

رسالة محمد بن عبد الله



دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی

عنوان:

ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت فرومد، شمال شرق شاهرود

دانشجو:

محبوبه طالبی‌زاده سردری

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۶

شماره: ۱۲۸۴۹
تاریخ: ۱۶/۱۱/۹۶

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم محبوه طالبی زاده با شماره دانشجویی ۹۴۱۱۴۴۴ رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی تحت عنوان ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت فرومد، شمال شرق شاهرود که در تاریخ ۹۶/۱۱/۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☒ ☐ مردود نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☒			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر غلامحسین گرمی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	—	—	—
۳- استاد مشاور	—	—	—
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر افشین قنبری	استاد	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رحیم باقری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تذکره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به دو کهنه بزرگ زندگی ام

پدر و مادر عزیزم که وجودم برای ایشان همه رنج است و وجودشان برایم همه مهر است...

تشکر و قدردانی

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا در سایه‌سار بنده‌نوازی‌هایش پایان نامه حاضر را به انجام برسانم. لذا بر خود لازم می‌دانم مراتب سپاس را از بزرگوارانی که دست یاریگرشان همواره با اینجانب بوده است، به جای آورم.

در ابتدا محبت‌های بی‌دریغ والدینم را سپاس می‌دارم که بودندشان تاج افتخاری‌ست بر سرم و نامشان دلیلی است بر وجودم، چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایع هستی‌ام بوده‌اند و برایم زندگی و انسان بودن را معنا کرده‌اند.

بسی شایسته است از زحمات بی‌شائبه استاد راهنمای بزرگوارم جناب دکتر غلامحسین کرمی که در اشاعه تعلیم و تربیت و توسعه علم و دانش اینجانب از هیچ زحمتی دریغ نکرده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین از زحمات دلسوزانه اساتید بزرگوار و محترم گروه زمین‌شناسی به ویژه جناب آقایان دکتر جعفری و دکتر باقری که همواره از راهنمایی‌های بی‌دریغشان بهره برده‌ام نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در ادامه نهایت سپاس را از زحمات کارشناس محترم گروه سرکار خانم فارسی و مسئولین محترم آزمایشگاه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی، سرکار خانم‌ها باقری و بوسلیک دارم.

در پایان از همگی همکلاسی‌های گرامی و دوستان عزیزم، به ویژه خانم‌ها سیما توکلی، زهرا شیدایی و محبوبه عرب‌زاده که در تمامی مراحل انجام پایان نامه و طی مدت تحصیلاتم نهایت همکاری و همراهی را در حق اینجانب داشته‌اند، بی‌نهایت سپاسگزارم.

محبوبه طالبی‌زاده سردری

بهمن ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب **محبوبه طالبی زاده سردری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت فرومد، شمال شرق شاهرود** تحت راهنمایی **دکتر غلامحسین کرمی** متعهد می شوم

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون 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 شاهرود می باشد 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 تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.

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، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. 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 نمی باشد.

چکیده

دشت فرومد با وسعت حدود ۶۵۰ کیلومترمربع در ۱۸۰ کیلومتری شرق شاهرود واقع شده است. اقلیم این منطقه از نوع خشک و میانگین بارش سالیانه آن حدود ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. درصد قابل توجهی از آب شرب و آبیاری در این دشت توسط قنات‌ها تأمین می‌شود و این موضوع اهمیت محافظت از این منابع آب را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه هم‌پتانسیل منطقه، روند عمومی جریان آب زیرزمینی شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد که با جریان‌های سطحی مطابقت دارد. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که گرادیان هیدرولیکی در بالا دست دشت نسبتاً بالا می‌باشد (برابر با ۰/۰۸) و در پایین دست دشت به طور شدیدی کاهش پیدا می‌کند (حدود ۰/۱۶). دلیل این امر تخلیه آب‌های زیرزمینی به وسیله قنات‌ها و در نتیجه کاهش دبی جریان آب زیرزمینی در آبخوان است. به طور کلی تراز آب زیرزمینی در این دشت روند نزولی داشته است و طی یک دوره ۵ ساله حدود ۰/۴۲ متر افت پیدا کرده که میانگین سالانه آن ۸ سانتی‌متر می‌باشد. دلیل این افت نسبتاً کم این است که تخلیه اصلی دشت توسط قنات‌ها انجام می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، قنات هردوآب با میانگین آبدهی حدود ۲۲/۸ لیتر بر ثانیه بیشترین آبدهی را شامل می‌شود، در حالیکه قنات‌های محمدآباد و حسین‌آباد با میانگین آبدهی حدود ۳/۸ لیتر بر ثانیه کمترین آبدهی را دارند. علاوه بر این آبدهی قنات استخر سفید با ضریب تغییرات ۱۰/۶ درصد بیشترین تغییرات و قنات خیرآباد - شهرستان با ضریب تغییرات ۱/۷ درصد کمترین تغییرات را دارند. بررسی‌های هیدروژئوشمیایی نشان داد کمترین هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی در این دشت برابر با ۴۱۷ میکروموس بر سانتی‌متر است که مربوط به چاه عیش‌آباد می‌باشد و بیشترین آن ۱۴۸۰ میکروموس بر سانتی‌متر است که مربوط به قنات استخرسفید می‌باشد. با محاسبه نسبت‌های یونی و ترسیم نمودارهای کیفی مشخص شد انحلال و تبادل یونی فرآیندهای غالب در تعیین شیمی آب منطقه هستند و تیپ غالب آب کلروره - سدیک و بی‌کربناته - سدیک می‌باشد.

کلید واژه‌ها: دشت فرومد، نقشه هم‌پتانسیل، هیدروگراف واحد، تراز سطح آب، هدایت الکتریکی

مقاله مستخرج از پایان نامه

طالبی زاده سردری م. و کرمی غ. (۱۳۹۶)، "ارزیابی هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت فرومد، شاهرود" پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری دانشگاه شهید بهشتی تهران، مرکز همایش های بین المللی امام خمینی (ره).

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق..... ۱

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه..... ۲

۳-۱- آب و هوای منطقه..... ۳

۴-۱- زمین‌شناسی منطقه..... ۵

۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه..... ۶

۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه..... ۱۱

۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه..... ۱۲

۶-۱- هیدرولوژی منطقه..... ۱۴

۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه..... ۱۴

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین در مورد کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی..... ۱۷

۱-۲- عوامل مؤثر بر کمیت آب‌های زیرزمینی..... ۱۷

۱-۱-۲- تأثیر بارندگی بر کمیت آب‌های زیرزمینی..... ۱۸

۲-۱-۲- تأثیر خشکسالی بر کمیت آب‌های زیرزمینی..... ۱۹

۳-۱-۲- اثر برداشت بی‌رویه بر کمیت آب‌های زیرزمینی..... ۲۱

۲-۲- عوامل مؤثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی..... ۲۳

۱-۲-۲- اثر نفوذ آب شور بر کیفیت آب‌های زیرزمینی..... ۲۴

۲-۲-۲- اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی..... ۲۶

۳-۲-۲- اثر برداشت بی‌رویه بر کیفیت آب زیرزمینی..... ۲۸

۴-۲-۲- اثر پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی بر کیفیت آب زیرزمینی..... ۳۰

فصل سوم: روش انجام کار..... ۳۳

- ۳-۱- جمع‌آوری آمار اطلاعات سطح آب زیرزمینی در دشت فرومد..... ۳۳
- ۳-۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۳۴
- ۳-۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از چاه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه..... ۳۴
- ۳-۳-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری..... ۳۷
- ۳-۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه..... ۳۸
- ۳-۴- تحلیل و بررسی داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه..... ۳۸
- ۳-۴-۱- تهیه نقشه هم‌پتانسیل آبخوان..... ۳۹
- ۳-۴-۲- رسم هیدروگراف واحد دشت..... ۳۹
- ۳-۵- تحلیل و بررسی داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه..... ۳۹
- ۳-۵-۱- محاسبه پارامترهای کیفی..... ۴۰
- ۳-۵-۲- رسم نقشه‌ها و نمودارهای کیفی منطقه..... ۴۱

فصل چهارم: ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی دشت فرومد..... ۴۳

- ۴-۱- ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه..... ۴۳
- ۴-۱-۱- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه..... ۴۳
- ۴-۱-۲- هیدروگراف واحد آبخوان..... ۴۸
- ۴-۱-۳- ارزیابی هیدروژئولوژیکی قنات‌های منطقه مورد مطالعه..... ۵۱
- ۴-۱-۳-۱- عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه..... ۵۱
- ۴-۱-۳-۲- تغییرات زمانی آبدهی در قنات‌های منطقه مورد مطالعه..... ۵۴
- ۴-۲- ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منطقه..... ۶۲
- ۴-۲-۱- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی..... ۶۳
- ۴-۲-۲- ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یون‌ها..... ۶۶
- ۴-۲-۳- بررسی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه..... ۶۸
- ۴-۲-۴- بررسی نمودارهای کیفی در منطقه مورد مطالعه..... ۷۴

