌گیرند. اکثر نمونه‌های مورد مطالعه در رده C3S1 قرار دارند که آب‌هایی با کیفیت مناسب از نظر کشاورزی می‌باشند. تعدادی از نمونه‌ها در رده C2S1 قرار دارند که از نظر کشاورزی متوسط به حساب می‌آیند. نمونه‌های (۷، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۷، ۴۱) در رده C4S2 قرار دارند و از نظر کشاورزی نامناسب می‌باشند. این گروه‌ها بیشتر متعلق به منابع آب شور بخش‌های

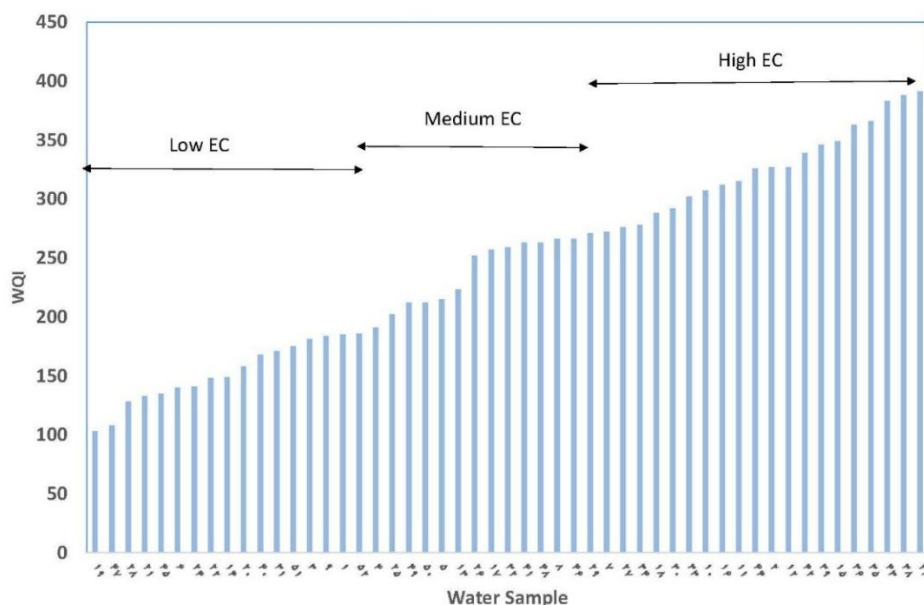
غربی و شرقی دشت می‌باشند که تحت تأثیر نفوذ آب شور قرار گرفته و کیفیت آن برای کشاورزی و شرب مناسب نیست.



شکل ۴-۲۱: تعیین کیفیت آب برای کشاورزی به کمک دیاگرام ویلکاکس برای منابع آب زیرزمینی دشت بسطام

۴-۳-۲-۱۲ محاسبه شاخص کیفی آب (WQI)

شاخص کیفی آب بین ۱۰۳ تا ۳۹۱ متغیر است. با توجه به رده‌بندی مقادیر این شاخص توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1998)، نمونه‌های (۱،۳،۴،۶،۹،۱۴،۱۹،۲۰،۲۱،۲۲،۲۴،۲۸،۳۱،۴۰،۴۵،۴۷،۵۱،۵۲) در رده‌ی ضعیف، نمونه‌های (۵،۷،۸،۱۳،۱۷،۱۸،۲۵،۲۶،۲۷،۲۹،۳۰،۳۲،۳۴،۴۱،۴۶،۴۸،۴۹،۵۰) در رده‌ی خیلی ضعیف و (۲،۱۰،۱۱،۱۲،۱۵،۱۶،۲۳،۳۳،۳۵،۳۶،۳۸،۳۹،۴۲،۴۳،۴۴) غیر قابل شرب می‌باشد. بالاتر بودن مقدار این شاخص عمدتاً به دلیل نفوذ آب شور و کاهش کیفیت آب بوده است اما با توجه به فعالیت‌های کشاورزی و وجود روستاهای مختلف می‌تواند بر روی کیفیت آب زیرزمینی تأثیر گذارد (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۲: مقادیر شاخص کیفی آب برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام

۴-۴ بررسی غلظت عناصر بالقوه سمی در آبهای زیرزمینی دشت بسطام

در بسیاری از جوامع کوچک و روستایی آب‌های زیرزمینی تنها منبع آب آشامیدنی است اما این آب-ها تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی، در هنگام عبور از روی سنگ‌ها املاح متفاوتی را در خود حل می-کنند و همراه خود جابجا می‌کنند اما منابع آب‌های زیرزمینی بیش‌تر تحت تأثیر فرآیندهای حاصل از فعالیت بشر هستند. فلزات سنگین عناصری‌اند که چگالی آن‌ها بزرگتر از ۵ گرم بر مترمکعب است. فلزات سنگین از طریق دفن زائدات شهری، صنایع، حمل و نقل، فعالیت‌های کشاورزی و کاربرد آفت-کش‌ها و کودهای شیمیایی در محیط انتشار یافته و اثرات نامطلوبی بر آن می‌گذارد. به دلیل داشتن ویژگی‌هایی نظیر تجمع پذیری در بافت‌ها، تجزیه ناپذیری، مقاومت نسبت به فرآیندهای بیولوژیکی دارند و با راه‌یابی به زنجیره غذایی موجودات زنده و در نهایت انسان را تحت تأثیر عوارض سمیت، سرطان زایی و اثرات ژنتیکی کوتاه و بلند قرار می‌دهد. باتوجه به رخنمون واحدهای سنگی (شیل های سیاه) و احتمال حضور منابع آلاینده (کشاورزی، فاضلاب خانگی) در محدوده مورد مطالعه، غلظت ۱۰ عنصر بالقوه‌سمی (Se, Cr, As, Cu, Mo, Zn, Pb, U, V, Sb) اندازه‌گیری شده است.

در جدول (۳-۴) غلظت عناصر و مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی WHO و EPA (۲۰۱۱)

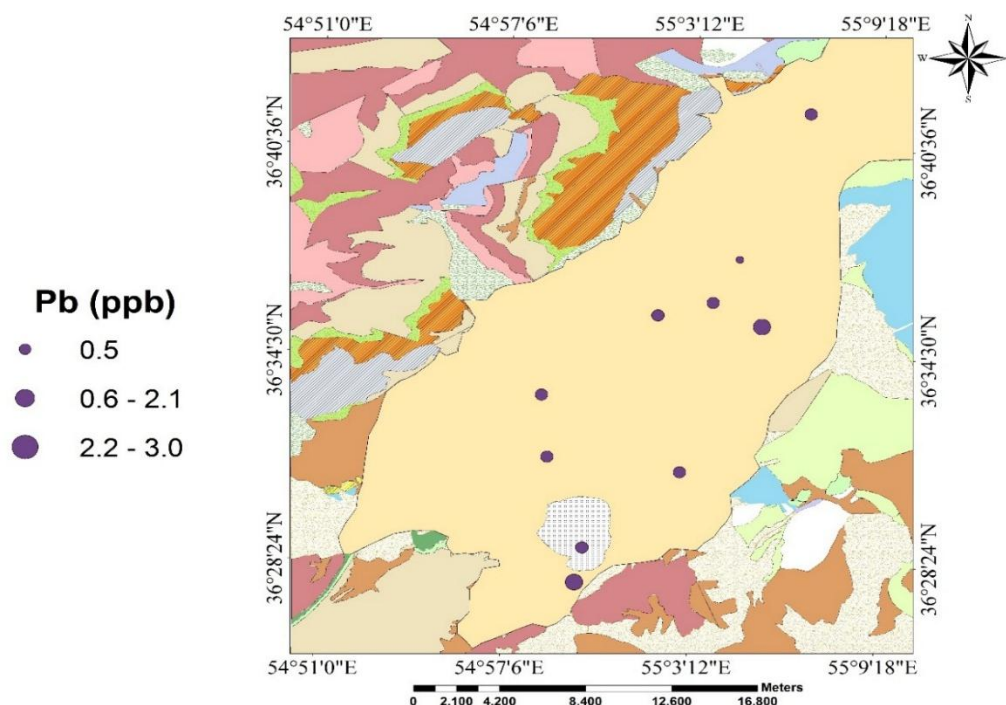
برای مصارف شرب آورده شده است.

۳-۴: غلظت عناصر بالقوه سمی اندازه گیری شده در نمونه های آب زیرزمینی دشت بسطام

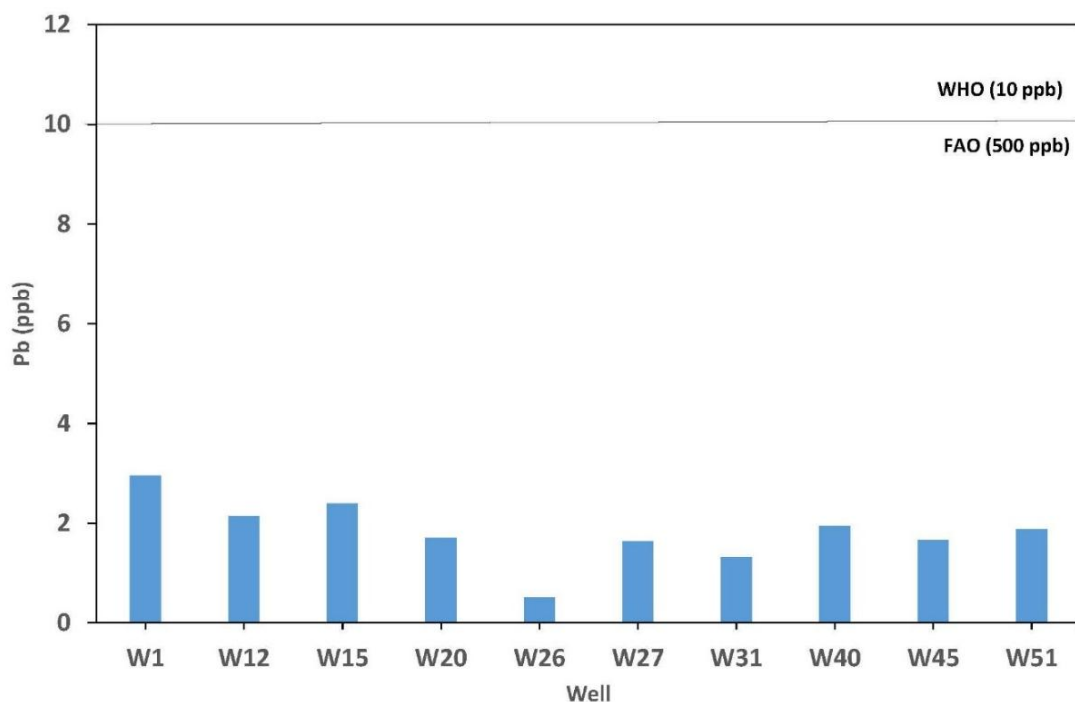
V	U	Sb	Cr	As	Cu	Mo	Pb	Se	Zn	w
2.07	0.5	1.26	5.48	0.84	13.02	1.23	2.95	1.25	2.39	W1
1.56	8.02	1.30	0.50	5.31	10.34	4.44	2.14	3.09	3.48	W12
2.20	1.85	1.48	0.40	4.65	8.74	0.38	2.39	2.54	2.91	W15
4.23	0.40	2.67	0.50	4.77	5.23	0.51	1.70	1.59	1.77	W20
5.66	1.20	0.64	1.58	3.96	4.74	0.42	0.50	1.41	2.31	W26
1.42	0.40	0.84	0.50	3.40	4.35	0.54	1.64	1.41	7.52	W27
0.50	0.50	0.26	1.06	3.34	4.62	0.79	1.32	1.40	5.14	W31
2.17	0.50	3.41	4.51	3.10	5.37	1.54	1.94	1.30	4.59	W40
2.02	0.40	0.49	0.40	3.47	7.15	8.38	1.66	1.75	4.17	W45
1.77	1.09	0.92	3.86	2.79	6.40	2.64	1.88	1.44	3.02	W51
5.66	8.02	3.41	5.48	5.31	13.02	8.38	2.95	3.09	7.52	حداکثر مقادیر
0.50	0.40	0.26	0.40	0.84	4.35	0.38	0.5	1.25	1.77	حداقل مقادیر
2.36	1.48	1.32	1.87	3.56	6.99	2.08	1.81	1.71	3.7	میانگین حسابی
6	30	5	50	10	2000	70	10	40	3000	استاندارد WHO
6	30	8	1000	10	1300	100	10	50	3000	استاندارد EPA
1	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	0.1	1	حد آشکارسازی سازی دستگاه

۴-۴-۱ سرب

در نمونه‌های مورد مطالعه غلظت سرب بین ۰/۵ تا ۲/۹۵ و با میانگین ۱/۵ ppb می‌باشد (۴-۲۳). بالاترین غلظت سرب در (ایستگاه ۱) واقع در جنوب دشت و پایین‌ترین غلظت در (ایستگاه ۲۶) در شمال شرق دشت بسطام می‌باشد. طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز سرب برای مصارف شرب ۱۰ ppb می‌باشد (Richard et al, 2000). غلظت این فلز در نزدیکی روستاها نسبتاً بالاتر است، بنابراین دلیل احتمال آن احتمالاً نشت از فاضلاب خانگی به آبخوان می‌باشد. منشأ طبیعی سرب نیز در آب زیرزمینی را می‌توان به آزاد سازی آن از شیل‌های سیاه که در تماس با آبخوان هستند مرتبط دانست (Jeng, 1991). با توجه به شکل (۴-۲۴) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز سرب از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت دارای آلودگی بسیار پایین سرب می‌باشد. با توجه به رخنمون سازندهای شیلی و مارنی در بخش غربی منطقه، احتمالاً منشأ طبیعی این عنصر می‌تواند شیل‌ها باشد.



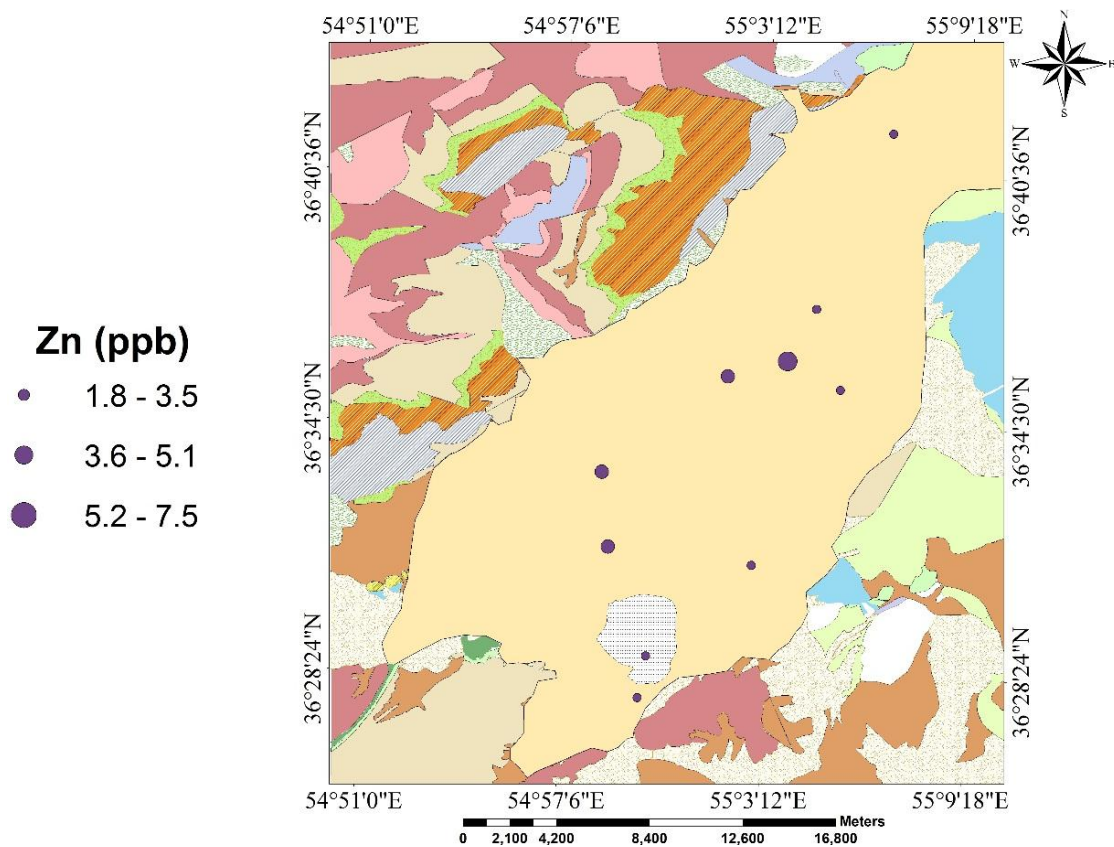
شکل ۴-۲۳: نقشه پراکندگی غلظت سرب در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



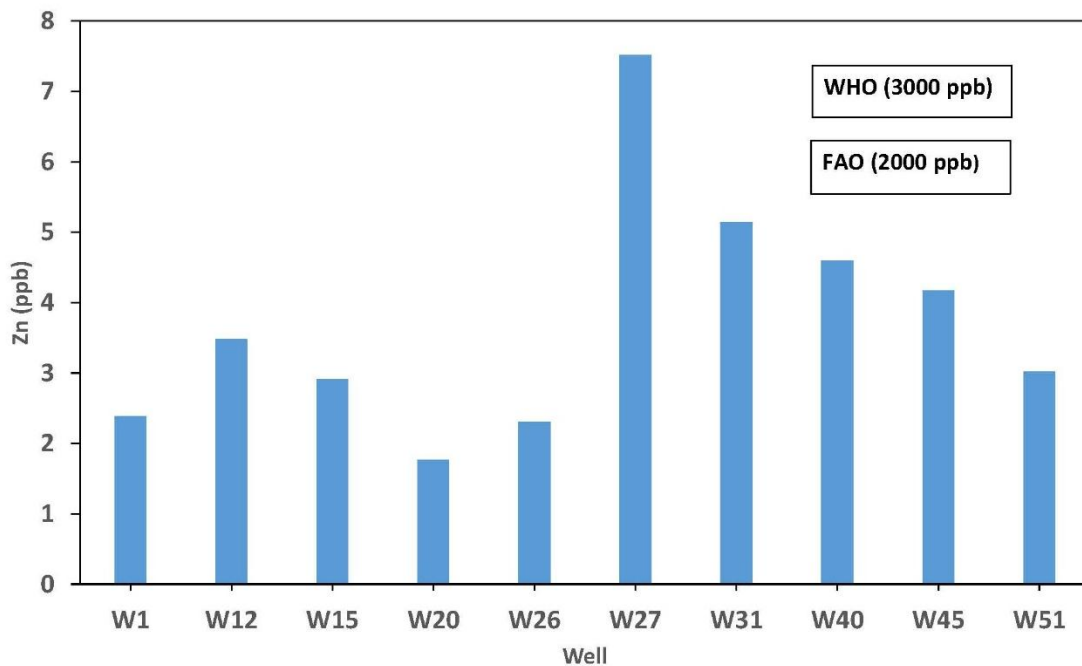
شکل ۴-۲۴: نمودار ستونی سرب در نمونه‌های مورد مطالعه

۴-۲-۴ روی

غلظت روی در آب‌های زیرزمینی دشت بسطام بین ۱/۷۷ تا ۷/۵۲ با میانگین ۴/۶۴ ppb است (شکل ۴-۲۵). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز روی برای آب‌های شرب ۳۰۰۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۲۶) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز روی از نظر استاندارد WHO و پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت تقریباً فاقد آلودگی به روی می‌باشد. غلظت این فلز در نزدیکی روستاهای قسمت مرکزی و جنوبی دشت بالاتر از نواحی دیگر است که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نشت فاضلاب‌های خانگی به آبخوان دشت بسطام دانست. در دیگر نواحی که غلظت روی بالا است احتمالاً به علت فعالیت گسترده کشاورزی می‌باشد. به طور کلی فاضلاب‌های خانگی از منابع روی در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد (Manahan, 2010). در اثر هوازدگی شیل‌های سیاه سازند شمشک ممکن است روی وارد آب‌های زیرزمینی منطقه نیز شده باشد.