۵-۲-۴- بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی..... ۸۰

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۸۳

۱-۵- نتیجه گیری..... ۸۳

۲-۵- پیشنهادها..... ۸۶

منابع مورد استفاده..... ۸۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۲
- شکل ۲-۱- نمودار امپروترمیک منطقه مورد مطالعه..... ۵
- شکل ۳-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۷
- شکل ۴-۱- نمایی از واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه..... ۱۳
- شکل ۵-۱- نقشه هیدروگراف دشت در منطقه مورد مطالعه..... ۱۵
- شکل ۱-۳- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه..... ۳۴
- شکل ۲-۳- محل نمونه‌برداری از چاه عیش‌آباد..... ۳۵
- شکل ۳-۳- محل نمونه‌برداری از قنات هردوآب..... ۳۵
- شکل ۴-۳- محل نمونه‌برداری از قنات بازار..... ۳۶
- شکل ۵-۳- محل نمونه‌برداری از قنات خیرآباد - شهرستان..... ۳۶
- شکل ۱-۴- موقعیت پیزومترها و مظهر قنات در دشت فرومد..... ۴۵
- شکل ۲-۴- نقشه هم‌پتانسیل دشت فرومد در بهمن ۱۳۹۰..... ۴۶
- شکل ۳-۴- نقشه هم‌پتانسیل دشت فرومد در بهمن ۱۳۹۵..... ۴۶
- شکل ۴-۴- نقشه تیسن‌بندی دشت فرومد..... ۴۹
- شکل ۵-۴- هیدروگراف واحد آبخوان دشت فرومد..... ۵۰
- شکل ۶-۴- رابطه بین افت و بارندگی در منطقه مورد مطالعه..... ۵۰
- شکل ۷-۴- موقعیت پیزومترها و قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه..... ۵۱
- شکل ۸-۴- مسیر قنات‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پایه..... ۵۲
- شکل ۹-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات کلاته‌نو از فصل تر تا خشک..... ۵۶
- شکل ۱۰-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات خیرآباد - شهرستان از فصل تر تا خشک..... ۵۶
- شکل ۱۱-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات هردوآب از فصل تر تا خشک..... ۵۷
- شکل ۱۲-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات بازار از فصل تر تا خشک..... ۵۸
- شکل ۱۳-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات استخرسفید از فصل تر تا خشک..... ۵۹

- شکل ۴-۱۴- تغییرات زمانی دبی در قنات رودبار از فصل تر تا خشک..... ۵۹
- شکل ۴-۱۵- تغییرات زمانی دبی در قنات نصرتیه از فصل تر تا خشک..... ۶۰
- شکل ۴-۱۶- تغییرات زمانی دبی در قنات سیدآباد از فصل تر تا خشک..... ۶۱
- شکل ۴-۱۷- تغییرات زمانی دبی در قنات حسین آباد از فصل تر تا خشک..... ۶۱
- شکل ۴-۱۸- تغییرات زمانی دبی در قنات محمدآباد از فصل تر تا خشک..... ۶۲
- شکل ۴-۱۹- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه..... ۶۴
- شکل ۴-۲۰- مقایسه هدایت الکتریکی در انتهای فصل تر و خشک در دشت فرومد..... ۶۵
- شکل ۴-۲۱- محل قنات استخر سفید در منطقه مورد مطالعه..... ۶۵
- شکل ۴-۲۲- رابطه هدایت الکتریکی با غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی..... ۶۷
- شکل ۴-۲۳- نمودار پایپر مربوط به نمونه های آب در منطقه مورد مطالعه..... ۷۴
- شکل ۴-۲۴- نمودار استیف نمونه های دارای رخساره کلروره - سدیک..... ۷۶
- شکل ۴-۲۵ الف - نمودار استیف نمونه های دارای رخساره بی کربناته - سدیک..... ۷۷
- شکل ۴-۲۵ ب - نمودار استیف نمونه های دارای رخساره بی کربناته - سدیک..... ۷۸
- شکل ۴-۲۶- نمودار شولر مربوط به نمونه های آب در منطقه مورد مطالعه..... ۷۹
- شکل ۴-۲۷- نمودار ویلکاکس مربوط به نمونه ها آب در دشت فرومد..... ۸۰

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین مقدار دما و بارش در یک دوره آماری ۱۸ ساله..... ۳
- جدول ۱-۲- طبقه‌بندی اقلیم بر اساس ضرایب دمارتن..... ۴
- جدول ۱-۴- مختصات و ارتفاع سطح ایستابی در پیزومترهای دشت فرومد..... ۴۴
- جدول ۲-۴- دبی قنات‌های منطقه مورد مطالعه از فصل تر تا خشک..... ۵۵
- جدول ۳-۴- پارامترهای محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه..... ۶۸
- جدول ۴-۴- نتایج آنالیز کیفی نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه..... ۶۹
- جدول ۴-۵- طبقه‌بندی آب براساس سختی کل..... ۷۰
- جدول ۴-۶- تعیین نوع آب قنات‌های منطقه بر اساس سختی کل..... ۷۱
- جدول ۴-۷- مقادیر پارامترهای نسبت جذب سدیم و درصد سدیم در منطقه مورد مطالعه..... ۷۲
- جدول ۴-۸- مقادیر شاخص‌های اشباع برای قنات‌های منطقه مورد مطالعه..... ۷۳

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

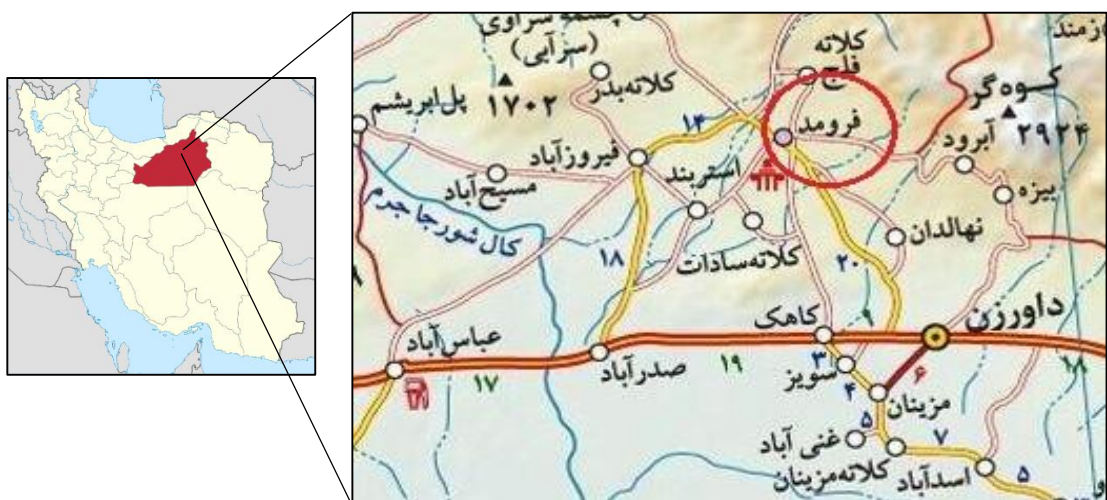
امروزه با توجه به رشد جمعیت و توسعه روزافزون شهرها، گرم شدن کره زمین و کم آب شدن رودخانه‌ها و دریاچه‌ها توجه زیادی به آب‌های زیرزمینی معطوف شده است. آب زیرزمینی به عنوان یک منبع قابل دسترس از آب‌های شیرین می‌باشد که از اهمیت بالایی برخوردار است. در کشور ایران، به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک تأمین آب به ویژه آب آشامیدنی سالم به صورت مسئله حادی درآمده است. این موضوع توجه به آب‌های زیرزمینی را به عنوان یکی از منابع تأمین کننده این نیاز ایجاد کرده است. یکی از کارآمدترین روش‌ها جهت استفاده از آب‌های زیرزمینی، به ویژه در مناطق کویری استفاده از قنات می‌باشد که نقش زیادی در پیدایش شهرها و روستاها داشته است. فناوری ساخت قنات در مناطق خشک به کشاورزان اجازه داد تا بتوانند در دوره‌های طولانی خشکی که آب سطحی پیدا نمی‌شود به کشت و زرع بپردازند. تاکنون قسمت زیادی از مطالعات انجام شده بر روی قنات‌ها مربوط به ساختمان، نگهداری و بازسازی آن‌ها می‌باشد و مطالعات در زمینه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی کمتر صورت گرفته است.