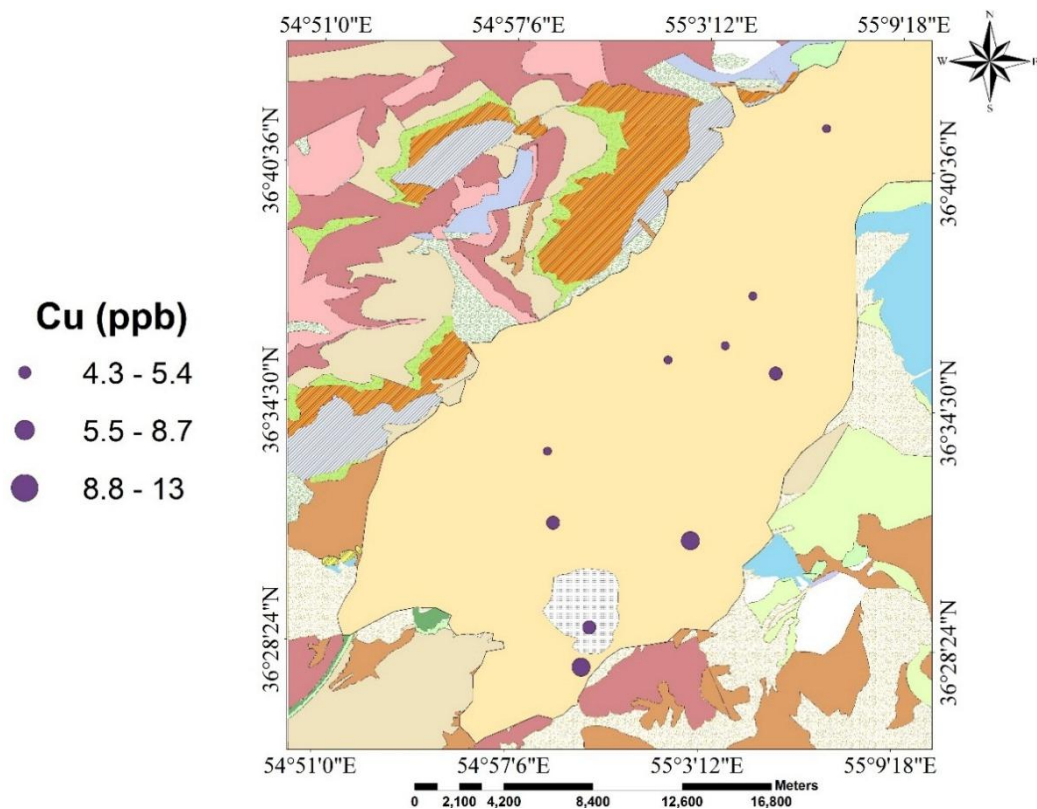
شکل ۴-۲۵ نقشه پراکندگی غلظت روی در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



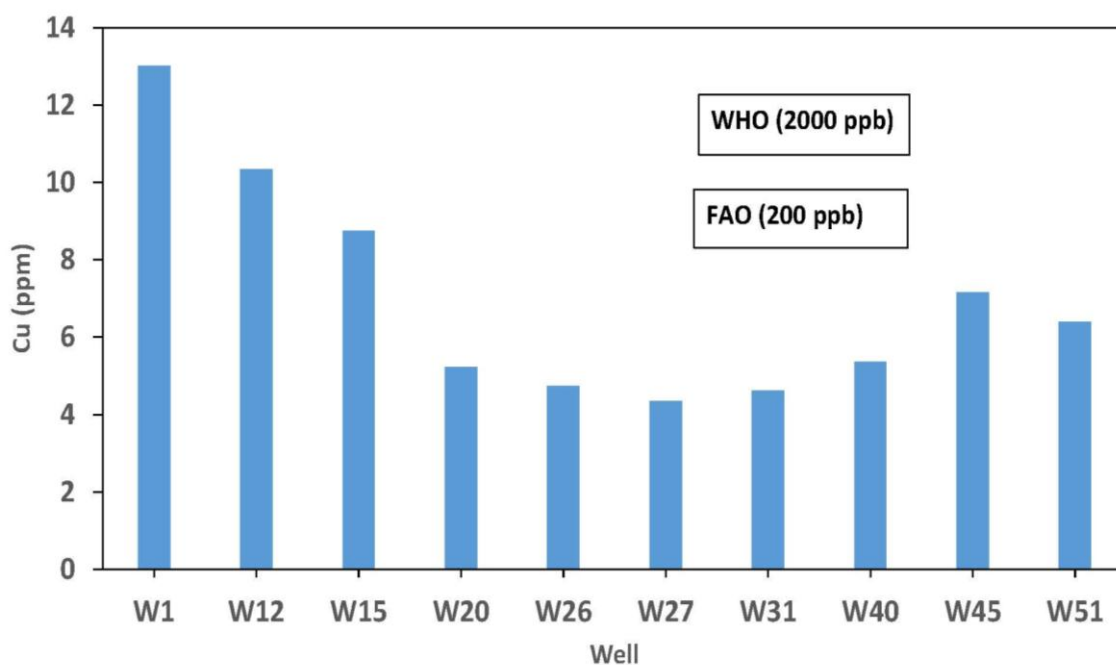
شکل ۴-۲۶: نمودار ستونی روی در نمونه‌های مورد مطالعه

۴-۴-۳ مس

غلظت عنصر مس در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۴/۳۵ تا ۱۳/۰۲ و با میانگین ۸/۶۵ ppb می‌باشد (شکل ۴-۲۷). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز مس برای آب‌های شرب ۲۰۰۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۲۸) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز مس از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت تقریباً فاقد آلودگی به مس می‌باشد. غلظت مس در (ایستگاه ۱) که در شمال شرقی دشت واقع شده بالاترین مقدار را دارد که می‌تواند به علت فعالیت‌های بالای کشاورزی باشد، چرا که کودهای شیمیایی، منبع بالقوه مس در آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند (Savci, 2012). بنابراین منشأ اصلی مس در آب‌های زیرزمینی دشت بسطام مربوط به نفوذ رواناب زمین‌های کشاورزی باشد. در منطقه شرقی و جنوب شرقی تمرکز چاه‌های کشاورزی بیشتر است، که این موضوع احتمالاً می‌تواند دلیل بر افزایش بیشتر عنصر مس در این بخش باشد، البته در کل این عنصر غلظت بالایی در منطقه ندارد.



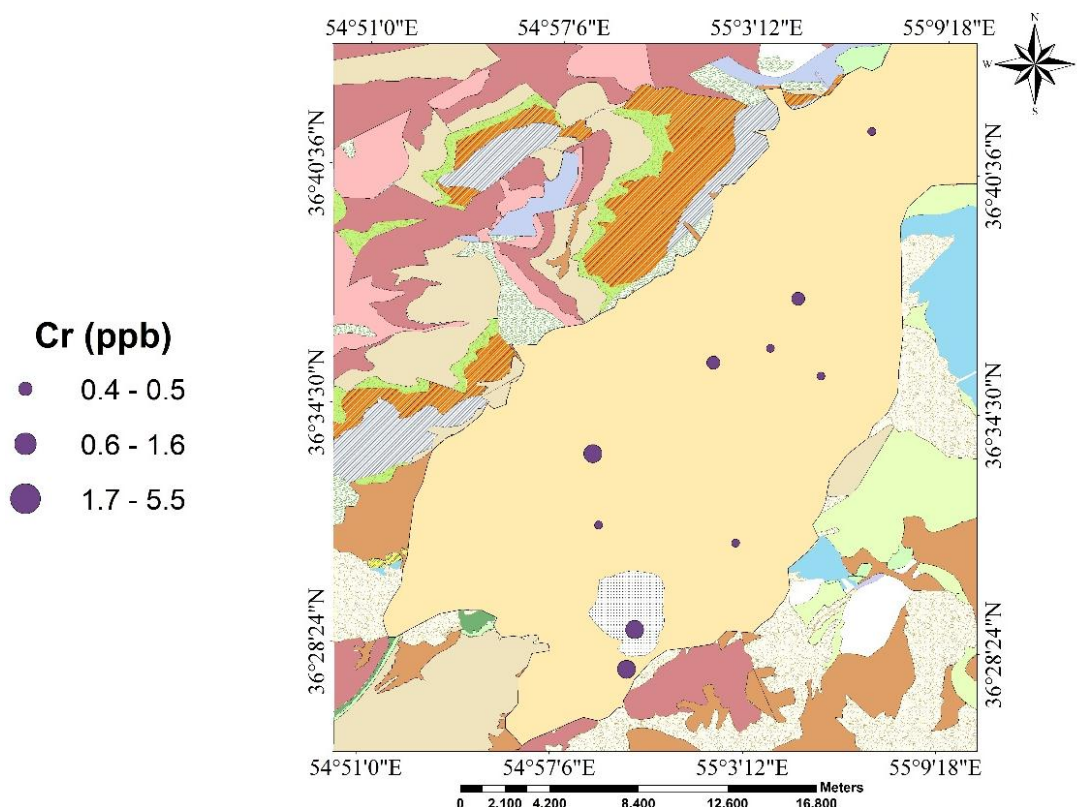
شکل ۴-۲۷: نقشه پراکنندگی غلظت مس در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



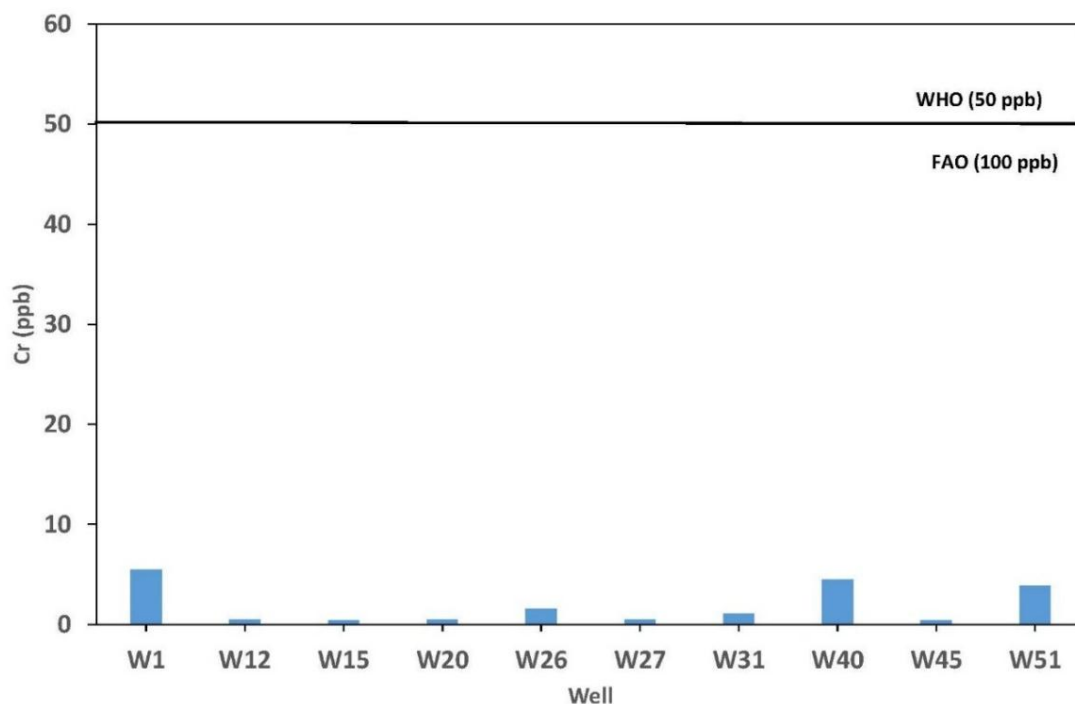
شکل ۴-۲۸: نمودار ستونی فلز مس در نمونه‌های مورد مطالعه

۴-۴-۴ کروم

غلظت کروم در آب‌های زیرزمینی دشت بسطام بین ۰/۴ تا ۵/۴۸ با میانگین ۲/۹ ppb است (شکل ۴-۲۹). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز کروم برای آب‌های شرب ۵۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۳۰) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز کروم از نظر استاندارد WHO و پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت دارای آلودگی کم به کروم می‌باشد. غلظت کروم در (ایستگاه ۱) واقع در جنوب دشت بالاتر از دیگر نواحی می‌باشد. با توجه به اینکه نمونه‌های آب غلظتی پایین‌تر از حد مجاز برای آشامیدن هستند، لذا همه نمونه‌ها برای شرب مجاز هستند. پراکندگی مکانی این فلز با عنصر مس کمی متفاوت می‌باشد. به‌طوریکه در نواحی غربی دشت بیشترین غلظت را در مقایسه با دیگر مناطق دارد. در اطراف شهر بسطام نمایانگر این است که فاضلاب‌های خانگی و همچنین سازندهای مارنی-شیلی (واقع در غرب دشت) می‌توانند عامل اصلی افزایش کروم باشد.



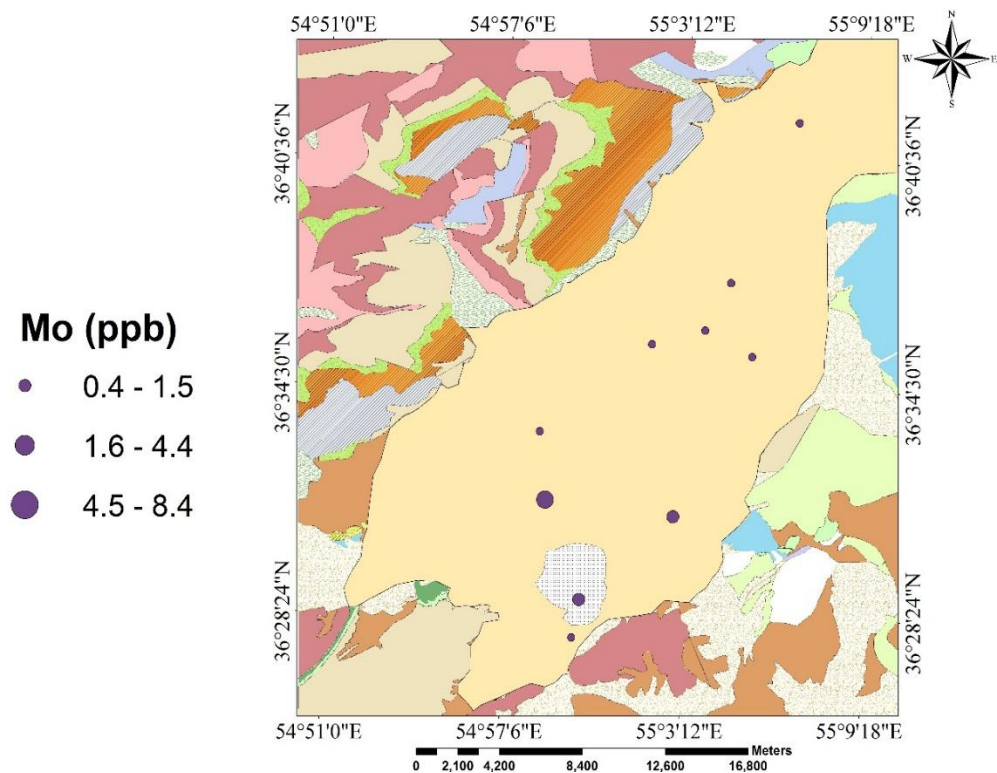
شکل ۴-۲۹: نقشه پراکندگی غلظت کروم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



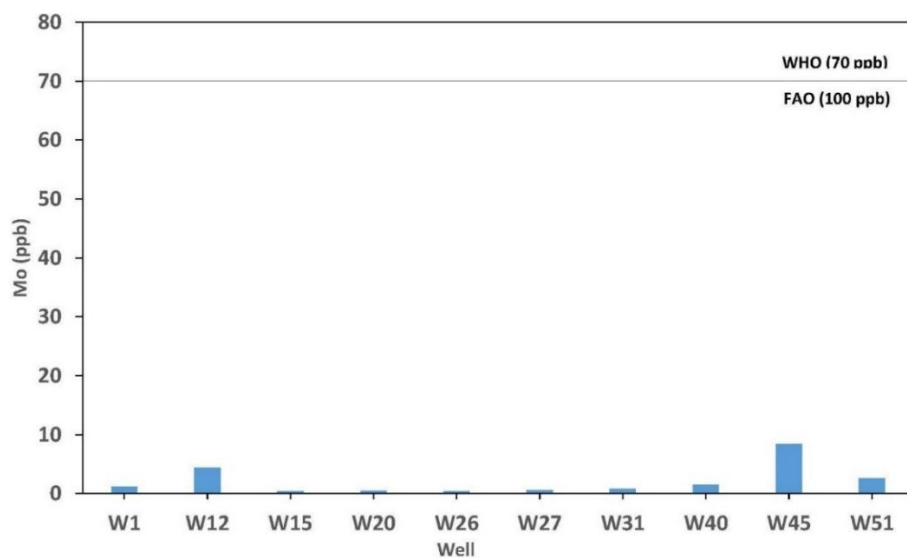
شکل ۴-۳۰: نمودار ستونی کروم در نمونه‌های مورد مطالعه

۴-۴-۵ مولیبدن

غلظت عنصر مولیبدن در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۳۸ تا ۸/۳۸ با میانگین ۴/۳۸ ppb است (شکل ۴-۳۱). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز مولیبدن برای آب‌های شرب ۷۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۳۲) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز مولیبدن از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت دارای آلودگی کم به مولیبدن می‌باشد. ممکن است مولیبدن از کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی وارد آب‌های زیرزمینی شده باشد. مولیبدن از جمله فلزاتی است که در pH خنثی تحرک بیشتری دارد.