دشت فرومد از جمله مناطقی است که قسمت اعظم آب آن جهت مصارف شرب و کشاورزی از قنات‌ها تأمین می‌شود. روستای فرومد از توابع بخش میامی شهرستان شاهرود، در شمال شرق استان سمنان واقع شده است. این روستا در دامنه ارتفاعات منیدر در ارتفاع ۱۲۳۰ متری از سطح دریا قرار دارد. درصد قابل توجهی از آب شرب و آبیاری در مناطق زیر پوشش کشاورزی از کاریزها، آبگیرهای محلی و چاه‌های عمیق و نیمه عمیق تأمین می‌شود. با توجه به این موضوع اهمیت محافظت از آبخوان‌ها و مدیریت

صحیح آن‌ها برای استفاده طولانی مدت امری واضح می‌باشد. برداشت بی‌رویه آب خطر مهمی است که آبخوان این دشت را تهدید می‌کند، که نه تنها کمیت آب‌های زیرزمینی بلکه کیفیت آن‌ها را کاهش می‌دهد. با توجه به این مسائل بررسی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در این دشت از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از انجام این تحقیق بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت فرومد بوده، که با توجه به آن بتوان تغییرات سطح آب زیرزمینی، مناطق عمده تغذیه و تخلیه دشت و مهم‌ترین عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی در این دشت را مشخص کرد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

روستای فرومد از توابع بخش میامی شهرستان شاهرود با مختصات جغرافیای $۴۵^{\circ} ۵۶'$ طول شرقی و $۳۰^{\circ} ۳۶'$ عرض شمالی در شمال شرق استان سمنان واقع شده است. این روستای تاریخی در ۱۸۰ کیلومتری شرق شاهرود در دامنه‌های ارتفاعات منیدر در ارتفاع ۱۲۳۰ متری از سطح دریا قرار دارد. روستای فرومد از طریق جاده ترانزیت شاهرود - سبزوار قابل دسترسی است. فرومد با جاده اصلی شاهرود - سبزوار ۱۲ کیلومتر و با جاده ابریشم که از شمال روستا گذشته تقریباً ۲۴ کیلومتر فاصله دارد. فرومد از شمال به استان خراسان شمالی، از شرق به استان خراسان رضوی، از جنوب به بخش بیارجمند و از غرب به قسمتی از بخش جوین و میامی منتهی می‌شود.



شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

۱-۳- آب و هوای منطقه

آب و هوای یک منطقه نقش مؤثری در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی دارد. لذا تعیین نوع آب و هوای منطقه برای بررسی نحوه اثر بر روی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی ضروری می‌باشد. برای تعیین نوع آب و هوا از داده‌های ایستگاه بارانسنجی فرومد (۱۳۷۲-۱۳۹۰) استفاده شده است. براساس این دوره آماری میانگین بارندگی سالیانه این دوره ۱۸ ساله ۱۴۷/۸۴ میلی‌متر، و میانگین دما ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. پرباران‌ترین ماه‌ها فروردین و اسفند و کم باران‌ترین آن‌ها تیر و مرداد می‌باشد (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱- میانگین مقدار دما و بارش در یک دوره آماری ۱۸ ساله (۱۳۷۲-۱۳۹۰)

زمان	بارش (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)
مهر	۱/۴۳	۱۹/۸
آبان	۱۰/۰۱	۱۳/۳
آذر	۱۸/۶۳	۶/۱
دی	۱۴/۱۵	۴/۶
بهمن	۱۹/۷۹	۴/۸
اسفند	۳۳/۴	۸/۶
فروردین	۳۰/۷۶	۱۴/۹
اردیبهشت	۱۳/۰۲	۲۰/۵
خرداد	۵/۲۵	۲۵/۴
تیر	۰/۲۹	۲۷/۷
مرداد	۰/۲۶	۲۸/۳
شهریور	۰/۸۵	۲۵/۳
سالیانه	۱۴۷/۸۴	۱۶/۶

برای تعیین اقلیم یک منطقه می‌توان از معادله دمارتن (De Martonne) استفاده کرد (معادله ۱-۱).

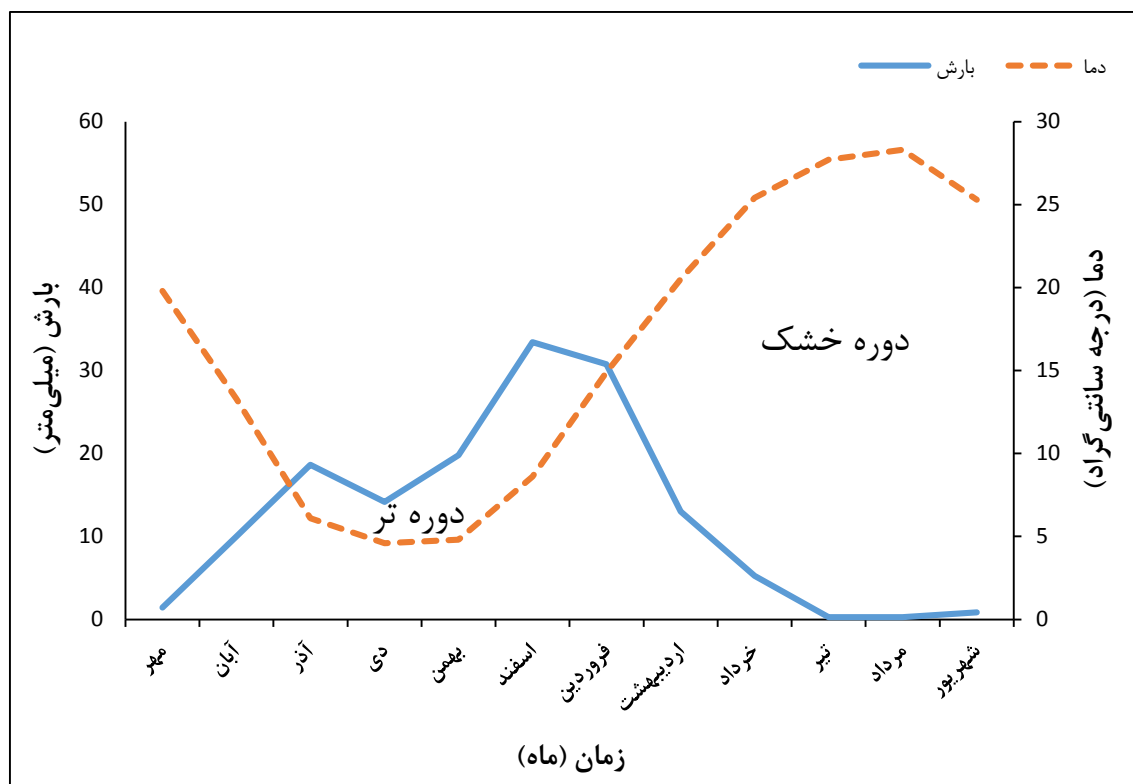
$$I = P / (T + 10) \quad \text{معادله (۱-۱)}$$

در این معادله P مقدار بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر، T متوسط دمای سالانه و I ضریب خشکی دمارتن می‌باشد. براساس این معادله ضریب خشکی برای ایستگاه بارانسنجی فرومد ۵/۵۶ به دست آمده است که براساس طبقه‌بندی ارائه شده توسط دمارتن (جدول ۲-۱) اقلیم منطقه مورد مطالعه از نوع خشک می‌باشد.

جدول ۲-۱- طبقه‌بندی اقلیم براساس ضرایب دمارتن

اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	$10 >$
نیمه خشک	۱۰ - ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ - ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ - ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ - ۳۴/۹
بسیار مرطوب	$35 <$

همچنین به منظور تعیین دوره‌های تر و خشک در منطقه مورد مطالعه از نمودار امبروترمیک استفاده می‌شود، که تغییرات دمای هوا را نسبت به بارش نشان می‌دهد. در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک را نشان می‌دهد. شکل (۲-۱) نمودار امبروترمیک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود دوره تر در منطقه مورد مطالعه از آذر شروع شده و تقریباً تا اوایل اردیبهشت ادامه دارد و بقیه سال دوره خشک می‌باشد.



شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک منطقه بر پایه میانگین ۱۸ ساله دما و بارندگی

۴-۱- زمین شناسی منطقه

به لحاظ زمین شناسی بخش عمده این منطقه دربردارنده ادامه زون افیولیتی شمال سبزوار می باشد که روند کلی آن شرقی - غربی است. جنوب ورقه فرومد متعلق به این زون افیولیتی می باشد که بیش ترین کانی سازی منطقه در این زون صورت گرفته است. افیولیت های شمال سبزوار وابسته به افیولیت های مزوزوئیک حاشیه خرد قاره شمال ایران مرکزی بوده و در ریفت های کوچک کرتاسه، ایجاد شده اند. این ردیف، متشکل از مجموعه ای از انباشت های رسوبی، اولترامافیک و مافیک است که از کرتاسه زیرین آغاز شده و در کرتاسه پایانی - پالئوسن پایان می یابد. به طور کلی باور این است که مجموعه حاضر دربرگیرنده تاریخ نسبتاً کاملی از شرایط پیش، همزمان و پس از کافت قاره ای است که منجر به باز شدن حوضه ای با پوسته اقیانوسی، برای مدت کوتاهی شده و سپس در اثر حرکات همگرایی تکتونیکی بسته شده است.

۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه

در ورقه فرومد تنوعی گسترده از سازندهای زمین‌شناسی و مجموعه‌های سنگ‌شناختی وجود دارد (شکل ۱-۳). براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم این واحدها از قدیم به جدید عبارتند از:

الف- سنگ‌های دگرگون و رسوبی پرکامبرین - پالئوزوئیک

این مجموعه دربرگیرنده سه واحد اصلی است که از گسترشی محدود در شمال دشت جغتای برخوردار می‌باشد و به طور معمول در راستای مناطق گسله رخنمون یافته‌اند.

ب- ردیف رسوبی مربوط به دوران دوم

مجموعه واحدهای تشکیل دهنده این ردیف به طور کامل همسان واحدهای ژوراسیک و کرتاسه هستند که در منطقه ساختاری البرز گسترش دارند. شرح این واحدها به صورت زیر است:

واحد شیل و ماسه سنگ هم ارز سازند شمشک: این واحد با توپوگرافی پست نسبت به سایر واحدهای سنگی دیده شده و به طور معمول به رنگ تیره است. متشکل از ردیف‌های متناوب شیل و ماسه سنگ می‌باشد که رخنمون‌های آن در ناحیه به شدت چین خورده و گسلیده چشمه سرخ دیده می‌شود.

واحد سنگ آهک و مارن هم ارز سازند دلیچای: این واحد تنها در شمال شرقی ورقه و در ناحیه چشمه سرخ بیرون‌زدگی محدودی را نشان می‌دهد و متشکل از سنگ آهک‌های آرژیلی و ماسه‌ای حاوی نودول‌های چرتی و مارن است.

ج- سنگ‌های متعلق به مجموعه افیولیتی و رسوبات همراه

این ردیف متشکل از مجموعه‌ای از انباشته‌های رسوبی و اولترامافیک و مافیک است که از اوایل کرتاسه آغاز می‌شود و در کرتاسه پایانی - پالئوسن پایان می‌یابد. شرح این واحدها به صورت زیر است:

واحد گابرویی: سنگ‌های گابرویی در ورقه فرومد به طور عام در امتداد یک گسل راندگی بیرون‌زدگی دارند. روند گسترش این گابروها شرقی - غربی است و دارای مورفولوژی برجسته می‌باشد.

واحد دیابازی: گسترش این واحد به طور عمده در قسمت پایینی بخش شرقی کمر بند افیولیتی می‌باشد و به صورت توده‌های کوچک و تیره رنگ درون سنگ‌های اولترامافیک دیده می‌شود.

واحد برش ولکانیکی: این واحد سنگ‌های تشکیل دهنده ردیف‌های افیولیتی در بخش بالایی را تشکیل می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی با ساخت بالشی هستند.

د- ردیف آتشفشانی - رسوبی ائوسن - الیگوسن

این مجموعه به طور کلی به دو بخش اصلی قابل تفکیک است که یک بخش آن انباشته‌های رسوبی ائوسن است که در شمال دشت جغتای جای دارد و با مقادیر بسیار ناچیز از سنگ‌های آتشفشانی در ناحیه چشمه سرخ همراه هستند. واحدهای تشکیل دهنده این ردیف شامل:

واحد ماسه سنگ و کنگلومرا: این واحد ردیفی گسترده به رنگ قهوه‌ای روشن تا کرم از کنگلومرا و ماسه سنگ به همراه سنگ آهک ماسه‌ای است.

واحد ماسه سنگ و مارن: این واحد در پیرامون روستای جاورتن و شمال راندگی میامی به صورت مجموعه‌ای گسترده از شرق به غرب گسترش دارد. دارای مورفولوژی پست می‌باشد و به رنگ روشن دیده می‌شود.

واحد ماسه سنگ توفی و گدازه، قهوه‌ای: این واحد به صورت مجموعه‌ای است که از روستای دستوران تا جنوب روستای آزادور، به صورت ردیفی از سبز تا خاکستری تیره از توف، ماسه سنگ، کنگلومرا به همراه گدازه‌های آندزیتی گسترش دارد که توسط واحد ماسه سنگ و مارن دربرگرفته می‌شود.

واحد آندزیت، آندزیت بازالت و برش: در بخش‌های بالایی و پایینی کمر بند افیولیتی بخش‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی به رنگ سبز و خاکستری تیره گسترش دارند که به صورت تناوبی از گدازه‌های

آندزیتی، پیروکسن آندزیت، آندزیت بازالت، برش‌های ولکانیک و توف می‌باشند.

واحد توف و توفیت روشن رنگ: این واحد به گونه‌ای عام در بخش شمالی روستای فرومد بیرون‌زدگی دارد. به صورت مجموعه‌ای صورتی رنگ از توف، توفیت ماسه سنگ و کنگلومرا است که دارای ضخامت تقریبی ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر می‌باشد و شیبی حدود ۳۵ تا ۵۰ درجه به سمت شمال دارد.

واحد برش‌های آتشفشانی و گدازه‌های آندزیتی: این ردیف در بالاترین بخش واحد برش آتشفشانی توف و آندزیت بازالت جای می‌گیرد و در نواحی پیرامون و جنوب شرق روستای منیدر از گسترش زیادی برخوردار است.

واحد ماسه سنگی: این واحد در شمال دشت جغتای به صورت ردیفی گسترده از طبقات ماسه سنگی و میکروکنگلومرای به رنگ خاکستری تا صورتی روشن بیرون‌زدگی دارد.

واحد کنگلومرای، خاکستری: در شمال روستای شفیع‌آباد و روراندگی جغتای و نیز در ناحیه چشمه سرخ رخنمون‌هایی از یک واحد کنگلومرای با جورشدگی متوسط تا خوب به رنگ خاکستری تا کرم رنگ گسترش دارد که گاهی در آن‌ها بخش‌های ماسه سنگی و آهک ماسه‌ای فسیل‌دار دیده می‌شود.

واحد آندزیت بازالت: این واحد در شمال ورقه فرومد، در بخش پایانی مجموعه ساختمانی، به صورت رخنمونی محدود از سنگ‌های آتشفشانی به رنگ خاکستری تیره بیرون‌زدگی دارد. بافت این سنگ‌ها به صورت پورفیری تا مخفی بلور دیده می‌شود.

واحد مارن و ماسه سنگ: این واحد در شمال راندگی جغتای به صورت ردیفی به نسبت گسترده با شیبی ملایم به سوی شمال بر روی نهشته‌های ماسه سنگی به صورت دگرشیب بیرون‌زدگی دارد. این ردیف رسوبی به طور عمده تناوبی از مارن و ماسه سنگ به رنگ قرمز تا خاکستری روشن است و گاهی طبقات سبز روشن در میان آن‌ها دیده می‌شود.

ه- نهشته‌های قاره‌ای نئوژن

این سری از رسوبات از گسترش قابل توجهی برخوردار هستند و به صورت نهشته‌های مارنی، ماسه

سنگی و کنگلومرای سست در ورقه فرومد پراکنده‌اند. واحدهای این ردیف به شرح زیر می‌باشد:

واحد کنگلومرای ولکانوژنیک: این واحد در میان کمر بند افیولیتی به صورت ردیفی به رنگ کرم تا سفید از نهشته‌های کنگلومرای نفوژن گسترش دارد که بر روی آن سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه و اولترامافیک قرار دارد.

واحد کنگلومرا و ماسه سنگ: این ردیف رسوبی به طور کلی در جنوب شرق روستای منیدر بیرون زدگی دارد و به صورت ردیفی از ماسه سنگ، میکروکنگلومرا، برش تا کنگلومرای جوان و به رنگ کرم تا خاکستری روشن دیده می‌شود.

واحد توفیت و میکروکنگلومرای: در غرب روستای منیدر و بخش میانی کمر بند افیولیتی رخنمونی محدود از سنگ‌های کرم تا سفید دیده می‌شود که دارای بخش‌هایی با تخلخل بالا و به صورت بسیار سبک بوده که احتمالاً دارای ترکیب در حد توف‌های اسیدی‌اند و در تناوب با سنگ‌های توفیت ماسه‌ای و میکروکنگلومرای هستند.

واحد سنگ آهک مارنی و ماسه‌ای: به صورت ردیفی از نهشته‌های مارن، ماسه سنگ و کنگلومرای نفوژن است که به رنگ کرم-سفید می‌باشد و دارای تخلخل بالا است.