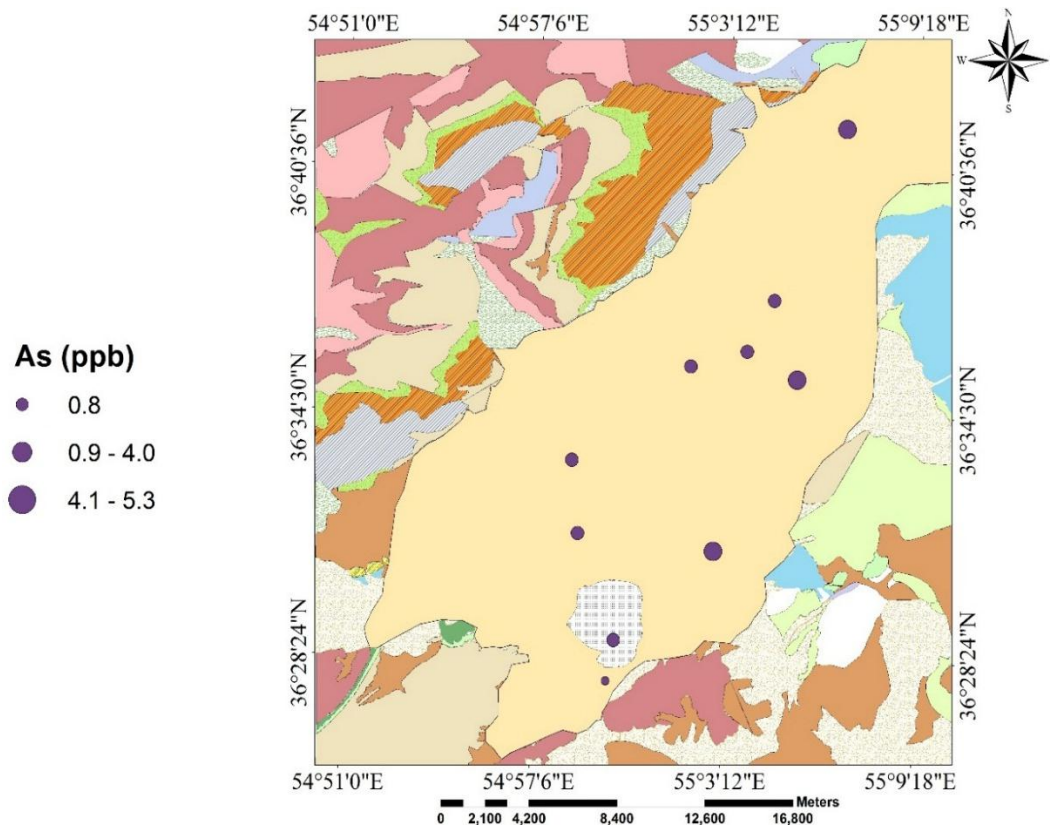
شکل ۴-۳۱: نقشه پراکندهی غلظت مولیبدن در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



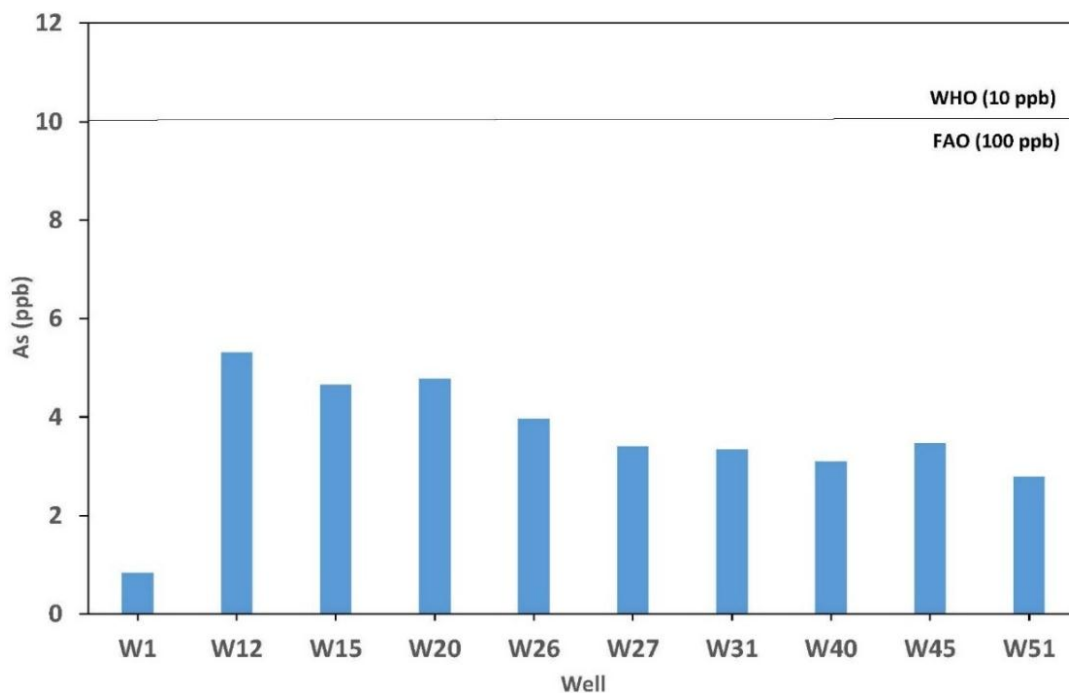
شکل ۴-۳۲: نمودار ستونی مولیبدن در نمونه‌های مورد مطالعه

۴-۴-۶ آرسنیک

بازه‌ی غلظت عنصر آرسنیک در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۸۴ تا ۵/۳۱ با میانگین ۳/۰۷ است (شکل ۴-۳۳). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز آرسنیک برای آب‌های شرب ۱۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۳۴) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز آرسنیک از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت مقدار بسیار کم آلوده به فلز آرسنیک شده‌اند می‌باشد. بیشترین غلظت آرسنیک در (ایستگاه ۱۲) واقع در جنوب شرق دشت بسطام است. غلظت بالای آرسنیک می‌تواند به علت زمین‌شناسی (شیل‌های سیاه) منطقه باشد. در این مطالعه همه نمونه‌ها دارای غلظت پایین‌تر از حداکثر مقدار مجاز هستند و از نظر آشامیدن مناسب می‌باشند. البته در بخش‌های شرقی و همچنین در زون تغذیه مقدار As زیادتر است. در منطقه تغذیه، نمونه از کنار روستای ابر شمال شرق دشت گرفته شده است. بنابراین علاوه بر زمین‌شناسی منطقه و وجود سازند شیلی شمشک، نشت از فاضلاب خانگی (چاه‌های جذبی) نیز می‌تواند عامل افزایش غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه باشد.



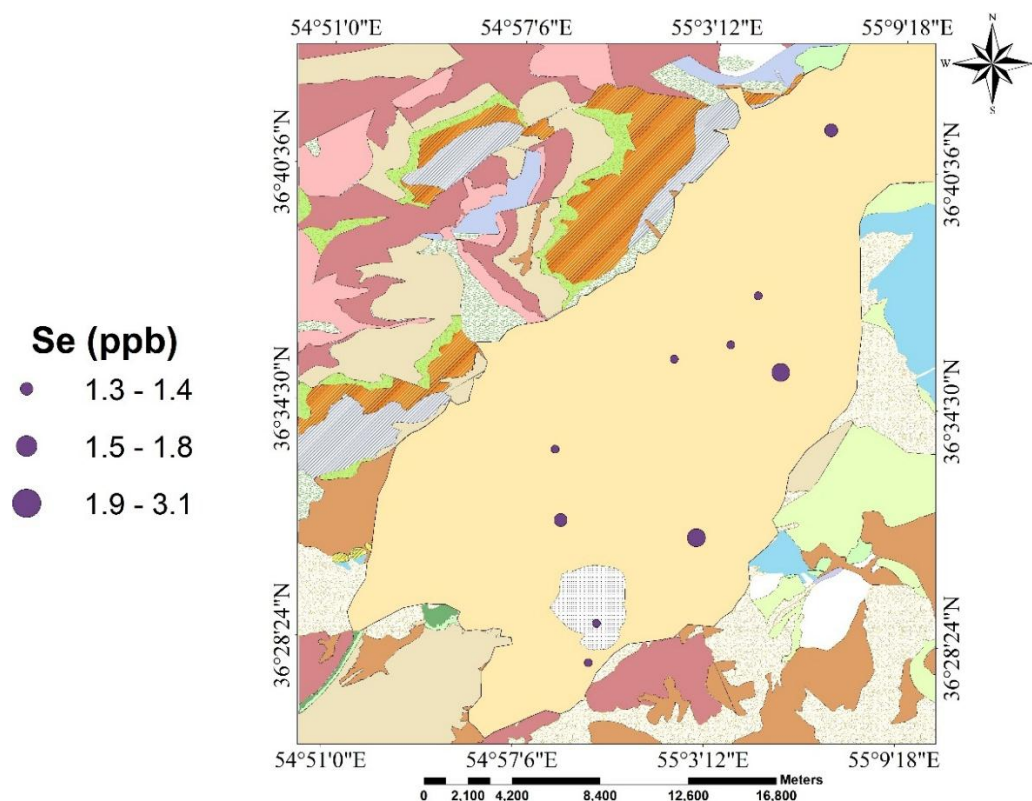
شکل ۴-۳: نقشه پراکندگی غلظت آرسنیک در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



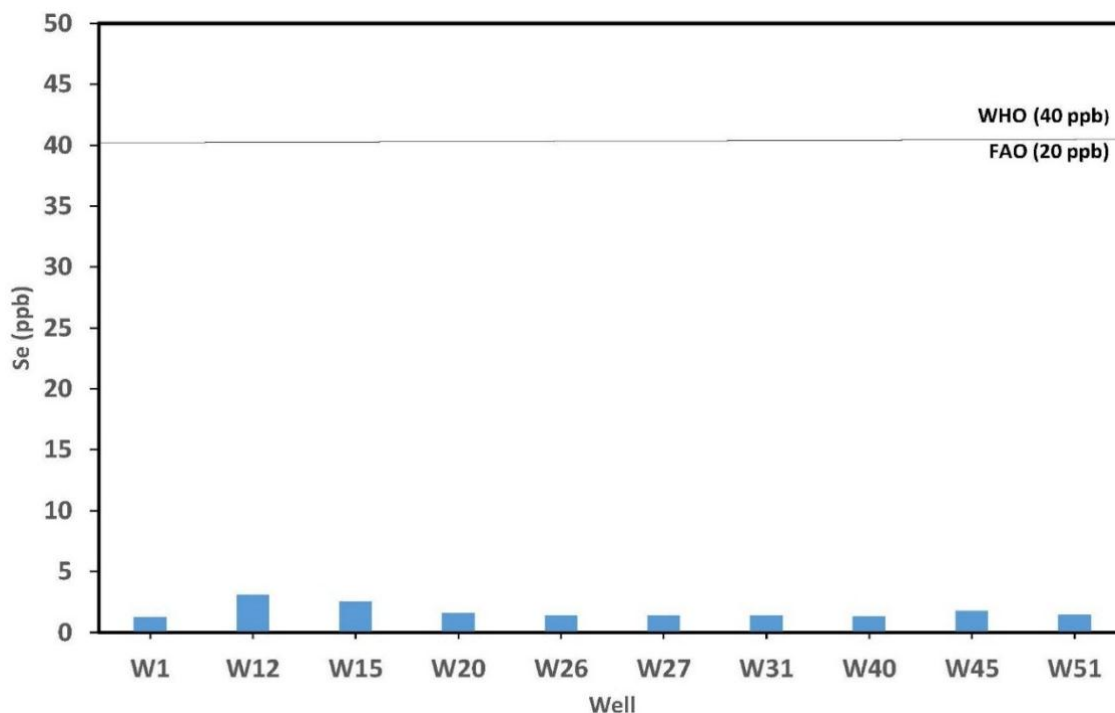
شکل ۴-۳: نمودار ستونی آرسنیک در نمونه‌های مورد مطالعه

۷-۴-۴ سلیوم

غلظت عنصر سلیوم در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱/۲۵ تا ۳/۰۹ با میانگین ۲/۱۷ ppb است (شکل ۴-۳۵). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز سلیوم برای آب‌های شرب ۴۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۳۶) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز سلیوم از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت تقریباً فاقد آلودگی به سلیوم می‌باشد. غلظت سلیوم در (ایستگاه ۱۲) در جنوب شرق دشت بالاترین غلظت را دارد که احتمالاً می‌تواند به علت ورود فاضلاب‌های خانگی و پساب‌های کشاورزی به درون آبخوان دشت بسطام باشد. چرا که سلیوم عمدتاً در اثر تخلیه فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی وارد منابع آب می‌شوند. بر این اساس همه نمونه‌ها غلظت کمتر از حداکثر مقدار مجاز هستند و از نظر آشامیدن مناسب می‌باشند.



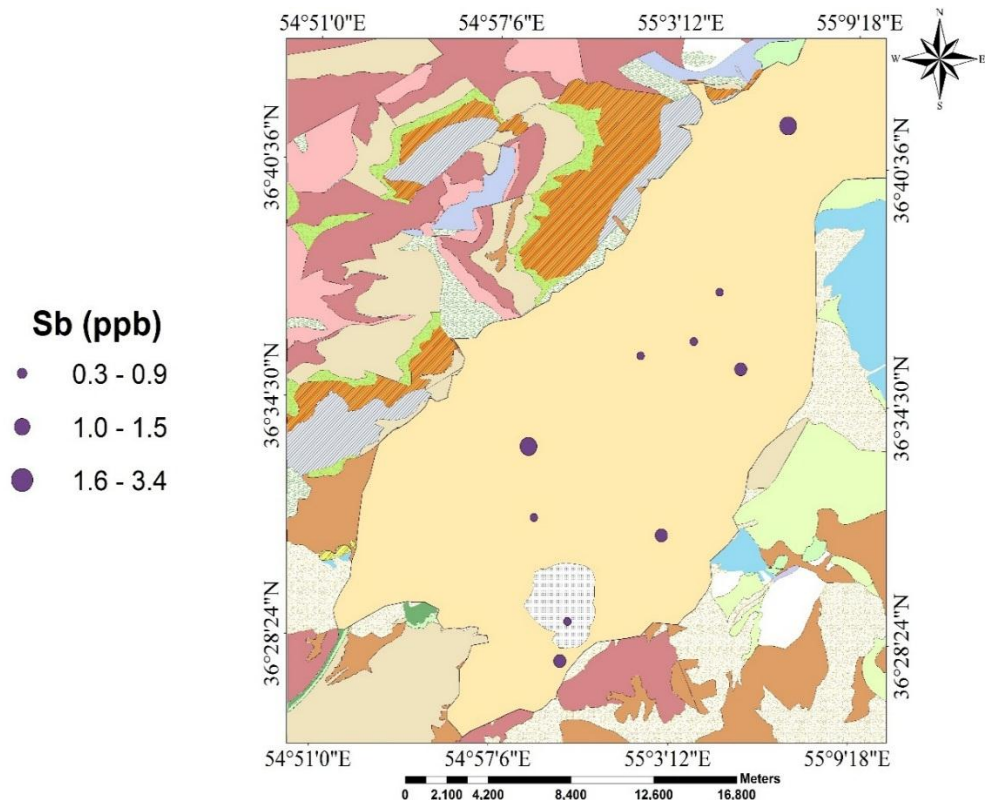
شکل ۴-۳۵: نقشه پراکندگی غلظت سلیوم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



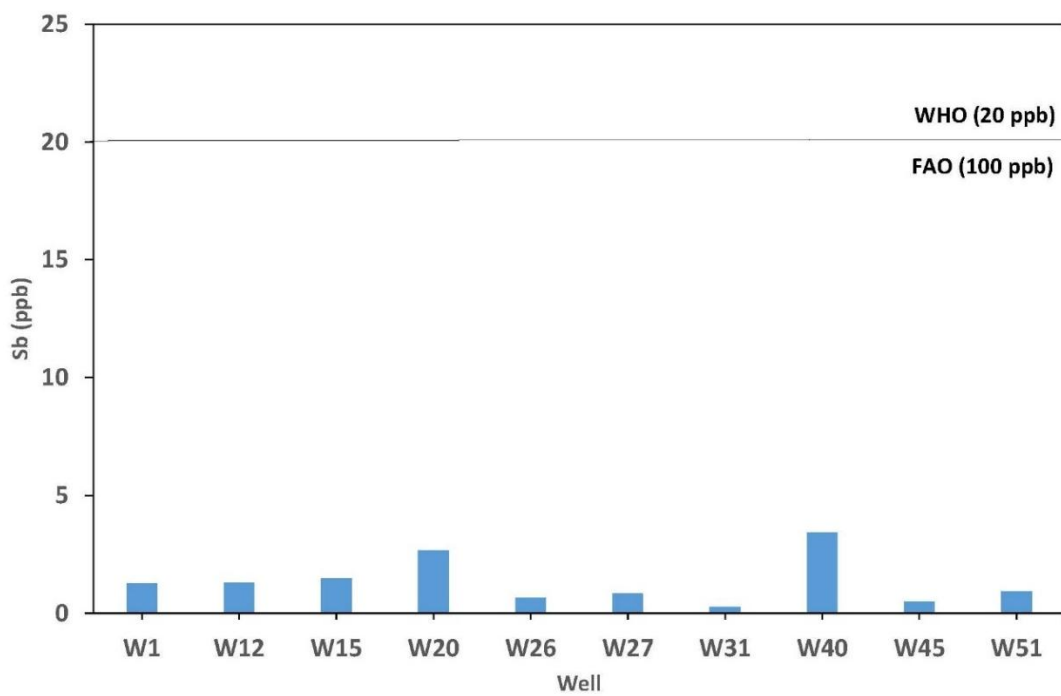
شکل ۴-۳۶: نمودار ستونی سلنیوم در نمونه‌های مورد مطالعه

۴-۴-۸ آنتیموان

بازه‌ی غلظت عنصر آنتیموان بین ۰/۲۶ تا ۳/۴ با میانگین ۱/۸ ppb می‌باشد (شکل ۴-۳۷). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز آنتیموان برای آب‌های شرب ۲۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۳۸) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز آنتیموان از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت دارای آلودگی کم به آنتیموان می‌باشد. منابع اصلی ورود آنتیموان به محیط فعالیت‌های انسانی نظیر احتراق سوخت‌های فسیلی، حفر معدن و دود ناشی از وسایل نقلیه می‌باشد (Nash et al, 2000). از آنجا که همه نمونه‌ها غلظت کمتر از حداکثر مقدار مجاز هستند، از نظر آشامیدن مناسب می‌باشند.



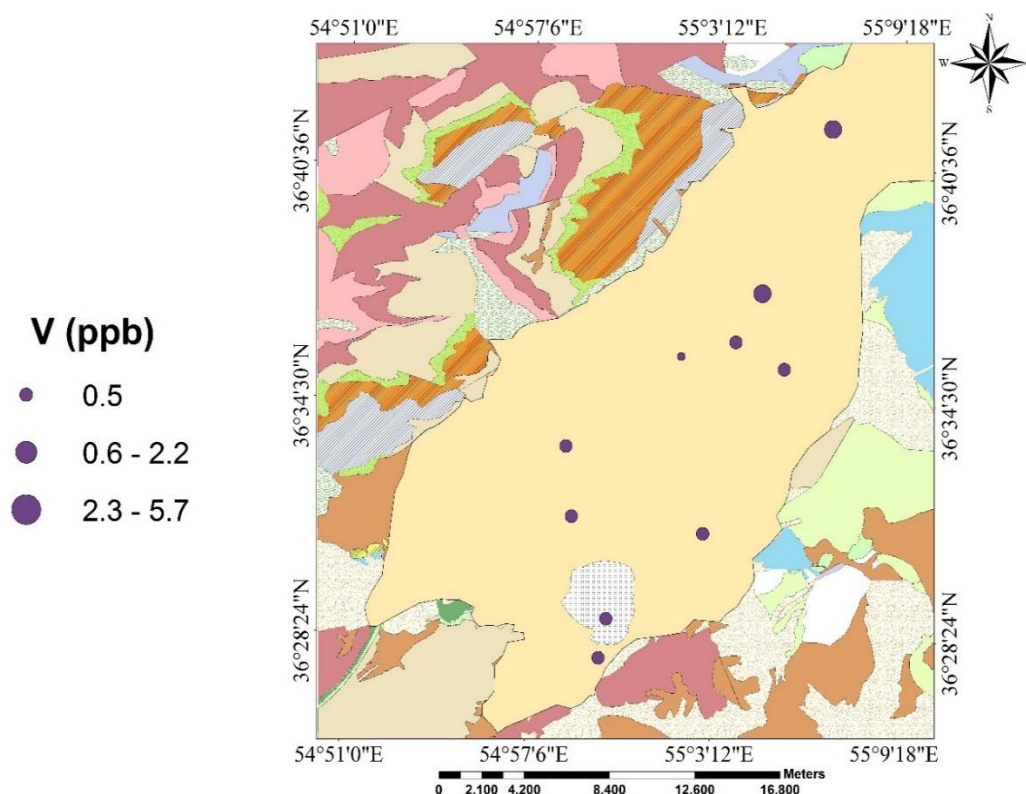
شکل ۴-۳۷: نقشه پراکندگی غلظت آنتیموان در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



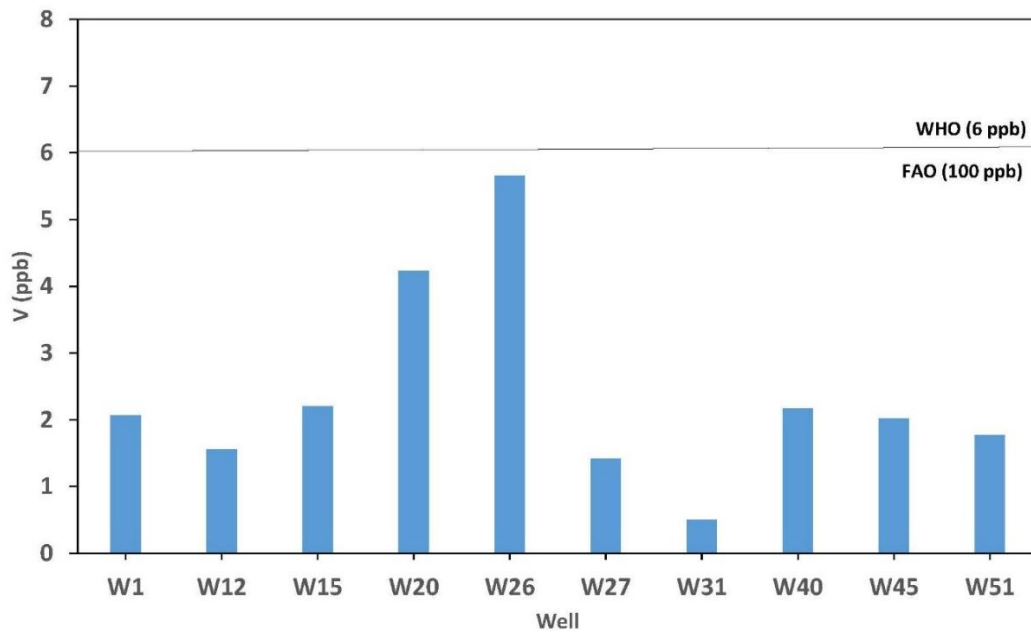
شکل ۴-۳۸: نمودار ستونی آنتیموان در نمونه‌های مورد مطالعه

۹-۴-۴ وانادیوم

غلظت عنصر وانادیوم در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۵ تا ۵/۶۶ با میانگین ۳/۰۸ ppb است (شکل ۴-۳۹). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد مجاز وانادیوم برای آب‌های شرب ۶ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۴۰) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز وانادیوم از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت آلودگی بالایی به وانادیوم دارند. بیشترین غلظت وانادیوم مربوط به (ایستگاه ۲۶) در شمال شرق دشت می‌باشد. بیشترین غلظت وانادیوم در شیل و سنگ آهک است (Zhang et al, 2002). به طور متوسط ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وانادیوم در سنگ بسترهای رسوبی از جمله شیل سیاه وجود دارد (Alloway, 1990). بنابراین علت غلظت بالای وانادیوم به احتمال زیاد می‌تواند وجود شیل‌های سیاه مربوط به سازند شمشک در منطقه باشد.



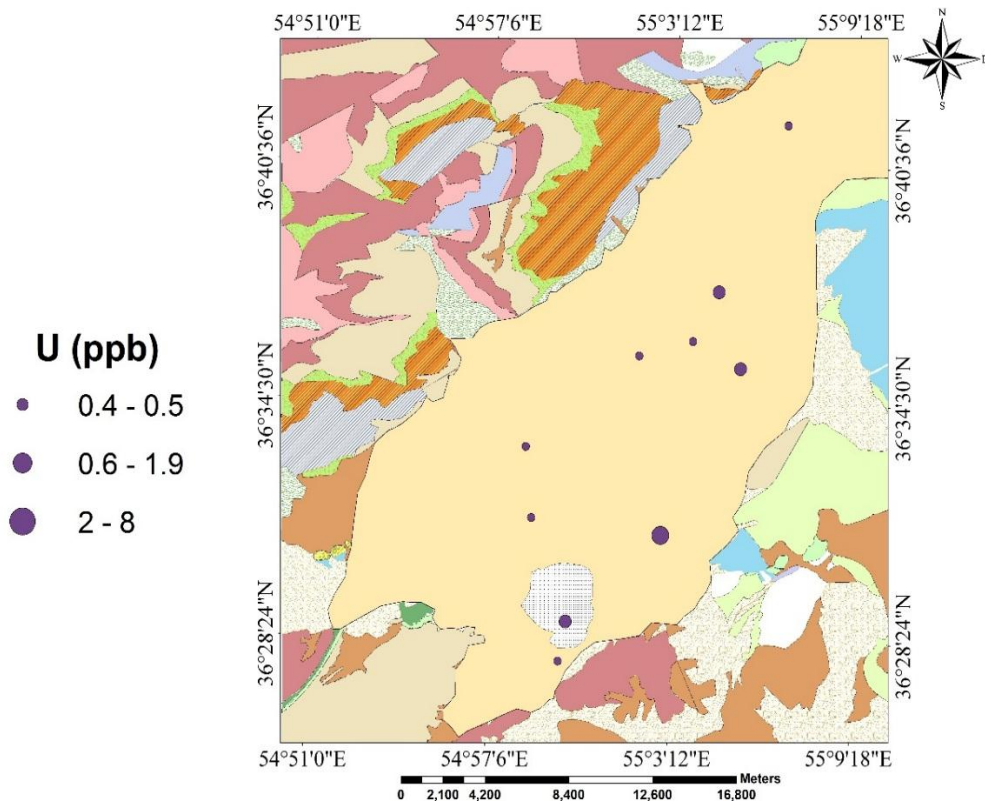
شکل ۴-۳۹: نقشه پراکندگی غلظت وانادیوم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



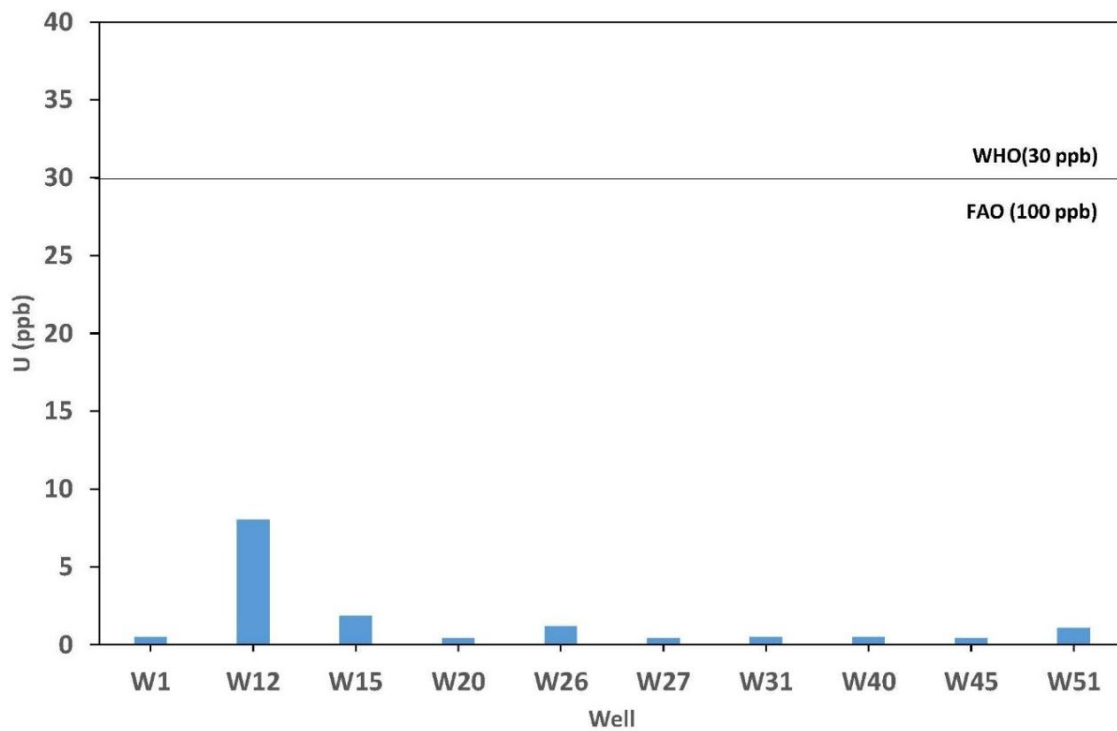
شکل ۴-۴۰: نمودار ستونی وانادیوم در نمونه‌های مورد مطالعه

۴-۴-۱۰ اورانیوم

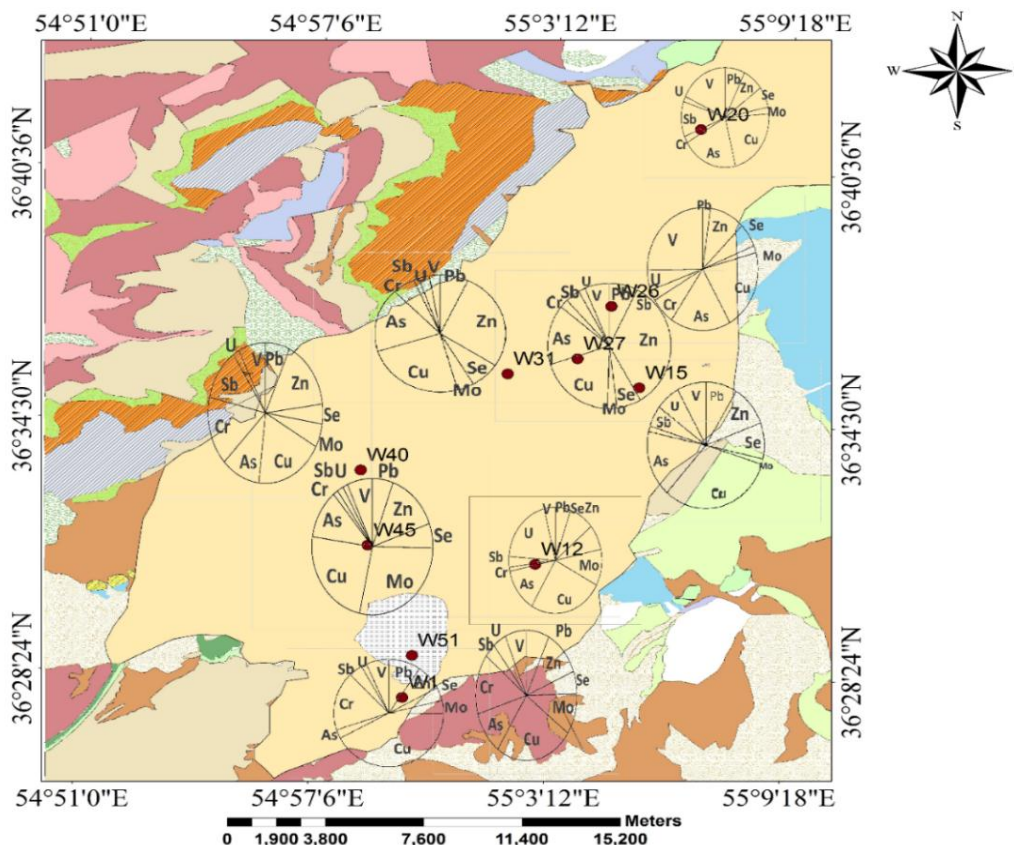
بازه‌ی غلظت عنصر اورانیوم بین ۰/۴ تا ۸/۰۲ با میانگین ۴/۲ ppb است (شکل ۴-۴۱). طبق استاندارد سازمان استاندارد جهانی (WHO, 1993)، حد اکثر مجاز اورانیوم برای آب شرب ۳۰ ppb می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۴۲) تمام نمونه‌ها از لحاظ فلز اورانیوم از نظر استاندارد WHO و FAO پایین‌تر است و آب‌های زیرزمینی دشت دارای آلودگی کم به اورانیوم می‌باشد. بیشترین غلظت اورانیوم در (ایستگاه ۱۲) واقع در جنوب شرق دشت وجود دارد.