واحد کنگلومرای و ماسه سنگی سست: این واحد به صورت طبقاتی از کنگلومرا و ماسه سنگ با ماتریکس ماسه‌ای است که با شیب بسیار ملایم بین ۱۰ تا ۱۵ درجه بر روی نهشته‌های مارنی به صورت دگرشیب قرار گرفته است.

و- انباشته‌های مربوط به کواترنر

بیش‌ترین گسترش انباشته‌های رسوبی در ورقه فرومد به ردیف‌های کواترنری تعلق دارد. این انباشته‌ها شامل مخروط افکنه، پادگانه‌های قدیمی و جوان، واریزه‌ها، آبرفت، کفه‌های رسی و نمک می‌باشد که به صورت تحکیم‌یافته و یا با تحکیم‌یافتگی کم و در حوضه‌های پای کوهستان نهشته شده‌اند.

واحدهای تشکیل دهنده این ردیف شامل موارد زیر است:

واحد کنگلومرایی، قهوه‌ای: این واحد بیش‌تر در پیرامون کمربند افیولیتی گسترش دارد. در شمال روستای فرومد و فیروزآباد این واحد به صورت مجموعه‌ای گسترده و با شیب بسیار ملایم ۵ تا ۱۰ درجه به سوی بیرون، بیرون‌زدگی دارد. این واحد تخریبی دارای جورشدگی ضعیف است و قطعات تشکیل دهنده آن شامل سنگ‌های اولترامافیک، نهشته‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و توده‌های نیمه‌عمیق داسیتی است.

واحد دشت‌های آبرفتی: این واحد در مناطق پیرامون حوضه‌های رسوبی-تبخیری نظیر جغتای و شمال فرومد، که نواحی پست آن توسط آبرفت‌های جوان پوشیده شده می‌باشد، گسترش یافته است. **واحد آبرفت‌های عهد حاضر:** این واحد متشکل از انباشته‌هایی است که امروزه در طول و میان رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی گذارده می‌شوند. بنابراین توزیع و گسترش آن‌ها به صورت خطی است و توسط سیستم آبراهه‌ای اصلی کنترل می‌شوند.

۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

مشاهدات صحرایی در ورقه فرومد نشان می‌دهد که با توجه به ویژگی‌های رسوبی، ماگماتیزم و تکتونیکی می‌توان دو ناحیه ساختاری را در ورقه مورد مطالعه از یکدیگر تمیز داد که این مناطق عبارتند از:

الف- منطقه ساختاری کمربند افیولیتی سبزوار در جنوب ورقه فرومد

ب- منطقه ساختاری جغتای در بخش شمالی ورقه فرومد و فروراندگی ساختمانی جغتای

منطقه ساختاری کمربند افیولیتی سبزوار را به احتمال می‌توان از نظر ساختاری پیچیده دانست که متشکل از گسل‌های فراوانی است که مؤلفه اصلی جا به جایی در بیش‌تر آن‌ها راندگی است و گاهی با مؤلفه‌های کوچک امتداد لغز نیز همراه هستند. شواهد صحرایی نشان می‌دهد که از دیدگاه تکتونیکی این کمربند فعال بوده و حرکت از شمال به جنوب دارد. کمربند افیولیتی سبزوار به احتمال یک سیستم

راندگی است و این سیستم از نوع فلسی می‌باشد.

منطقه ساختاری جغتای در بخش میانی و شمالی ورقه فرومد از یک روند یکنواخت پیروی می‌کند ویژگی‌های ساختمانی این منطقه بسیار ساده است و شامل یک راندگی و مجموعه‌ای از ساختمان‌های چین خورده و تک شیب است. پی‌سنگ این منطقه ساختاری متشکل از سنگ‌های دگرگونه و کریستالین به سن پرکامبرین است. بدین ترتیب احتمالاً پی‌سنگ این منطقه ساختاری از نوع قاره‌ای بوده و از این نظر کاملاً متفاوت از منطقه ساختاری افیولیت‌های سبزوار است. نوار افیولیتی منطقه به شدت خرد شده تکتونیزه بوده و تماس بین واحدها اغلب گسله است. بر این اساس اجزای ساختمانی در ناحیه مورد مطالعه گسل‌ها هستند که در میان آن‌ها انواع فشاری یا راندگی از عمومیت بیش‌تری برخوردار می‌باشند. انواع امتداد لغز به صورت محلی بوده و از گسترش کمی برخوردارند. روند عمومی این گسل‌ها تقریباً شرقی - غربی است و به طور کلی نقشی در کانی‌سازی کرومیت نداشته‌اند و فقط باعث جا بجایی و احتمالاً حذف و یا تکرار بعضی از آن‌ها گردیده‌اند.

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

عوارض ژئومورفولوژی ناحیه به گونه‌ای فراگیر توسط عناصر ساختمانی و ماگماتیزم کنترل می‌شوند. بلندترین نقطه در این ناحیه دارای ارتفاع ۲۹۷۷ متر از سطح دریا می‌باشد که در انتهای جنوب شرقی ناحیه بر یک توده ماگمایی انطباق دارد. پست‌ترین نقطه موجود در منطقه دارای ارتفاع ۸۹۵ متر از سطح دریاست که در کال شور جاجرم واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در دامنه ارتفاعات منیدر قرار دارد که دارای واحدهای ژئومورفولوژیکی کوهستان، تپه‌ماهور، دشت و رودخانه می‌باشد.

واحد ژئومورفولوژیکی کوهستان به مناطقی اطلاق می‌شود که دارای اختلاف ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر با زمین‌های اطراف می‌باشند (آقانباتی ۱۳۸۳). این واحد ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه از جنوب به شمال دربرگیرنده سه رشته کوه اصلی است که شامل رشته‌کوه‌های فرومد در جنوب ناحیه، رشته

ارتفاعات جغتای در بخش میانی و محدوده کوچک رشته ارتفاعات سرخه چشمه در شمال غربی فرومد می‌باشد.

واحد ژئومورفولوژی تپه‌ماهور شامل مناطقی است که اختلاف ارتفاع آن‌ها با نواحی مجاور بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر باشد. این واحد در منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب شرقی قرار گرفته است.

واحد ژئومورفولوژی دشت نیز به مناطق دارای اختلاف ارتفاع کمتر از ۵۰ متر با واحدهای اطراف اطلاق می‌شود که بخش عمده ناحیه را تشکیل می‌دهد.

واحد ژئومورفولوژی رودخانه در منطقه از گسترش محدودی برخوردار است به گونه‌ای که تنها رودخانه موجود در این منطقه رودبار فرومد (منیدر) است. شکل (۴-۱) نمایی از واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



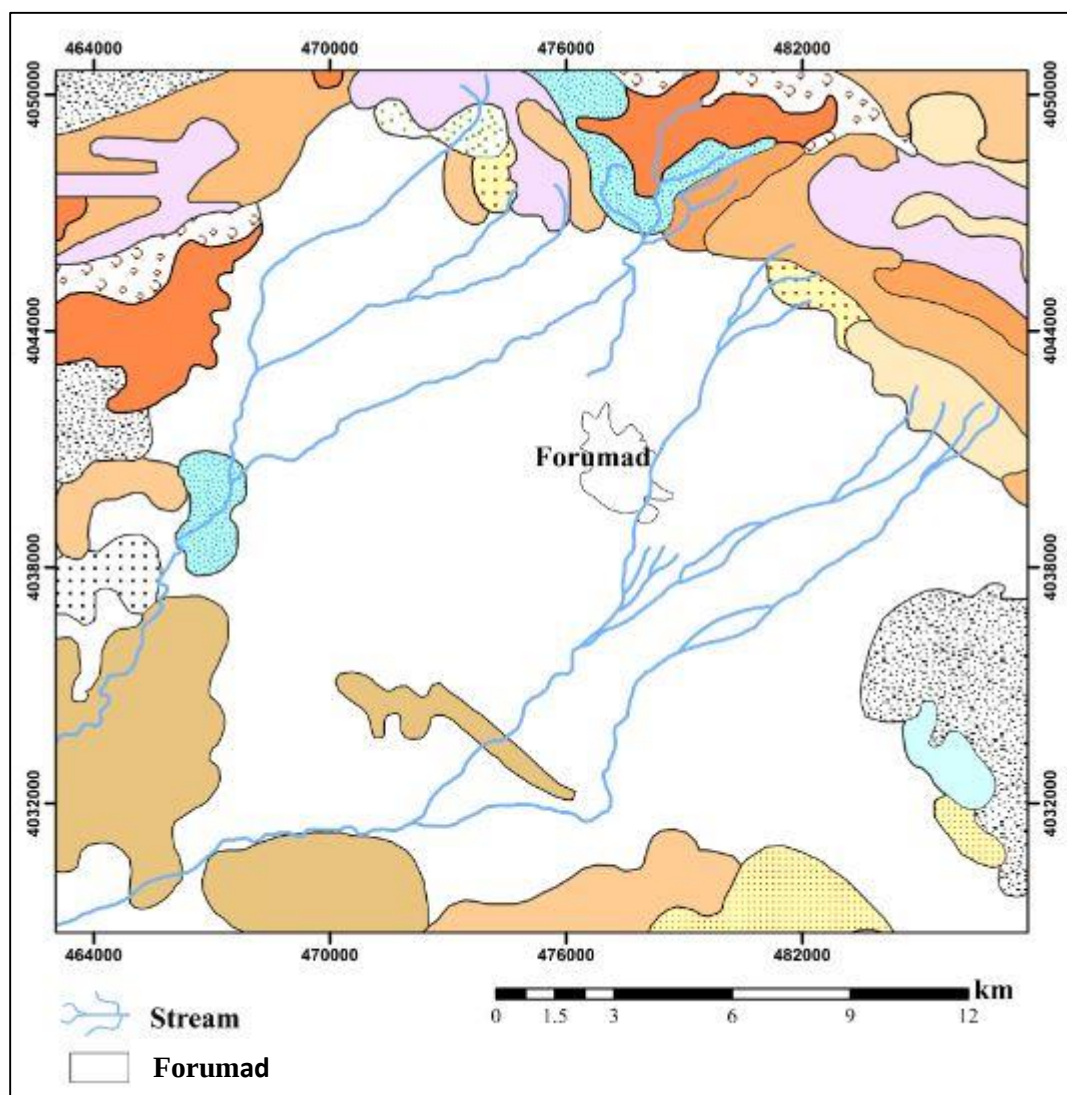
شکل ۴-۱- نمایی از واحدهای ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

بخش عمده بارندگی در مناطق خشک از طریق چند بارش شدید رخ می‌دهد. در این شرایط منابع آب سطحی به مدت زیادی دوام ندارد و رودخانه دائمی نیز به وجود نخواهند آمد. تنها رودخانه موجود در منطقه فرومد، رودبار فرومد می‌باشد که آب‌های سطحی منطقه را به هنگام بارندگی از طریق شاخه‌های خود جمع‌آوری نموده و پس از عبور از تنگه رودبار فرومد از طریق کال شور ابریشم به جنوب منطقه فرومد می‌ریزد. این رودخانه دارای دبی پایه حدود ۵۰ لیتر در ثانیه می‌باشد که در ارتفاعات واقع در شمال فرومد قرار دارد. وسعت ظاهری حوضه آبریز رودبار فرومد در محل بند فرومد ۸۱/۶ کیلومترمربع و محیط آن ۴۶ کیلومتر می‌باشد. یکی دیگر از منابع آب سطحی در این دشت سد شیخ حسن جوری می‌باشد که در شمال شرق روستای فرومد قرار گرفته است. این سد دارای ارتفاع ۷ متر و حجم ذخیره دو میلیون متر مکعب می‌باشد. مادر چاه دو قنات رودبار و سیدآباد در پایین دست این سد خاکی قرار گرفته، که باعث شده این دو رشته قنات در حال حاضر پر آب‌ترین قنات‌های منطقه باشند. جهت نشان دادن بهتر مسیرهای اصلی در این دشت نقشه هیدروگرافی آن در شکل (۱-۵) ارائه شده است.

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

بخش زیادی از آب مورد نیاز در دشت فرومد توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. حوضه آبریز فرومد مشتمل بر ۶۵۱/۸۲ کیلومتر مربع است که به صورت دشتی آبرفتی با تپه‌های کنگلومرای در بین آن‌ها می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در دشت از داده‌های سطح آب مربوط به ۱۲ پیزومتر طی یک دوره ۵ ساله استفاده گردیده است و نقشه هم‌پتانسیل مربوط به دو دوره ترسیم شده است. براساس این نقشه روند عمومی جریان شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد که هم‌جهت با جریان‌های سطحی است. به طور کلی در این دشت تعداد ۱۰ رشته قنات فعال با دبی متوسط ۱۲ لیتر بر ثانیه، چندین دهانه چشمه که در ارتفاعات شمال، شمال شرق و شرق قرار دارند و چندین حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق وجود دارد. استحصال آب به طور عمده از طریق چاه‌ها و قنات‌ها صورت می‌گیرد.



شکل ۱-۵. نقشه هیدروگرافی دشت در منطقه مورد مطالعه

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین در مورد کمیت و کیفیت

آب‌های زیرزمینی

همزمان با افزایش جمعیت در جهان نیاز به آب سالم و قابل شرب نیز افزایش می‌یابد. از این رو امروزه توجه زیادی به آب‌های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردیده است. با توجه به تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی که می‌تواند توسط عوامل طبیعی یا غیرطبیعی صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ کیفی و کمی آب زیرزمینی ضروری می‌باشد. تغییر در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی می‌تواند به دلیل تغییر در شرایط آب و هوایی، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین‌شناسی و عوامل دیگر صورت گیرد. از سوی دیگر به دلیل اینکه آب زیرزمینی به عنوان اصلی‌ترین منبع ذخیره آب شیرین می‌باشد، تعیین خصوصیات کمی و کیفی آن جهت مصارف مختلف دارای اهمیت زیادی است (Todd and Mays 2005). در این فصل سعی شده به مطالعاتی که در زمینه عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی انجام شده است، پرداخته شود.

۱-۲- عوامل مؤثر بر کمیت آب‌های زیرزمینی

عوامل زیادی بر کمیت آب‌های زیرزمینی اثر می‌گذارند که شدت اثر هر یک از این عوامل در مناطق مختلف متفاوت است. این امر بستگی به خصوصیات آب و هوایی نظیر شرایط اقلیمی، بارندگی و طول دوره‌های خشکسالی و فعالیتهای انسانی نظیر برداشت بی‌رویه بستگی دارد. در بسیاری از موارد عملکرد این عوامل به صورت توأم با هم می‌باشد.

۲-۱-۱- تأثیر بارندگی بر کمیت آب‌های زیرزمینی

تأثیر بارندگی در کمیت آب‌های زیرزمینی امری بدیهی است و عامل تعیین کننده‌ای در میزان تغذیه آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. آب حاصل از بارندگی که به درون زمین نفوذ می‌کند و باعث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود به عوامل مختلفی از جمله جنس زمین، بافت خاک، رطوبت اولیه خاک و مقدار هدایت هیدرولیکی خاک بستگی دارد.

یکی از مطالعات مربوط به ریزش‌های جوی و اثرات آن بر سفره آب زیرزمینی توسط اسلامیان و همکاران (۱۳۸۵) در حوضه بوئین انجام شده است. این حوضه از جمله مناطقی است که از نظر ریزش‌های جوی و منابع آب زیرزمینی وضعیت مناسبی دارد، اما در بعضی از سال‌های اخیر به واسطه کمبود ریزش‌های جوی سالانه و نیز استفاده بیش از حد از منابع آب با کمبود آب مواجه گردیده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که بین وقوع ریزش‌های جوی و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه ارتباط معنی‌داری وجود دارد. آن‌ها بیان کردند این موضوع در مورد اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه بدین صورت است که اثر ریزش‌های جوی بر سطح آب سفره زیرزمینی با تأخیر سه ماهه صورت می‌گیرد. ضمن اینکه روند کلی تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه حالت نزولی دارد.

تأثیر تغییرات بارندگی بر سطح آب زیرزمینی با تحلیل رابطه بین بارندگی ماهانه ثبت شده در گذشته و سطوح آب در چاه‌های مشاهده‌ای در دشت شیراز نشان می‌دهد که حدود ۸۶ درصد از این چاه‌ها دارای همبستگی مثبت با بارندگی بوده و تغییرات بارندگی باعث تغییر تراز آب زیرزمینی شده است (مردانه و همکاران ۱۳۹۱).

اسدزاده و کوکی‌نژاد (۱۳۹۳) بیان کردند کاهش نزولات جوی در دشت آذرشهر باعث کاهش تغذیه طبیعی آب زیرزمینی شده و در نتیجه سطح آب به شدت افت پیدا کرده است. علاوه بر این برداشت بیش از حد از این آب‌ها باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی و افزایش شوری گردیده است.

روتولیس (Rutul 1989) در مطالعه چمنزارهای کانادا نشان داد که تحت تأثیر شرایط طبیعی، نوسان

سطح آب زیرزمینی و روند طولانی مدت آن بستگی به پر شدن مجدد آبخوان دارد که عملکردی از بارندگی، تبخیر و تعرق است.