شکل ۴-۴۱: نقشه پراکندگی غلظت اورانیوم در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



شکل ۴-۴۲: نمودار ستونی اورانیوم در نمونه‌های مورد مطالعه



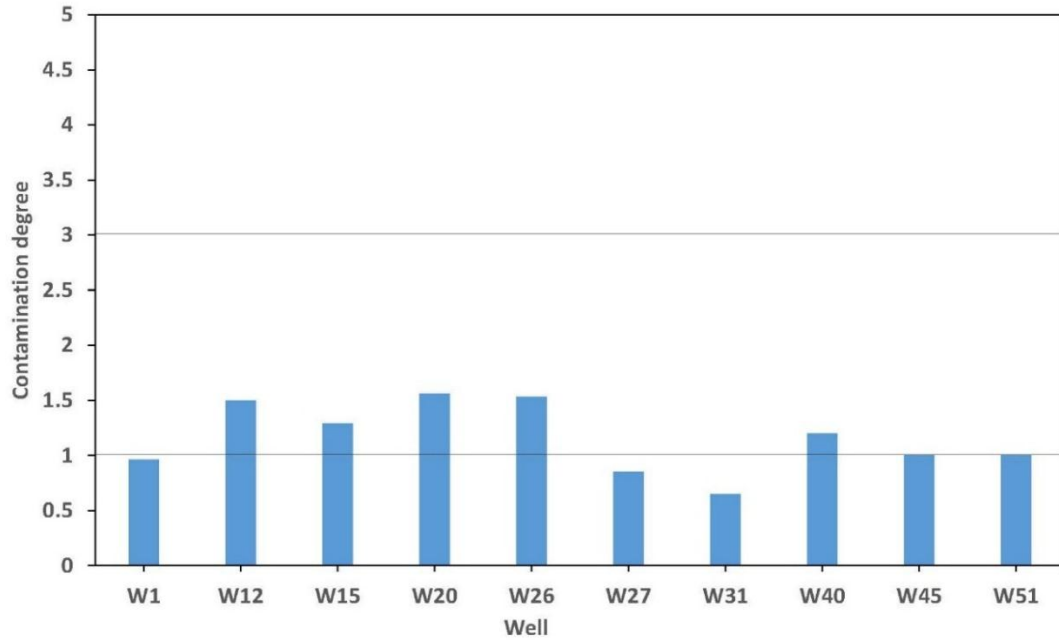
شکل ۴-۴: نقشه پراکندگی غلظت فلزات بالقوه سمی در منطقه مورد مطالعه

نقشه پراکندگی غلظت فلزات بالقوه سمی در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. باتوجه به شکل می‌توان بیان کرد، در سمت شمال شرق و شرق دشت فلزات آرسنیک، مس و وانادیوم بیشتر از فلزات دیگر هستند که احتمالاً فاضلاب‌های خانگی باعث افزایش غلظت این عناصر شده است. در جنوب دشت مقدار کروم و مس بالا است که دلیل افزایش آن می‌تواند فعالیت‌های کشاورزی باشد.

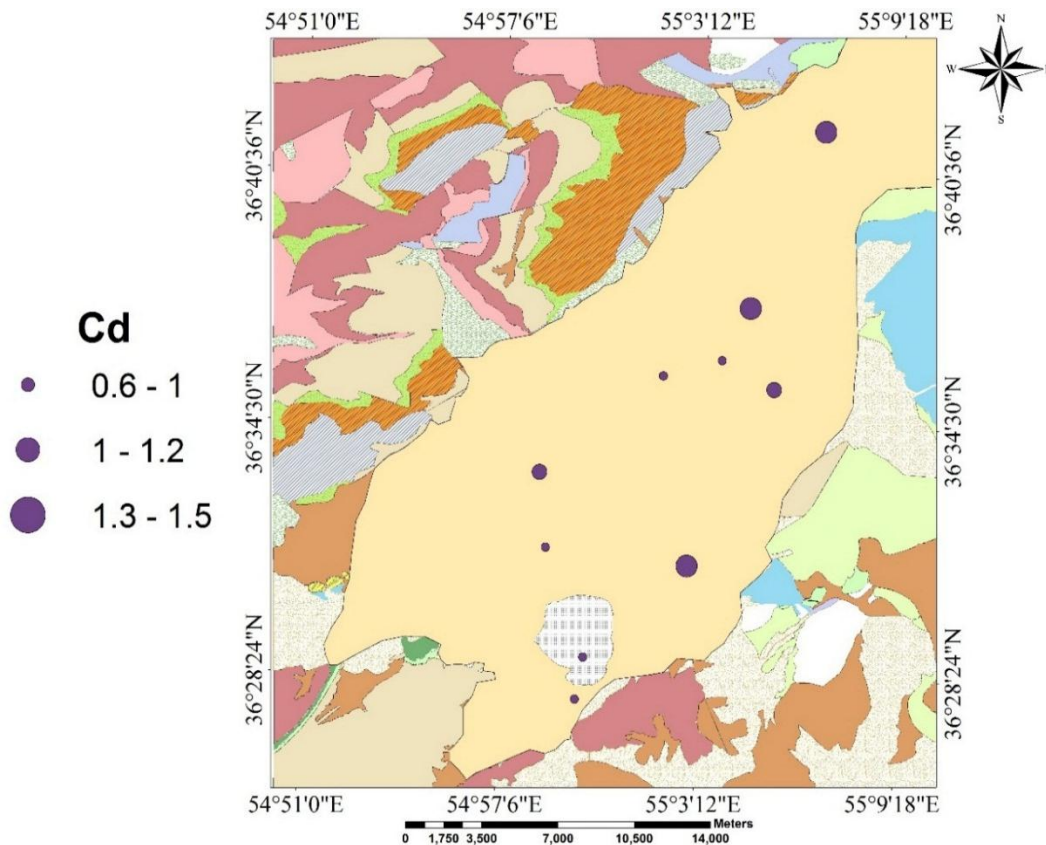
۴-۵ درجه آلودگی و شاخص آلودگی عناصر بالقوه سمی

در جدول (۴-۴) مقادیر درجه آلودگی و شاخص آلودگی عناصر بالقوه سمی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام ارائه شده است. براساس (شکل ۴-۴ و ۴-۴۵) مشخص می‌شود که مقادیر درجه آلودگی همه نمونه‌های آب از لحاظ محتوای فلزات بالقوه سمی، در مرتبه آلودگی متوسط (کمتر از ۳) قرار می‌گیرند. ایستگاه‌های ۳۱ و ۲۷ در مرتبه آلودگی پایین (کمتر از ۱) قرار دارند و ایستگاه‌های ۲۰

و ۲۶ آلودگی بالاتری را نشان می‌دهند، به این دلیل که در نزدیک روستاها می‌باشند و احتمالاً به علت ورود فاضلاب به آب زیرزمینی درجه آلودگی بالا رفته است.

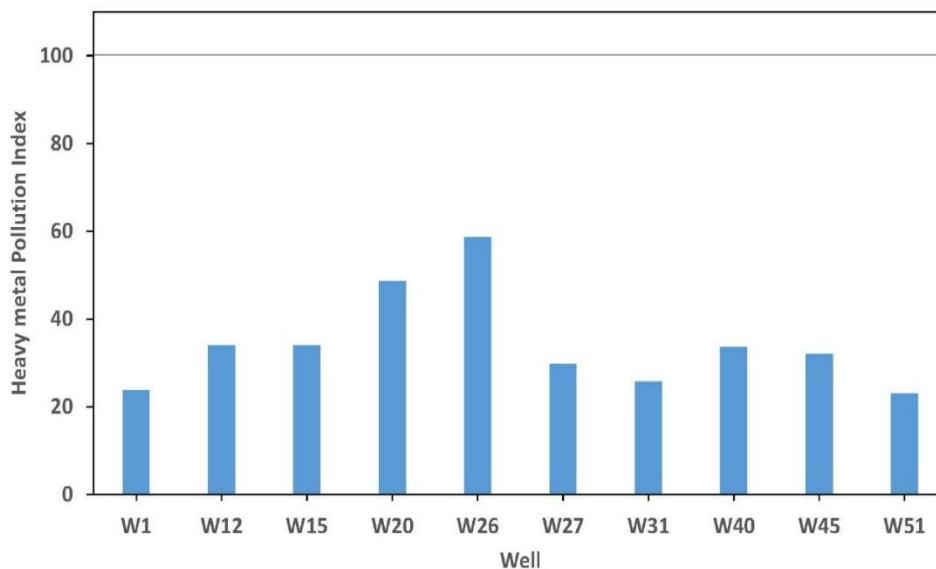


شکل ۴-۴۴: نمودار شاخص درجه آلودگی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام

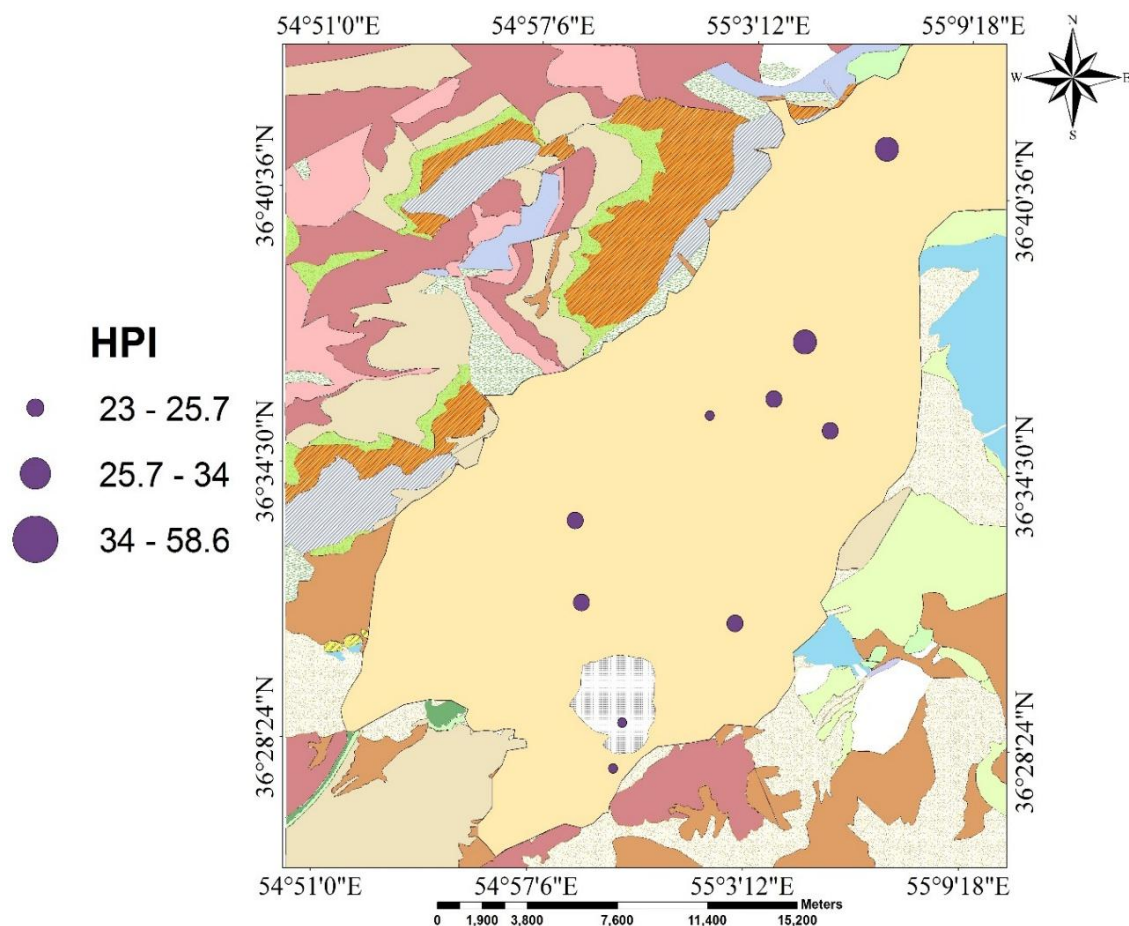


شکل ۴-۴۵: نقشه پراکندگی درجه آلودگی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام

شکل (۴-۴۶ و ۴-۴۷) درجه شاخص آلودگی فلزات سنگین دشت بسطام را نشان می‌دهند، که نمایانگر این است که همه نمونه‌های آب از لحاظ محتوی فلزات سنگین در مرتبه آلودگی پایین (کمتر از ۱۰۰) قرار می‌گیرند. در بین آنها ایستگاه‌های ۱۲ و ۱۵ و ۲۰ و ۲۶ و ۴۰ نسبت به بقیه HPI بالاتری را نشان می‌دهند، که می‌تواند به دلیل نزدیک بودن به مناطق روستایی در اثر وارد شدن پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی به آب‌های زیرزمینی شاخص آلودگی فلزات سنگین افزایش یافته باشد.



شکل ۴-۴۶: نمودار مقادیر شاخص آلودگی فلزات سنگین نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام



شکل ۴-۴۷: نقشه پراکندگی شاخص آلودگی فلزات سنگین نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام

جدول ۴-۴: مقادیر شاخص‌های کیفی محاسبه شده برای نمونه‌های منابع آب زیرزمینی دشت بسطام

۵۱	۴۵	۴۰	۳۱	۲۷	۲۶	۲۰	۱۵	۱۲	۱	نمونه
۱	۱	۱/۲	۰/۶۵	۰/۸۵	۱/۵۳	۱/۵۶	۱/۲۹	۱/۵	۰/۹۶	Cd
۲۳	۳۲	۳۳/۶	۲۵/۷	۲۹/۸	۵۸/۶	۴۸/۶	۳۴	۳۴	۲۳/۸	HPI

۴-۶ بررسی همبستگی پارامترها در نمونه‌های آب

با توجه به رابطه همبستگی بین یون‌های مختلف (جدول ۴-۵) می‌توان منشأ یکسان آن‌ها را بررسی کرد. پارامتر EC با عناصر Se و U رابطه خوبی را نشان می‌دهد که با توجه به این که EC تحت تأثیر زمین‌شناسی منطقه است، بنابراین عناصر Se و U نیز می‌تواند تحت تأثیر زمین‌شناسی منطقه قرار گرفته باشد و یا Pb با Cu می‌تواند در اثر فعالیت‌های کشاورزی افزایش یابد. As با Cr رابطه منفی خوبی را نشان داده است که احتمالاً فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌تواند عامل افزایش غلظت Cr

در آب زیرزمینی شده باشد و فاضلاب‌های خانگی باعث افزایش As می‌گردد. با توجه به روستاهای مختلف در منطقه مورد مطالعه و تخلیه مستقیم فاضلاب خانگی به داخل آبخوان، غلظت برخی از عناصر سمی نیز می‌تواند افزایش پیدا کرده باشد.

جدول ۴-۵: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام

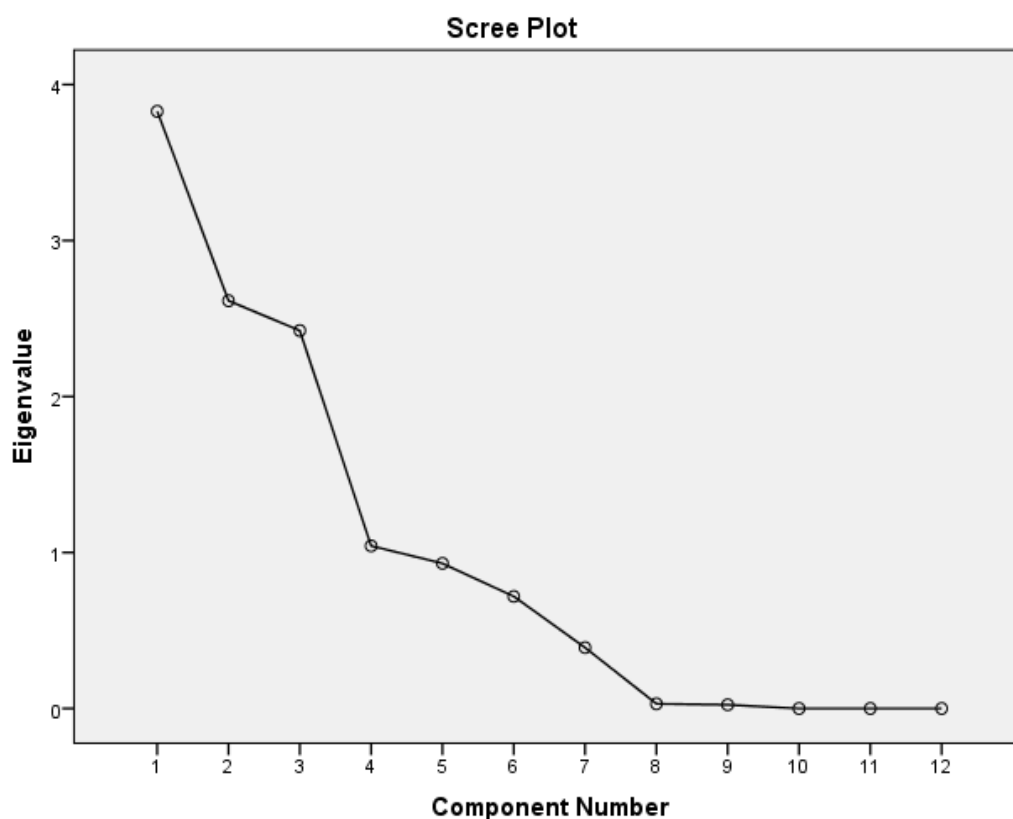
pH	EC V	Zn	Se	Pb	Mo	Cu	As	Cr	Sb	U
pH	1									
EC	-.646*	1								
Zn	.005	.617	1							
Se	-.637*	.590	-.091	1						
Pb	.228	-.090	.067	.252	1					
Mo	.347	.174	.189	.234	.309	1				
Cu	-.117	-.018	-.328	.450	.660*	.396	1			
As	-.469	.500	.075	.578	-.358	-.082	-.443	1		
Cr	.466	-.403	-.152	-.638*	.065	.045	.128	-.708*	1	
Sb	-.008	-.300	-.356	.092	.429	-.126	.209	.025	.186	1
U	-.670*	.595	-.187	.814**	.047	.194	.452	.385	-.181	.078
V	-.234 .050	-.405 1	-.691*	-.018	-.334	-.222	.004	.132	.029	.513

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

۴-۶-۱ تحلیل مؤلفه اصلی

با توجه به به تحلیل مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه (جدول ۴-۶) و شکل ۴-۴ (۴۸) چهار مؤلفه اصلی که غلظت عناصر را تغییر داده‌اند تشخیص داده شده است. مؤلفه اول که

پارامتر EC و pH ، فلزات Cu, U, Se را تحت تأثیر قرار داده می‌تواند عامل زمین‌شناسی غالب باشد. ولی مؤلفه‌های دوم و سوم می‌تواند تحت تأثیر زمین‌شناسی و فاضلاب خانگی قرار گرفته باشد. مؤلفه چهارم نیز می‌تواند در اثر فعالیت‌های کشاورزی بوجود آمده باشد که باعث افزایش غلظت As ,Cr و دیگر فلزات شده است.



شکل ۴-۴۸: مؤلفه‌های استخراج شده نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام

جدول ۴-۶: مؤلفه‌های استخراج شده از ساختار اولیه داده‌ها از روش PCA

Rotated Component Matrix^a

	Component			
	1	2	3	4
pH	-.792	-.083	.262	-.346
EC	.623	-.601	-.020	.385
Zn	-.175	-.851	.050	.255
Se	.760	.038	.362	.509
Pb	-.101	.038	.946	-.001
Mo	.114	-.326	.572	-.132
Cu	.474	.199	.721	-.378
As	.294	.009	-.276	.848
Cr	-.236	.106	.027	-.825
Sb	-.125	.733	.384	.193
U	.929	.056	.162	.099
V	.103	.854	-.300	.013

Extraction Method: Principal Component Analysis.

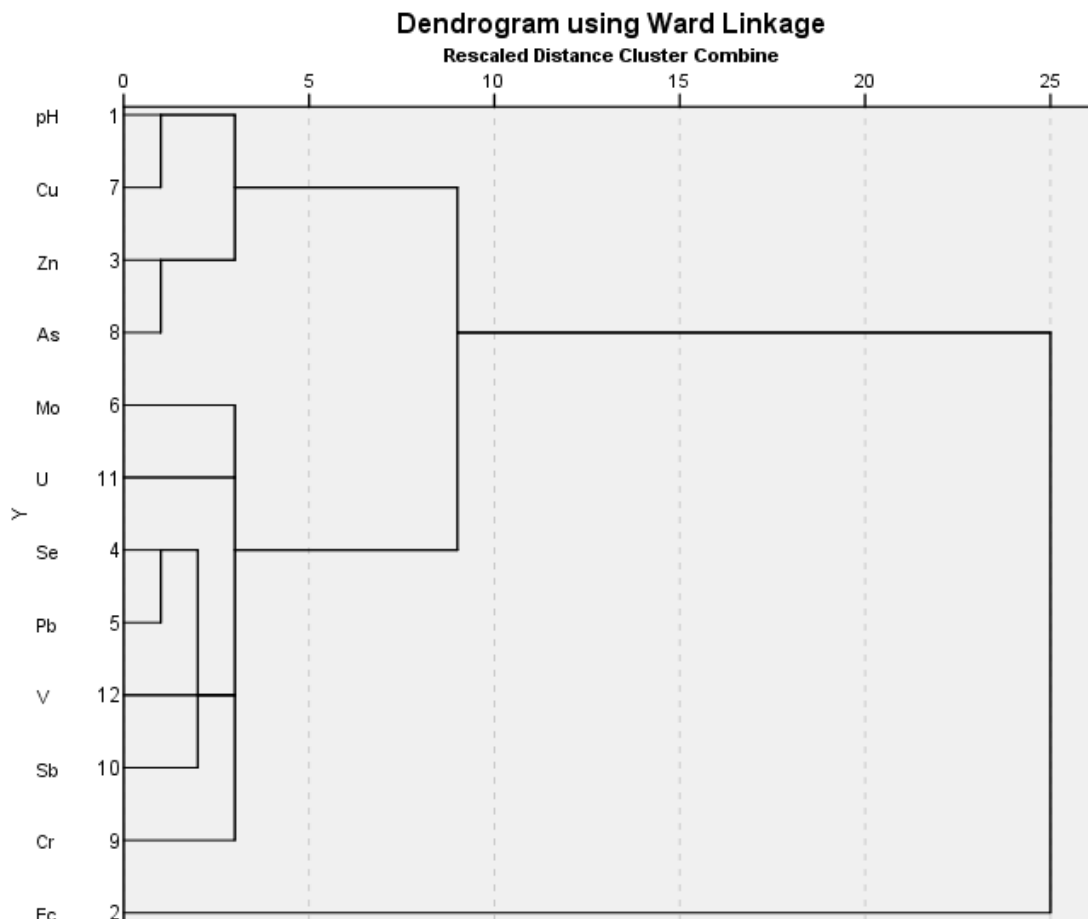
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.^a

a. Rotation converged in 7 iterations.

۴-۶-۲ تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی

با توجه به شکل (۴-۴۹) یون‌های Cu, Zn و As در یک گروه و بقیه فلزات و شبه فلزات همچون U, Mo, Se, Sb در گروه مجزا قرار گرفته‌اند. عنصر As بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی قرار می‌گیرد. با توجه به گسترش فعالیت کشاورزی در منطقه مورد مطالعه امکان افزایش As و حتی Cu در آب زیرزمینی وجود دارد. یون‌هایی مثل U, Mo, Cr می‌توانند منشأ زمین‌زاد داشته باشند. با توجه به گسترش لایه‌های شیلی در منطقه امکان افزایش این یون‌ها در آب زیرزمینی وجود دارد. سایر فلزات می‌توانند تحت تأثیر تخلیه فاضلاب‌های خانگی قرار گرفته باشند. پارامتر EC نیز یک گروه جداگانه تشکیل داده است. با توجه به غلظت کم این یون‌ها در منطقه مورد مطالعه اثر آن‌ها در تفسیر EC نمونه‌های آب منطقه ناچیز بوده و رابطه خاصی را با توجه به تحلیل خوشه‌ای نشان نمی‌دهند. تغییر EC بیشتر تحت تأثیر یون‌های اصلی موجود در آب صورت می‌گیرد. در کل نمونه‌های آب نسبت به فلزات آلوده نشده‌اند، همین غلظت کم، بیشتر می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی و طبیعی در آب اضافه شده و با گذشت زمان ممکن است بیشتر نیز گردد. عناصری همچون Mo, Cr, As, Se در pH

های قلیایی تحرک پذیری بیشتری دارند و با توجه به pH خنثی و قلیایی در نمونه‌های آب منطقه شرایط وجود این عناصر در آب زیرزمینی می‌باشد.



شکل ۴-۴۹: خوشه‌بندی سلسله مراتبی برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام

۷-۴ بررسی تغییرات غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام

معیارهای مختلفی از حد مجاز غلظت نیترات در آب زیرزمینی وجود دارد. به طوریکه با توجه به این معیارها ارگان‌های مختلفی در سطح دنیا ارائه شده است. بیشترین مقدار مجاز نیترات برای منابع آب آشامیدنی از لحاظ سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) حدود ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و مؤسسه تحقیقات و استاندارد صنعتی سازمان برنامه بودجه در ایران حدود ۴۵ میلی‌گرم در لیتر تعیین کرده است. غلظت نیترات معمولاً در آب زیرزمینی کمتر از ۱۰ میلی‌گرم می‌باشد. اگر غلظت بیشتر از این

حد بود، نشانگر تأثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه می‌باشد. نیترات از طریق کودهای نیتروژن‌دار و فاضلاب‌ها (شهری، صنعتی و کشاورزی) وارد خاک می‌شود و به دلیل اینکه توسط ذرات خاک جذب نمی‌شود قابلیت جابجایی زیادی دارد و می‌تواند وارد آب‌های زیرزمینی شود و ایجاد آلودگی کند. به منظور ارزیابی غلظت یون نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت بسطام مقادیر نیترات اندازه‌گیری شده که در جدول (۷-۴) ارائه شده است. شکل (۴-۵) غلظت نیترات در چاه‌های نمونه‌برداری دشت بسطام را نشان می‌دهد.

جدول ۷-۴: غلظت نیترات اندازه‌گیری شده نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت بسطام

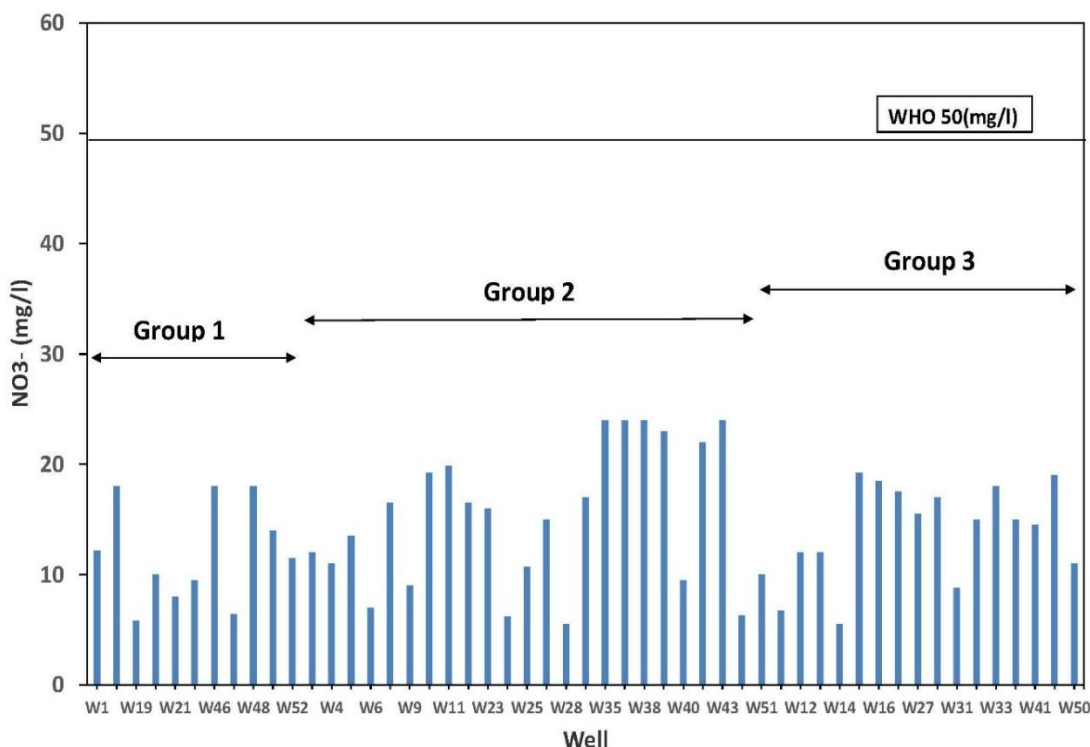
شماره چاه	محل نمونه برداری	EC	pH	NO3-
W1	قلیان فروش	674	7.79	12.16
W2	چمنی	1421	7.48	12
W3		726	7.89	18
W4	ابراهیمی	1451	7.69	11
W5		1085	7.67	13.5
W6	گرچی	1423	7.56	7
W7	اقایان	5500	7.22	6.7
W8		1519	7.47	16.5
W9		1437	7.39	9
W10	قاسم اباد	1305	7.67	19.2
W11	میان اباد	1824	7.5	19.8
W12	عباسیان بی طرف	4300	7.35	12
W13	قهج بالا	2210	7.82	12
W14	قهج سفلی	2720	7.59	5.5
W15	زرگر	2570	7.16	19.2
W16	چهار طاق	2590	7.55	18.5
W17	پرو	1117	7.59	16.5
W18	چهار طاق پایین	2280	7.54	17.5
W19	ابر	423	7.75	5.8
W20		499	7.7	10
W21	جاده ابر	439	7.73	8

9.5	7.91	797	ساکنین قات ابوتراب	W22
16	7.61	1581		W23

ادامه جدول ۴-۷

NO3-	pH	EC	محل نمونه برداری	شماره چاه
6.2	7.65	1445		W24
10.7	7.32	2050	قلعه محمد اقا	W25
15	7.31	1611	قلعه نوخرقان	W26
15.5	7.57	2450	فرشیدی کلامو	W27
5.5	7.55	1476	کلامو	W28
17	7.53	1835		W29
17	7.5	2320	قلعه اقا	W30
8.8	7.66	2170		W31
15	7.63	2440	میقان	W32
18	8.03	2150	محل خروج اب	W33
15	7.5	2390	گرمعلی نصرتی حسین اباد	W34
24	7.66	2040	حسین اباد	W35
24	7.61	1640	گنده پلو شاه حسینی	W36
24	7.48	2030	علیان	W38
23	7.84	1653		W39
9.5	7.87	1590		W40
14.5	7.84	2860	گنده پلو	W41
22	7.85	1700	چاه دستی (ابرسج)	W42
24	7.32	1844		W43
19	7.55	2580	رضایی ده خیر	W44
6.3	7.72	1848	لشکر پیاده محرم	W45
18	7.77	859	اقبال جاده یک محرم	W46
6.4	7.85	710		W47
18	7.79	797	معزی گل محمدی	W48
14	7.7	746		W49
11	7.7	2290		W50

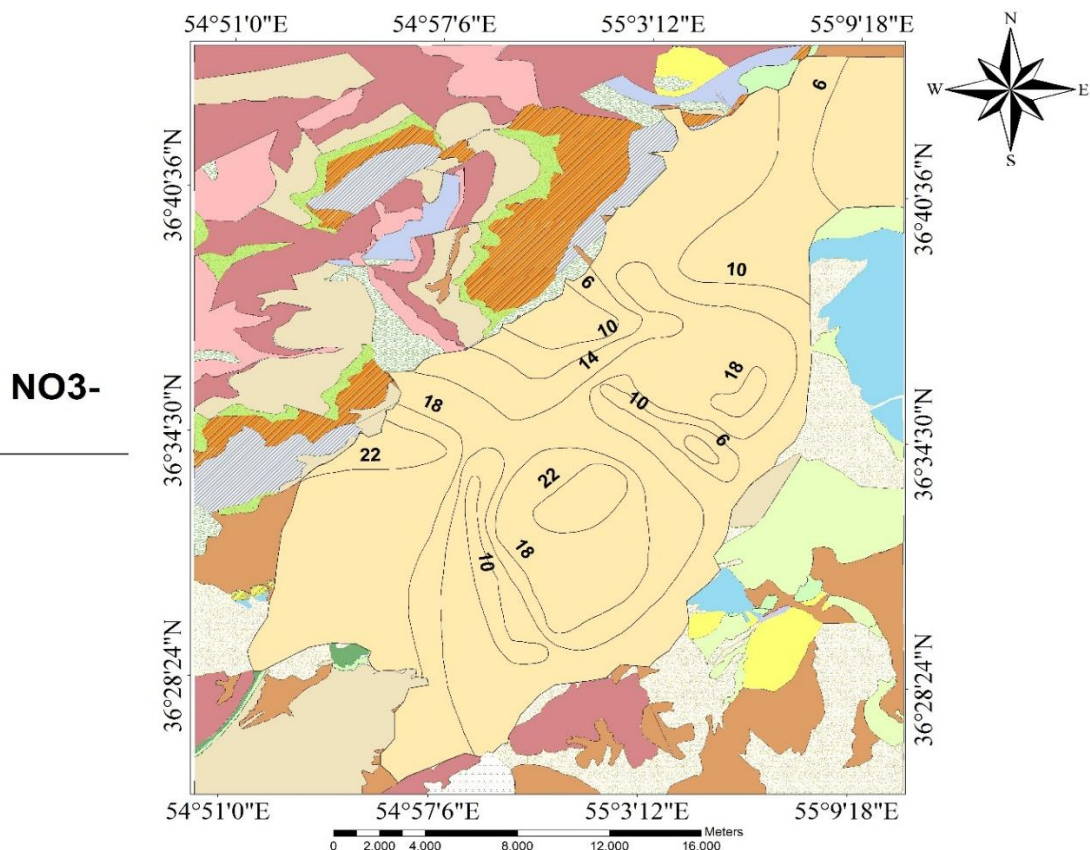
10	7.71	1416	فردوسی بسطام	W51
11.5	7.79	937	کوروش	W52



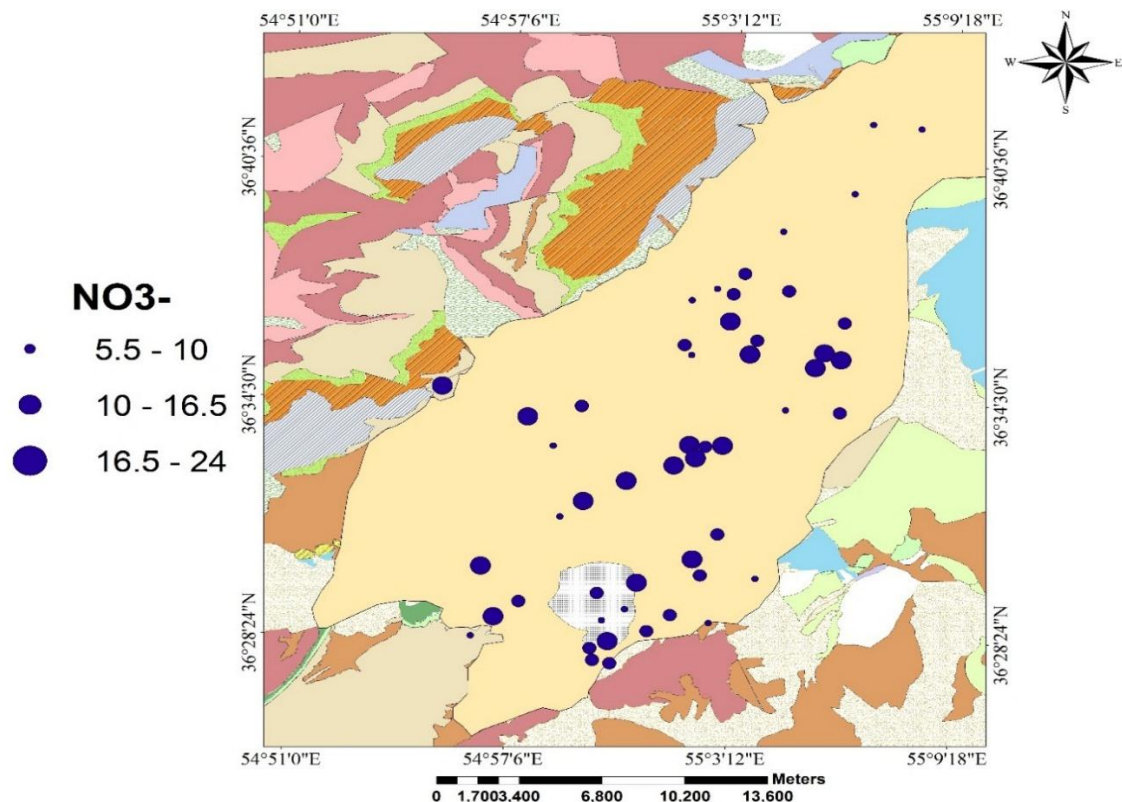
شکل ۴-۵۰: وضعیت نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام براساس نیترات