پان یان و همکاران (Pan Yun et al. 2017) ارزیابی و آنالیز تغذیه ناشی از بارندگی را در دشت پکن که بهره‌برداری بیش از حد از آن صورت گرفته است، را انجام داده‌اند. ضرایب ناشی از تغذیه بارندگی نشان می‌دهد که میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی ناشی از بارش یک پارامتر مهم برای ارزیابی منابع آب است. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد تغذیه ناشی از مجموع بارندگی و آبیاری ۲۹۱ میلی‌متر در سال و تغذیه ناشی از بارندگی به تنهایی ۲۳۷/۷ میلی‌متر در سال است که به ترتیب ۳۸/۶ درصد و ۳۶/۶ درصد از آب ورودی می‌باشد.

ارتباط بین بارندگی و تغذیه آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی برای مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی دارد (Gau and Liu 2000). همچنین می‌تواند به درک تأثیر تغییرات آب و هوایی بر آب‌های زیرزمینی کمک کند (Allocca et al. 2014).

میزان بارشی که به زیر سطح زمین نفوذ می‌کند منبع اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی در شمال دشت چین است که بهره‌برداری بیش از حد از آن صورت گرفته است (Lu et al. 2011)، جایی که آب‌های زیرزمینی ۶۰ درصد از ذخیره کل آب را فراهم می‌کنند.

۲-۱-۲- تأثیر خشکسالی بر کمیت آب‌های زیرزمینی

پدیده خشکسالی در طول دوره وقوع خود منابع آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که متأسفانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این پدیده یکی از مزمن‌ترین و از لحاظ اقتصادی زیان‌بارترین مخاطرات طبیعی به شمار می‌رود. در بین بلایای طبیعی تهدید کننده انسان و محیط زیست خشکسالی هم از نظر فراوانی وقوع و هم از جنبه زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (Keneth 2003). این پدیده در دراز مدت کاهش منابع آب را از طریق خشکیدگی جریان‌های سطحی و زیرزمینی به دنبال دارد.

وقوع خشکسالی‌های متناوب و نوسانات زیاد آب و هوایی، کمبود آب به ویژه منابع آب سطحی را تشدید می‌کند و منابع آب زیرزمینی را که منبع مهمی جهت تأمین آب در بخش‌های مختلف می‌باشد را دچار بحران می‌سازد. وجود خشکسالی‌ها همراه با تشدید افت سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی در سال‌های گذشته، احتمال وجود ارتباط قوی بین نوسانات آب و هوایی با منابع آب زیرزمینی را باعث گردیده است (شمسی‌پور و حبیبی ۱۳۸۵). تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت میان‌آب شوشتر و همچنین نقش رودخانه‌های گرگر و شطیپ در کاهش اثرات آن توسط سلطانی و اکبری (۱۳۸۸) مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسی‌های صحرایی و اندازه‌گیری دبی پمپاژ برخی از چاه‌های بهره‌برداری و مقایسه این مقادیر با میزان دبی برداشتی این چاه‌ها در سال آبی ۸۶-۸۵ نماینده آن است که میزان دبی و ساعات کارکرد پمپ برخی از چاه‌ها با شروع خشکسالی و کاهش نزولات جوی بیشتر شده است. با وجود تغذیه سفره آبدار از رودخانه شطیپ افت بیش از ۳ متر سطح ایستابی ایجاد شده، که به علت افزایش ساعات کارکرد پمپ و همچنین دبی پمپاژ در دوره خشکسالی می‌باشد. الفتی و همکاران (۱۳۸۹) ارتباط بین نوسانات سطح آب زیرزمینی با خشکسالی‌های به وقوع پیوسته را بررسی کرده‌اند. برای این منظور داده‌های سالانه و ماهانه ۶۵ چاه پیزومتر در سطح دشت برای یک دوره ۱۷ ساله (۱۳۷۱-۱۳۸۷) مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که تعداد ناهنجاری‌های منفی بارش طی دوره مورد مطالعه بیش از ناهنجاری‌های مثبت بوده و تأثیر فعالیت‌های انسانی در ناهنجاری‌های منفی آب‌های زیرزمینی بسیار چشمگیر است. طی این دوره مطالعاتی به طور متوسط در هر سال ۴۵ سانتی‌متر افت آب‌های زیرزمینی وجود داشته است.

از منابع مهم تغذیه آب‌های زیرزمینی، آب رودها هستند که با کاهش حجم آب و بارندگی و یا خشک شدن رودها بر اثر خشکسالی این منبع تغذیه آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد یا به طور کلی قطع می‌شود. همچنین خشکسالی می‌تواند باعث کم آب شدن و یا خشک شدن چشمه‌ها گردد که اثرات نامطلوبی بر سفره آب زیرزمینی منطقه تحت تأثیر خود می‌گذارد (قرقانی و پناهی ۱۳۹۵).

پیترز و همکاران (Peters et al. 2005) به منظور بررسی چگونگی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی

۱۰ سری زمانی ۱۰۰۰ ساله از تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی را با استفاده از روش نمونه‌گیری نزدیک‌ترین همسایه، تولید کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که طول دوره خشکسالی با استفاده از روش مقادیر حدی با دوره بازگشت طولانی، بر تخلیه بیش‌تر از تغذیه اثر دارد.

پاندا و همکارانش (Panda *et al.* 2007) به بررسی اثرات خشکسالی بر روی تراز آب زیرزمینی و کمیت آن در اریسا پرداخته‌اند. آن‌ها در این بررسی دوره زمانی ۱۹۹۴-۲۰۰۳ را مورد آنالیز قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افت آب‌های زیرزمینی در طول سال‌های خشک ایجاد شده است. این افت ناشی از کمبود بارش، درجه حرارت بالا و رشد و تکامل زندگی بشری بوده که این کمبود در طول سال‌های مرطوب قابل جبران نمی‌باشد.

خان و همکاران (Khan *et al.* 2008) در بررسی رابطه بین خشکسالی و سطح آب زیرزمینی در یکی از دشت‌های استرالیا به این نتیجه رسیدند که بین شاخص بارندگی معیار شده و سطح آب زیرزمینی کم عمق منطقه ارتباط قوی وجود دارد.

یکی دیگر از مطالعات در زمینه تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، در شرق کرمانشاه توسط شکبا و همکارانش (Shakiba *et al.* 2010) با استفاده از شاخص بارندگی معیار شده (SPI) انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که خشکسالی‌ها بر افت سطح آب زیرزمینی تأثیر به سزایی داشته است. همچنین آن‌ها با توجه به وجود ضریب همبستگی بین مقادیر SPI و عمق آب زیرزمینی گزارش کرده‌اند که شاخص SPI، شاخص تقریباً مناسبی جهت بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

۲-۱-۳- اثر برداشت بی‌رویه بر کمیت آب‌های زیرزمینی

بهره‌برداری بیش از حد حالتی است که در آن میانگین سالانه برداشت از آب زیرزمینی بیش‌تر از میانگین تغذیه سالانه به دشت باشد. این امر سبب افت مستمر سطح آب زیرزمینی گردیده است که یکی از پیامدهای آن شور شدن تدریجی آب زیرزمینی و پیشروی آب شور به طرف آب شیرین در مناطق ساحلی و کویری می‌باشد (ولایتی ۱۳۸۱). پیامدهای دیگر ناشی از برداشت بی‌رویه شامل تغییر

کیفیت آب زیرزمینی، افزایش میزان آسیب‌پذیری دشت‌ها در زمان خشکسالی، نشست زمین، افزایش انرژی جهت به دست آوردن آب زیرزمینی و از بین رفتن اکوسیستم منطقه می‌باشد (عباس‌نژاد و شاهی‌دشت ۱۳۹۲).

لشکری‌پور و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تأثیرات برداشت بی‌رویه بر وضعیت کمی و کیفی آبخوان دشت سبزوار با استفاده از نرم‌افزارهای Arc View GIS و Plotchem پرداختند. نتایج حاکی از این است که برداشت بی‌رویه همراه با کاهش بارندگی و خشکسالی باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است.

تأثیر برداشت بی‌رویه بر روی منابع آب زیرزمینی دشت ورامین توسط حیدریان و همکاران (۱۳۹۱) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد برداشت از آب زیرزمینی طی مدت ۴۹ سال ۳/۶۶ برابر شده است که باعث افت سطح ایستابی به میزان ۳۴/۰۴ متر گردیده است. این امر به نوبه خود پیامدهایی نظیر خشک شدن قنات‌ها، فرونشست زمین و افزایش شوری آب را در پی داشته است.

امیرحسینی و کاظمی (۱۳۹۳) با بررسی داده‌های ۲۰ ساله (۱۳۷۲-۱۳۹۲) سطح آب زیرزمینی در ۳۷ پیزومتر موجود در دشت دامغان نشان دادند که سطح ایستابی طی این مدت پیوسته دارای روند نزولی بوده است. این امر موجب افت به میزان ۱۰/۷ متر طی این ۲۰ سال شده و مقدار ۷۳۴/۵ میلیون متر مکعب از ذخیره آبخوان آزاد گردیده است. بیش‌ترین میزان افت در حاشیه شمال شرقی دشت و نیز در مرکز و حاشیه جنوب غربی رخ داده است. این افت عمده‌تاً در نتیجه بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان و به میزان کمتر کاهش بارندگی طی سالیان اخیر می‌باشد.