میانگین غلظت نیترات در چاه‌های نمونه‌برداری ۱۴ میلی گرم در لیتر و حداکثر غلظت آن ۲۴ میلی گرم در لیتر است و مربوط به نواحی روستایی می‌باشد (ایستگاه‌های ۳۵، ۳۶، ۳۸، ۴۱). با دور شدن از منطقه روستایی از غلظت نیترات کاسته می‌شود و به مقدار کمتر از ۱۰ می‌رسد و کمترین غلظت نیترات ۵/۵ میلی گرم در لیتر است (ایستگاه ۱۴). (شکل ۴-۵۱) نقشه هم‌غلظت یون هم نیترات دشت بسطام را نشان می‌دهد. غلظت نیترات در تمام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام از مقدار ۵۰ میلی گرم در لیتر که استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) است پایین‌تر می‌باشد و خطری از لحاظ مقدار نیترات منطقه را تهدید نمی‌کند. بر طبق شکل (۴-۵۲) بیشترین مقدار نیترات مربوط به بخش مرکزی دشت و پایین دست می‌باشد که به دلیل کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار می‌باشد. همچنین نزدیکی مناطق مسکونی به چاه‌های کشاورزی و زهاب فاضلاب‌های

خانگی می‌تواند از دلایل افزایش آلودگی نیترات نیز باشد. پایین‌ترین مقادیر نیترات متعلق به چاه‌های واقع در مناطق تغذیه و چاه‌های عمیق است که با افزایش عمق غلظت نیترات به دلیل فرآیند نیترات-زدایی کاهش می‌یابد. به طور کلی عوامل متعددی همچون زمین‌شناسی منطقه، بافت خاک، فعالیت‌های کشاورزی، مناطق مسکونی، میزان بارندگی، عمق آب زیرزمینی و ... می‌توانند بر میزان غلظت نیترات در آب زیرزمینی مؤثر باشند. در منطقه مورد مطالعه مقدار نیترات با EC رابطه خیلی واضحی را نشان نمی‌دهد اما آب‌های خیلی شور دارای مقدار نیترات کمتری می‌باشند. دلیل این است که افزایش مقدار EC در اثر نفوذ آب شور از کناره‌های دشت بوده و مناطق کشاورزی و مسکونی کم است و به همین علت میزان نیترات کم می‌باشد.



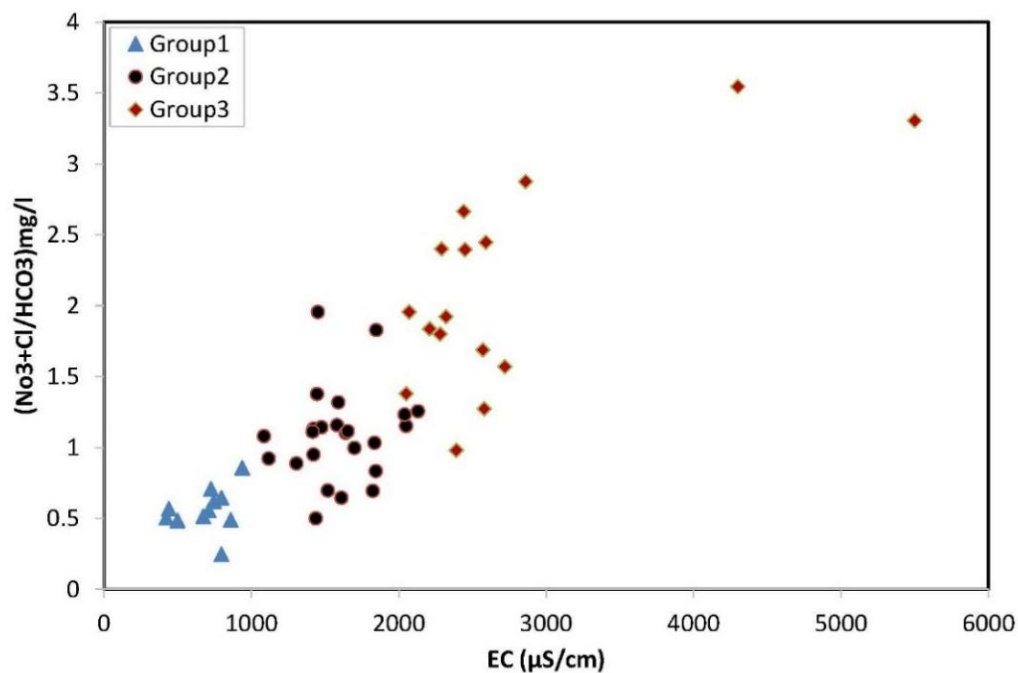
شکل ۴-۵۱: نقشه هم‌غلظت یون نیترات در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۵۲: نقشه پراکندگی مکانی غلظت یون نیترات در منطقه مورد مطالعه

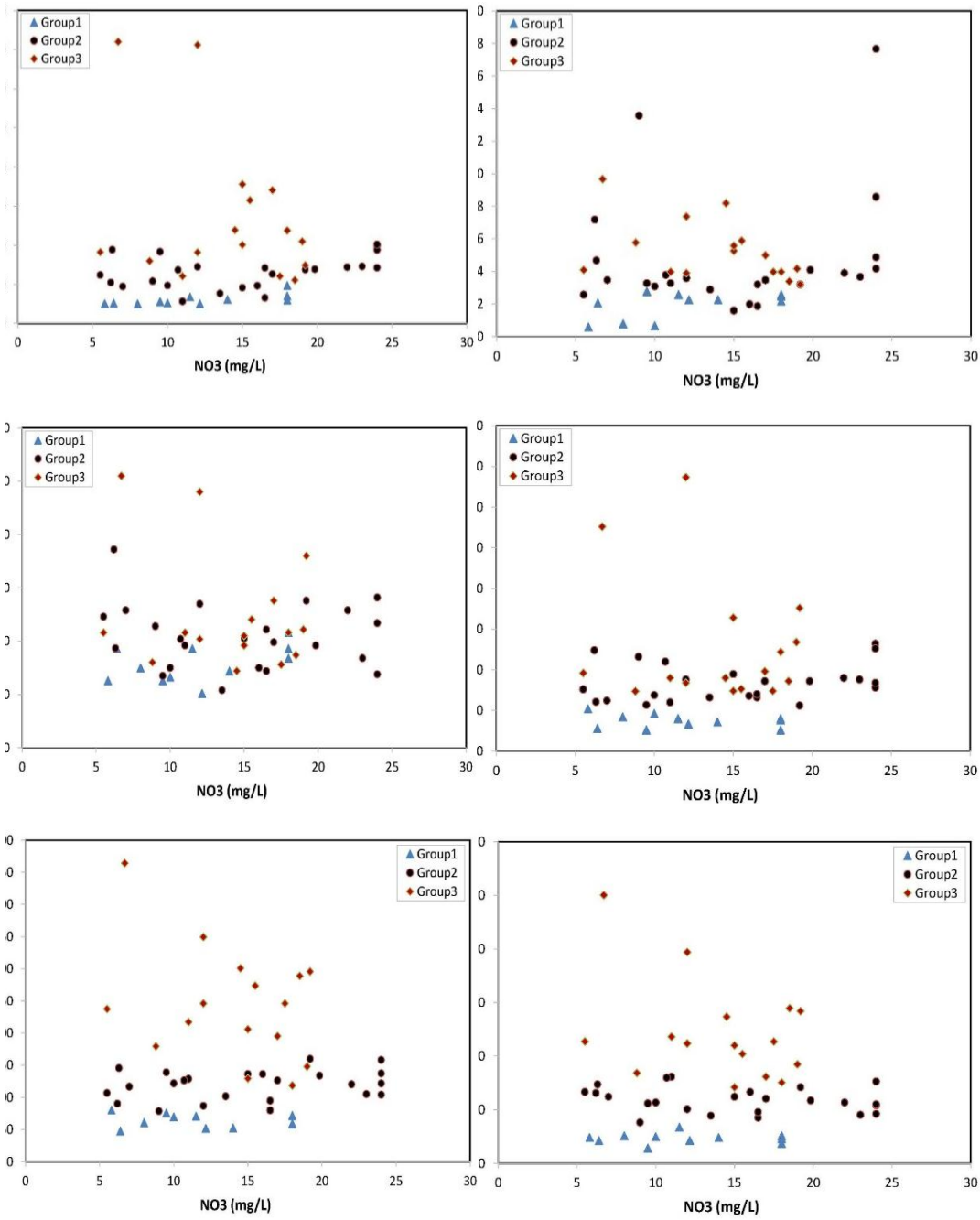
افزایش مقدار EC با افزایش نیترات مسیر جریان می‌تواند اتفاق افتد. با نگاهی کلی به نقشه پراکندگی مقدار نیترات در دشت بسطام می‌توان مشاهده کرد که در جهت جریان آب زیرزمینی مقدار نیترات افزایش یافته است، به‌طوری‌که در زون‌های تغذیه در سمت شمال کمترین میزان نیترات اندازه‌گیری شده است. به سمت مرکز و خروجی دشت مقدار نیترات افزایش یافته است. البته در این دشت عوامل دیگری نیز بر افزایش و تغییرات غلظت یون نیترات مؤثر بوده که باعث تغییر ناگهانی در برخی از نقاط دشت شده است. به طور مثال در سمت روستای ابرسج (غرب دشت) مقدار نیترات به دلیل وجود فاضلاب خانگی افزایش یافته است. بافت خاک نیز بر میزان نیترات دشت بسطام مؤثر بوده است. در مکان‌هایی که تمرکز کشاورزی بیشتر بوده و خاک دانه درشت است، غلظت نیترات تا حدودی افزایش یافته است. به‌طوری‌که در منطقه ورودی از سمت مجن که رسوبات دانه درشت هستند، مقدار غلظت نیترات در طی آب برگشتی در اثر استفاده از کودهای شیمیایی افزایش یافته است. با توجه به حجم آب برگشتی زیاد در این منطقه، انتظار می‌رود که میزان نیترات زیادی در طی آب برگشتی به آب

زیرزمینی تزریق گردد که همانطور که اشاره شده در جهت جریان آب زیرزمینی غلظت آن افزایش یافته است. در اطراف مناطق روستایی و شهر بسطام، مقدار غلظت نیترات متفاوت می‌باشد که این می‌تواند به دلایل مختلف همچون عمق متفاوت چاه‌ها، نزدیکی یا دوری از چاه‌های جذبی باشد. در شهر بسطام چندین نمونه برداشت شده که نمونه داخل شهر، نیترات کمتر از بقیه نقاط بوده که این به دلیل عمق بیشتر این چاه در این محدوده بوده است. با توجه به تعداد زیاد روستاها در منطقه و همچنین تمرکز کشاورزی زیاد در منطقه، تفکیک این دو منشأ، فاضلاب و آب برگشتی کشاورزی آسان نمی‌باشد. با رسم نمودار مقدار EC در مقابل نسبت $\left(\frac{Cl+NO_3}{HCO_3}\right)$ می‌توان به منشأ یون نیترات پی برد. افزایش غلظت کلراید و نیترات در آب زیرزمینی و افزایش آن‌ها نسبت به بی‌کربنات نشان‌دهنده‌ی تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌باشد (کلاتگی، ۱۳۹۳). تغییرات مقدار EC در مقابل نسبت $\left(\frac{Cl+NO_3}{HCO_3}\right)$ برای منطقه مورد مطالعه در شکل (۴-۵۳) ترسیم شده است، همانطور که مشاهده می‌گردد روابط مستقیمی بین این پارامتر وجود دارد که دلیل بر اثر فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت نیترات در این دشت است.



شکل ۴-۵۳: نمودار $(NO_3+Cl)/HCO_3$ در مقابل EC

در شکل (۴-۵۴) رابطه بین غلظت یون‌های اصلی با یون نیترات در دشت بسطام بررسی شده است. در تمامی یون‌ها رابطه مشخصی با تغییرات غلظت یون نیترات را نشان نمی‌دهند که به دلیل اثر عوامل مختلف در تغییرات غلظت یون‌های اصلی همچون نفوذ آب شور می‌باشد. اما در مورد سولفات تا حدودی رابطه مستقیمی را با یون نیترات نشان می‌دهد، علت وجود این رابطه به دلیل اثر فاضلاب در افزایش غلظت یون نیترات به همراه سولفات شده است. لازم به ذکر است که این رابطه معنی‌دار نیست که به دلیل منشأهای مختلف سولفات در منابع آب دشت بسطام می‌باشد. در کل می‌توان بیان کرد که در دشت بسطام غلظت نیترات زیاد نمی‌باشد در مقایسه با دشت شاهرود از آلودگی کمتری برخوردار است. در دشت شاهرود میزان غلظت نیترات در مناطق شهری به دلیل اثر فاضلاب زیاد بوده است (کلانگی، ۱۳۹۳). اما در دشت بسطام به به دلیل وجود چاه‌های جذبی کمتر و جمعیت کمتر غلظت نیترات بخصوص در مناطق اطراف شهر بسطام کمتر می‌باشد. در بقیه دشت بسطام نسبت به دشت شاهرود، مقدار غلظت نیترات بیشتر می‌باشد که به علت تمرکز تعداد روستاهای بیشتر در دشت بسطام و همچنین تمرکز بیشتر کشاورزی در این دشت در مقایسه با دشت شاهرود می‌باشد. به-طوری‌که حداکثر غلظت نیترات در مناطق کشاورزی دشت شاهرود حدود ۱۶ میلی‌گرم بر لیتر بوده در حالیکه در دشت بسطام تا بالای ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز مشاهده شده است. شاهرود به علت قرار گیری در ابتدای حوضه آبریز و درشت بودن بافت خاک در آن منطقه و همچنین وجود چاه‌های جذبی، مقدار نیترات زیادی به طور مستقیم وارد آبخوان شده و غلظت نیترات در آب زیرزمینی منطقه شهری شاهرود افزایش یافته است.



شکل ۴-۵۴: نمودار غلظت نیترات با یون‌های مختلف

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل نتایج حاصل از این تحقیق که شامل مطالعات زمین‌شناسی، هیدروشیمیایی، بررسی تغییرات یون نیتрат و غلظت فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی دشت بسطام می‌باشد.

۵-۱ نتیجه‌گیری

۱- با توجه به نقشه هم‌پتانسیل منطقه، آبخوان بسطام عمدتاً از بخش‌های شمالی و بخش جنوب‌غربی و هم‌چنین به مقدار کمتر از سمت ارتفاعات غربی دشت تغذیه و در نهایت از بخش جنوب شرقی به سمت آبخوان شاهرود تخلیه می‌گردد. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل آبخوان بسطام، بالاترین تراز آب زیرزمینی مربوط به قسمت‌های شمال، غرب و جنوب‌غربی دشت و پایین‌ترین تراز آب زیرزمینی مربوط به نواحی شرقی و جنوب‌شرقی دشت می‌باشد شیب توپوگرافی دشت روند شمال‌غربی و غربی به سمت جنوب‌شرقی را نشان می‌دهد که تقریباً با جریان‌های سطحی و جریان آب زیرزمینی هم‌سو می‌باشند.

۲- تغییرات هدایت الکتریکی تقریباً با جهت جریان آب زیرزمینی یکی می‌باشد، به طوری که در جبهه‌های ورودی در شمال شرق دارای کمترین مقادیر EC بوده، در جبهه ورودی جنوب غرب EC نیز کم بوده که به تدریج به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد. میزان هدایت الکتریکی در کناره‌های دشت، عمدتاً در سمت غرب و شرق، از بیشترین مقدار برخوردار می‌باشد. به طوری که در سمت شرق به دلیل نفوذ جبهه آب شور، مقدار هدایت الکتریکی بالا بوده و به سمت مرکز دشت مقداری کاهش می‌یابد. کناره شرقی و غربی دشت دارای رسوبات تبخیری می‌باشد و تغذیه دشت از این نواحی صورت می‌گیرد، بنابراین بالا بودن هدایت الکتریکی امری بدیهی است. قسمت شمالی و جنوب غربی جبهه‌ی ورودی آب زیرزمینی بوده بنابراین هدایت الکتریکی کمتر و قسمت جنوب شرقی که خروجی دشت محسوب می‌شود از هدایت الکتریکی بیشتری برخوردار است.

۳- میزان غلظت یون‌ها اغلب در سمت شرق و جنوب شرق بالاتر از بقیه نقاط دشت است. یون‌های سدیم، کلسیم، سولفات و کلر در جنوب شرق دشت غالب هستند که احتمالاً منشأ آن‌ها انحلال رسوبات تبخیری می‌باشد. در مناطق تغذیه به علت این که رسوبات دانه درشت بوده، تیپ بی‌کربناته را نشان می‌دهد. در مناطق مرکزی و خروجی دشت تیپ کلروره تا بی‌کربناته می‌باشد. بخش‌های

شرقی و غربی که دشت تغذیه می‌شوند دارای تیپ غالب کلروره می‌باشند در این قسمت تیپ آب کلروره است.

۴- برای رده‌بندی آب از نظر کشاورزی، از نمودار ویلکاکس استفاده شد. اکثر نمونه‌ها در رده C3S1 قرار دارند که آب‌هایی با کیفیت مناسب از نظر کشاورزی می‌باشند. مقدار کمی از نمونه‌ها در رده- C2S1 قرار دارد که از نظر کشاورزی متوسط هستند. نمونه‌های (۷،۱۳،۱۴،۱۶،۱۸،۲۷،۴۱) در رده C4S2 قرار دارند و از نظر کشاورزی نامناسب می‌باشند. این گروه‌ها بیشتر متعلق به منابع آب شور بخش‌های غربی و شرقی دشت می‌باشند که تحت تأثیر نفوذ آب شور قرار گرفته و کیفیت آن برای کشاورزی و شرب مناسب نیست.

۵- با توجه به مقادیر شاخص اشباع، اکثر نمونه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع و تمامی منابع نسبت به ژیپس و هالیت تحت اشباع می‌باشند. به این علت که زون تغذیه آهکی است و اینکه در مسیر جریان از بالا دست به سمت پایین دست مقادیری کلسیم و دولومیت را در خود حل می‌کند نمونه‌ها فوق اشباع هستند. تحت اشباع بودن نمونه‌ها به ژیپس و هالیت می‌تواند به علت مسیر کوتاه جریان و همچنین رخنمون کمتر سازندهای تبخیری و قدرت انحلال پذیری بیشتر این کانی‌ها باشد.

۶- محاسبه شاخص کیفیت آب برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام نشان داد که منابع آب زیرزمینی بالاتر بودن مقدار این شاخص در نمونه‌ها ناشی از نشت فاضلاب‌های مناطق مسکونی و پساب‌های کشاورزی می‌باشد از نظر مصارف شرب، ضعیف تا غیر قابل شرب می‌باشد.

۷- به طور کلی غلظت عناصر بالقوه سمی در آبهای زیرزمینی دشت بسطام در همه نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد WHO و FAO می‌باشد. براساس مقادیر درجه آلودگی، همه نمونه‌های آب از لحاظ محتوای فلزات بالقوه سمی، در مرتبه آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. ایستگاه‌های ۳۱ و ۲۷ در مرتبه آلودگی پایین قرار دارند. و ایستگاه‌های ۲۰ و ۲۶ آلودگی بالاتری را به این دلیل نزدیکی روستاها و ورود فاضلاب به آب زیرزمینی، نشان می‌دهند. همه نمونه‌های آب از لحاظ محتوای فلزات سنگین در

مرتب‌بندی آلودگی پایین قرار می‌گیرند. در بین آنها ایستگاه‌های ۱۲ و ۱۵ و ۲۰ و ۲۶ و ۴۰ نسبت به بقیه HPI بالاتری را نشان می‌دهند، که می‌تواند به دلیل نزدیک بودن به مناطق روستایی در اثر وارد شدن پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی به آب‌های زیرزمینی شاخص آلودگی فلزات سنگین بالاتر است.

۹- با توجه به رابطه همبستگی بین یون‌های مختلف می‌توان منشأ یکسان آن‌ها را بررسی کرد. پارامتر EC با عناصر Se و U رابطه خوبی را نشان می‌دهد که با توجه به این‌که EC تحت تأثیر زمین‌شناسی منطقه است، بنابراین عناصر Se و U نیز می‌تواند تحت تأثیر زمین‌شناسی منطقه قرار گرفته باشد و یا Pb با Cu و As با Cr رابطه خوبی را نشان داده است که احتمالاً فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌تواند عامل افزایش غلظت این یون‌ها در آب زیرزمینی شده باشد. با توجه به روستاهای مختلف در منطقه مورد مطالعه و تخلیه مستقیم فاضلاب خانگی به داخل آبخوان، غلظت برخی از عناصر سمی نیز می‌تواند افزایش پیدا کرده باشد.

۹- با توجه به به تحلیل مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه چهار مؤلفه اصلی که غلظت عناصر را تغییر داده‌اند تشخیص داده شده است. مؤلفه اول که پارامتر EC و pH، فلزات Cu, Se, U را تحت تأثیر قرار داده می‌تواند عامل زمین‌شناسی غالب باشد. ولی مؤلفه‌های دوم و سوم می‌تواند تحت تأثیر زمین‌شناسی و فاضلاب خانگی قرار گرفته باشد. مؤلفه چهارم نیز می‌تواند در اثر فعالیت‌های کشاورزی بوجود آمده باشد که باعث افزایش غلظت Cr, As و دیگر فلزات شده است.

۱۰. غلظت نیترات در تمام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بسطام از مقدار ۵۰ میلی گرم در لیتر که استاندارد سازمان بهداشت جهانی است پایین‌تر می‌باشد و خطری از لحاظ مقدار نیترات منطقه را تهدید نمی‌کند. بیشترین مقدار نیترات مربوط به بخش مرکزی دشت و پایین دست می‌باشد که به دلیل کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار می‌باشد.

۲-۵ پیشنهادها

۱. آلودگی نیترات و فلزات سنگین به عنوان یکی از مهمترین مسائل به شمار می‌آید که به طور مداوم در طول سال باید اندازه‌گیری و پایش گردد.
۲. آگاهی دادن به کشاورزان در جایگزین کردن کودهای شیمیایی، ایجاد سیستم دفع فاضلاب و ایجاد تصفیه خانه فاضلاب برای جلوگیری از آلودگی منابع آب ضروری می‌باشد.
۳. اندازه‌گیری پارامترهای هیدروشیمیایی در عمق‌های مختلف آبخوان جهت بررسی تغییرات عمقی پارامترها.

منابع

- آبادچی، ن. محصلی، و. روحیان، م. فربود، ف (۱۳۹۴) "بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی به نیترات" اولین همایش ملی و تخصصی علوم کشاورزی و محیط زیست ایران.
- افخمی نهند، ع (۱۳۹۵) "بررسی هیدروشیمی و آلودگی آبهای زیرزمینی و اثرات زیست محیطی آن" مطالعه موردی دشت شیرآمین-هرتان عجب شیر- آذربایجان شرقی.
- بدیعی نژاد، ا. غلامی، م. جنیدی جعفری، ا. عامری، ا (۱۳۹۱) "بررسی عوامل موثر بر غلظت نیترات منابع آب شرب زیرزمینی شیراز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)". فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد. سال یازدهم. شماره دوم.
- پناهی، ج. کرمی، ر (۱۳۹۵) "بررسی اثرات زیست محیطی توسعه شهری بر میزان سرب و کادمیم آبهای زیرزمینی دشت سیلاخور شهرستان بروجرد" اولین مسابقه کنفرانس بین المللی جامع علوم مهندسی
- جعفری ملک آبادی، ع. افیونی، م. موسوی، ف. خسروی، ا (۱۳۸۳) "بررسی غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی استان اصفهان". مجله علوم آب و خاک علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.
- درویش زاده، ع (۱۳۸۵)، زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر
- ذاکری، م (۱۳۸۲) "گزارش پیشنهاد تمدید ممنوعیت دشت بسطام (شامل محدوددهای مطالعاتی رهنمای رهسپار، ص. شاهنظری، ع. خالدیان، م. فرقانی، ا (۱۳۹۴) "بررسی میزان آلودگی آبهای زیرزمینی به عناصر سنگین و پهنه بندی آن در منطقه گیلان مرکزی به کمک زمین آمار". نشریه آبیاری و زهکشی ایران شماره ۱. جلد ۹ ص ۲۱-۱۳.
- رحیم پور، ف. عباسپور، ر (۱۳۹۰) "پهنه بندی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از روشهای کریجینگ و توابع پایه شعایی". فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی.
- سلگی، ع. مراد پور، ح (۱۳۹۵) "بررسی غلظت و تغییرات مکانی نیترات در آب زیرزمینی دشت سرچهان (فارس)".

علیدادی، ح. پیروی مینایی، ر. دهقان، ع. واحدیان، م. معلم زاده حقیقی، ح (۱۳۹۲) "بررسی غلظت فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، سرب) در آب آشامیدنی شهر مشهد". مجله علوم پزشکی رازی. دوره ۲۰. شماره ۱۱۶.

قیصری، م. هودجی، م. نجفی، پ. عبداللهی، آ (۱۳۸۶) "بررسی آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی ناحیه جنوب شرق اصفهان". مجله محیط شناسی. سال سی و سوم. شماره ۴۲. ص ۴۳-۵۰.

کلاتگی، م (۱۳۹۳) "ارزیابی آلودگی یون نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت شاهرود". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

کلانتریان، ف. کرمی، غ. محمدی، ح (۱۳۸۸) "بررسی ژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی در شرق تنکابن". بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کمره‌ای، ب. میرحسینی، ح. جعفری ع. عسگری، ق. بیرجندی، م و رستمی ز (۱۳۸۸) "اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (آرسنیک، باریم، کادمیم، جیوه، سرب، کروم) در منابع آب و رودخانه‌ای شهر بروجرد در سال (۱۳۷۸-۱۳۸۸)" فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان". سال یازدهم، شماره ۴، ص ۴۵-۵۱.

محمدزاده، ا (۱۳۹۵) "ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بسطام با استفاده از مدل DRASTIC". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

محمدی، م. محمدی قلعه نی، م (۱۳۹۰) "تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین". مجله. ۱۱ - پژوهش آب ایران،

نصرتی، آ (۱۳۹۵) "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی دشت بسطام". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

نبوی، م (۱۳۵۵)، "دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ص ۹۲

نیک عمل لاریجانی (۱۳۹۰)، "تعیین میزان انتقال نیترات در دو بافت خاک در نتیجه کاربرد کودهای آلی مرغی، گاوی و لجن فاضلاب". (نشریه آب و خاک) علوم و صنایع کشاورزی جلد ۲۵، شماره ۴، ص ۷۱۷-۷۰۸.

وحیدی‌فر، ز (۱۳۹۳) "ارزیابی ریسک سلامت و منشا فلزات سنگین در آبخوان دشت زرآباد". هشتمین همایش ملی نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.

Alloway, B. J. (1990). "The origin of heavy metals in soil". pp. 29-39. In: B.J. Alloway (Eds) Heavy Metals in Soils, John Wiley & Sons. Inc. New York

Barker, AP. Newton, RJ. Bottrell SH. (1998). "Processes affecting groundwater chemistry in zone of saline intrusion into an urban aquifer". Applied Geochemistry 13: 735-749.

Dorgham, M, et al. (2004). "Eutrophication problems in the Western Harbour of Alexandria. Egypt". Oceanologia, 46(1): 25-44.

El-Sayed, M. Salem, W. M. (2015). "Hydrochemical assessments of surface Nile water and groundwater in an industry area- South West Cairo". Egyptian Journal of Petroleum, Vol. 24, pp. 277-288.

EPA (1996), "Drinking water quality .Environmental protection Agency ". p 36.

Fabro, A. Y. R. Avila, J. G. P. Alberich, M. V. E. Sansores, S. A. C. Valero, M. A. C. (2015). "Spatial distribution of nitrate health risk associated with groundwater use as drinking water in Merida, Mexico". Applied Geography, Vol. 65, PP 49e57.

EPA (2011). National Primary Drinking Water Standards. US. Environmental Protection Agency.

FAO (1985)," Water Quality for agriculture". Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Frengstad, B. Midtgard Skrede, A. K. Banks, D. Reidar Krog, J. Siewers, U. (2000), "The chemistry of Norwegian groundwaters: III. The distribution of trace elements in 476 crystalline bedrock groundwaters, as analysed by ICP-MS techniques. Science of the Total Environment". 246(1), pp.21-40.

- Fernando, T. Davi, N. (2005), "Nonagricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study". *Water Research*, Vol 39, pp. 3-16.
- Gibson, RS. Vanderkooy, PC. McLennan, CE. et al. (1987), "Contribution of tap water to mineral intakes of Canadian preschool children". *arch environ health* 42: pp.165-172.
- Hounslow, A. (1995), "Water quality data: analysis and interpretation". CRC press. LLC, pp 416.
- Jonathan, W. Chrystina, D. (2008), "Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes". *water research*, Vol.42, pp. 4215–4232.
- Jeng, A. S. (1991), "Weathering of some Norwegian alum shales".1. Laboratory simulations to study acid generation and the release of sulphate and metal cations Ca, Mg K. *Acta Agriculturae Scandinavica* 41(1), pp 13-35.
- Jeevanandam, M. Kannan, R. Srinivasalu, S. Rammohan, V. (2007), "Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment of lower part of the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore district, South India". *Environmental monitoring and assessment*, 132(1-3), pp.263-274.
- Lee, SM. Min, KD. Woo, NC. et al. (2003), "Statistical models for the assessment of nitrate contamination in urbangroundwater using GIS". *Environmental Geology*. 44(1): pp.210–221.
- Leung, C. M. Jiao, J. J. (2006)," Heavy metal and trace element distributions in groundwater in natural slopes and highly urbanized spaces in Mid-Levels area, Hong Kong". *Water Research* 40(4), pp.753-767.
- Manzoor, S. Shah, M. H. Shaheen, N. Khalique, A. Jaffar, M. (2006)," Multivariate analysis of trace metals in textile effluents in relation to soil and groundwater". *Journal of hazardous materials*, 137(1), pp.31-37.
- Manahan, S. E. (2010)," *Environmental chemistry*". CRC press.
- Massah, AR. Morid, S. (2006)," Evaluation of posterior distribution of uncertainty bands due to climate change on probability distribution of runoff, using Baisian approach". In *Proceeding. Second National Conference on water Resources Management*. Esfahan. Iran, pp.22-23 January, (in Persian).
- Melloul, LC. Goldenberg, AJ. (1998)," Early-indicator signals of groundwater contamination: the case of seawater encroachment". *Environmental Geology* 33(4): pp.279-288.

- Mokrik, R. Baublyte, A. (2005)," Water geochemistry in the Sventojy-Arukula aquifer system Lithuania, J. of Geologija". volume 52, pp.55-64.
- Mohan, S. V. Nithila, P. Reddy, S. J. (1996)," Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index". Journal of Environmental Science & Health Part a, 31(2), pp.283-289.
- Nash, M., J. Maskall. (2000)," Methodologies for determination of antimony in terrestrial environmental samples". Environ. Monit. 2, pp. 97-109.
- Power, J. F. Schepers, J. S. (1989),"Nitrate Contamination of Ground water in North America". Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 26, PP.165-187.
- Ravikumar, P. Wainwright, M. J. Raskutti, G. Yu, B. (2011). "High-dimensional covariance estimation by minimizing ℓ_1 -penalized log-determinant divergence". Electronic Journal of Statistics, 5, pp. 935-980.
- Richard, A. et al. (2000)," Statistics principles and Methods. Includes bibliographical references and index".4 thed: 268-304, pp.680-681.
- Savci, S. (2012)," Investigation of effect of chemical fertilizers on environment". APCBEE Procedia, 1, pp. 287-292.
- Townsend, M. A. Whittemore, D. O. (2005)," Dentification of nitrate and chloride sources affecting municipal well waters of the city of Mc pherson, Kansas". The University of Kansas, Lawrence.
- Tijani, M. N. (2009)," Contamination of shallow groundwater system and soil–plant transfer of trace metals under amended irrigated fields". Agricultural water management, 96(3), pp.437-444.
- Todd, D. K. Mays, L. W. (2005)," Groundwater Hydrohlogy". John WiliC and sons, Ilc New York, pp.636.
- Wilcox, L. (1955). Classification and use of irrigation waters.
- WHO (World Health Organization),(2008). Guidelines for drinking water quality, Vol. 1, Recommendations, 3rd Ed, p. 515.
- World Health Organization. (2011), "Guidelines for drinking water quality". Eng. sanit. ambient, 16(4), pp.4-5.
- WHO (1993). Guidelines for Drinking Water. Vol- 11. Health criteria & other supporting information.
- World Health Organization. (1998)," The World Health Report 1998": Life in the 21st century a vision for all. In The world health report 1998: life in the 21st century a

vision for all; The world health report 1998: life in the 21st century a vision for all. World Health Organization.

Yue, F. J. Li, S. L. Hu, L. J. (2015), "The contribution of nitrate sources in Liao Rivers, China, based on isotopic fractionation and Bayesian mixing model". *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 13, PP.16 – 20.

Zhang, X P., Deng, W. Yang, X.M. (2002), " The background concentrations of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China". *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, pp.167-174.

Abstract

Bastam basin is located north of Shahrood city in Semnan province, northern Iran, covering an area of approximately 1330 km². The Bastam aquifer is extracted by about 330 wells which are mainly used for drinking and agricultural activities. The main purpose of this study was to evaluate the hydrogeochemical properties, nitrate concentration and evaluation of heavy metals pollution in groundwaters of Bastam Plain. 52 water samples have been taken to determine the major ions and nitrate concentrations using IC instrument and heavy metals using ICP-MS tool. The Shahvar and Tapal Mountains, to the northwest and southwest of Bastam plain are considered to be the main recharge zones of the alluvial aquifer due to their fractured and karstified nature. In general, overexploitation of the groundwater due to low precipitation and changing precipitation regime has destructive effects on the hydrogeochemical composition of Bastam crucial aquifer and consequently, the intrusion of saline water towards the aquifer from the western and eastern salty plains so that northeastern and southwestern parts of the Plain have the lowest EC values and the western and eastern parts of the plain have the highest EC value. The mean nitrate concentration of the groundwater samples is about 14 ppm, which is lower than the WHO standard (50 mg/L). Therefore, in terms of nitrate content, the environmental risk of the groundwater is not vulnerable. All water samples in terms of heavy metals (HPI) are at low pollution levels (less than 100). But due to the numerous villages in the area and the entry of sewage and wastewater into the groundwater, the degree of pollution in the some samples has slightly increased. In general, the concentration of heavy metals in all samples is lower than the standard FAO and WHO standards.

Keywords: Bastam Plain, Hydrochemical, Heavy Metals, Nitrate



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Science
M.Sc. Thesis in Environmental Geology

The impact of natural and anthropogenic factors on quality of the groundwater
resources in Bastam Plain

By:

Rezvan Sadat Nazalabadi

Supervisor:

Dr. Rahim Bagheri

December 2018