جهان‌شاهی‌نوکنده و کرمی (۱۳۹۴) با بررسی ۳۰ ساله سطح آب زیرزمینی در ۲۸۹ پیزومتر موجود در دشت گرگان نشان دادند سطح آب زیرزمینی در این دشت از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۰ روند نزولی طی کرده به طوری که افت به میزان ۱۲/۳ متر را نشان می‌دهد. اما از سال ۱۳۸۰ به تدریج افزایش پیدا کرده و این افت تقریباً جبران شده است. با این وجود برخی نقاط هنوز وجود دارد که از سال ۱۳۸۰

روند نزولی خود را ادامه داده‌اند. این نقاط در نیمه جنوبی دشت و در مناطق با تمرکز بالای کشاورزی وجود دارند که می‌توان برداشت بیش از حد مجاز آب از چاه‌های بهره‌برداری را علت این امر دانست.

مطالعه و بررسی آبخوان شهر داکا واقع در کشور بنگلادش نشان داد که میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی در این شهر از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ به میزان ۲۲۳۱ میلیون متر مکعب در سال افزایش یافته است. این امر باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی، تخلیه کامل بخش بالایی آبخوان به غیر از نواحی شمال شرقی و جنوب شرقی شهر و گسترش مخروط افت گردیده است (Hoque et al. 2007).

آبخوان چتوکا (Chtouka) در جنوب غرب مراکش جهت فعالیت‌های کشاورزی بهره‌برداری زیادی از آن صورت گرفته است. تکامل زمانی سطح آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که سطح آب در طول دهه گذشته در اثر بهره‌برداری بیش از حد به صورت تدریجی کاهش یافته است (Malki et al. 2016).

ابراهیمی و همکارانش (Ebrahimi et al. 2016) طی تحقیقی به بررسی شرایط کمی و کیفی آب زیرزمینی آبخوان شهر دامغان پرداختند. آنالیز کیفی داده‌های به دست آمده از چاه‌های نمونه‌برداری نشان دهنده برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی در طول سال‌های اخیر می‌باشد. نتیجه این برداشت بیش از حد کاهش کمیت آب است، به طوری که متوسط سطح آب حدود ۷/۴ متر بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ کاهش یافته است.

با توجه به مطالب ذکر شده، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی اصلی‌ترین عامل افت و کاهش کمیت آب زیرزمینی در سطح دشت‌های ایران و جهان می‌باشد. ظهور خشکسالی‌های پی در پی و کمبود نزولات جوی باعث تشدید این مسئله به ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک گردیده و این مناطق را با بحران آب روبه‌رو کرده است. لذا بهره‌برداری صحیح منابع آب زیرزمینی و مدیریت اصولی تغییرات آن امری ضروری است که باید توجه لازم به آن ایجاد شود.

۲-۲- عوامل مؤثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی

بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی به اندازه کمیت آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد. نوع کیفیت آب وابسته به

واکنش‌های بین آب و سنگ می‌باشد که قابل استفاده بودن آن را برای مصارف مختلف تعیین می‌کند. به طور کلی کیفیت منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل طبیعی نظیر سازندهای زمین‌شناسی و نفوذ آب شور و فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی، توسعه شهری و صنعت، تخلیه فاضلاب‌ها و برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

۲-۲-۱- اثر نفوذ آب شور بر کیفیت آب‌های زیرزمینی

شوری آب‌های زیرزمینی نتیجه‌ای از انحلال کانی‌های تبخیری نظیر گچ و نمک طعام، تبادل یونی و نفوذ آب شور دریاچه به داخل آن است. نفوذ آب شور به داخل سفره‌های ساحلی یک فرایند هیدرودینامیکی پیچیده است که در اثر حرکت آب شور و آب‌های زیرزمینی دارای ویژگی‌ها و چگالی‌های متفاوت صورت می‌گیرد. نفوذ آب شور و میزان اختلاط آن با آب شیرین به عوامل مختلفی بستگی دارد که از جمله می‌توان به نسبت چگالی آب شور به آب زیرزمینی، تغییر رژیم جریان آب زیرزمینی، میزان تخلیه از آب زیرزمینی و میزان پراکندگی طولی و عرضی اشاره کرد (Jones et al. 1999).

ارزیابی نفوذ آب شور خلیج فارس در آبخوان ساحلی عسلویه توسط سجادی و همکارانش (۱۳۸۹) انجام شده است. در این تحقیق از روش رول (Revelle) برای تشخیص نفوذ آب شور استفاده شده است. این روش به صورت نسبت Cl به $HCO_3 + CO_3$ می‌باشد که افزایش این نسبت دلیل بر نفوذ آب شور است. براساس نتایج به دست آمده مشخص شده که تکامل شیمیایی آب زیرزمینی در دشت عسلویه در ارتباط انحلال کامل ژئوس و مقادیر زیاد کانی‌های کلریدی در منطقه و نفوذ آب شور خلیج فارس می‌باشد. همچنین افزایش میزان برداشت آب از آبخوان عسلویه سبب از بین رفتن تعادل بین آب شور و شیرین شده که دلیلی بر نفوذ آب شور و تخریب کیفیت آب می‌باشد.

آقازاده و همکاران (۱۳۸۹) بررسی نفوذ آب شور به آبخوان ساحلی دشت قالقاچی را انجام داده‌اند. آن‌ها برای ارزیابی نفوذ آب دریاچه به سفره از داده‌های هیدروژئوشیمیایی، نسبت‌های مختلف یونی و محاسبه اندیکس‌ها استفاده کرده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تیپ آب‌های منطقه به طور عمده کربناته کلسیک

و کلروکلسیک می‌باشد و هر چه به نوار ساحلی نزدیک‌تر می‌شویم تیپ آب در اثر نفوذ آب شور کلروسدیک می‌گردد که این امر باعث تغییر کیفیت آب می‌شود.

آبخوان ساحلی دشت مهاباد در نزدیکی نوار ساحلی دریاچه ارومیه دارای تیپ آب کلروسدیک می‌باشد. غلظت و ترکیب یون‌های اصلی نشان دهنده نفوذ آب شور دریاچه به این سفره ساحلی است. همچنین در سال‌های اخیر کاهش بارندگی و برداشت بی‌رویه از آبخوان باعث افت سطح آب، کاهش آبدهی منابع و پیشروی آب شور به داخل آبخوان شده که تخریب کیفیت آب را سبب شده است (خوشنوا و همکاران ۱۳۹۲).

در ساحل جنوب شرقی دریاچه ارومیه در یک بازه زمانی ۱۰ ساله (۸۵-۹۵) آب‌های زیرزمینی شور از سمت دریاچه به میزان چشمگیری به سمت آبخوان‌های ساحلی نفوذ کرده‌اند. دلیل این موضوع افزایش شدید برداشت از آبخوان‌ها آبرفتی و در نتیجه تغییر در جهت جریان آب زیرزمینی به ویژه در امتداد رسوبات آبرفتی دانه درشت‌تر موجود در بسترهای فعلی و قدیمی رودخانه‌های اصلی منطقه می‌باشد. این بررسی‌ها نشان می‌دهد به دلیل پیشروی آب شور حدود ۴۳۷/۲ کیلومتر مربع بر پهنه‌های دارای آب زیرزمینی شور افزوده شده است (شمشکی و کرمی ۱۳۹۵).

بررسی هیدروشیمیایی و نفوذ آب شور در دشت جاجرم توسط رضاپور و همکاران (۱۳۹۵) انجام شده است. دشت جاجرم به دلیل مجاورت با سازندهای تبخیری و کفه‌های نمکی در معرض خطر کاهش کیفیت آب می‌باشد. با توجه به تعداد چاه‌های بهره‌برداری فراوان و برداشت بیش از حد مجاز از این آبخوان و افت سطح آب زیرزمینی، جهت جریان آب در بخش‌های جنوبی تغییر کرده است. تغذیه آبخوان از کال نمک باعث نفوذ آب شور از بخش‌های جنوبی و آب‌های شور بخش‌های شمالی به سمت مرکز شده و تخریب کیفیت آب را به دنبال داشته است.

آنالیز پارامترهای شیمیایی اصلی آب‌های زیرزمینی جنوب شرق غنا نشان‌دهنده تغییرات شوری در این ناحیه می‌باشد. مؤلفه‌های اصلی برای افزایش شوری در این ناحیه شامل هوازدگی کانی‌ها (در نواحی

بالا دست دور از ساحل) و ترکیب نفوذ آب شور و فعالیت‌های انسانی است. این عامل باعث شده تخریب کیفیت آب زیرزمینی در سطح بالایی به سمت ساحل افزایش پیدا کند (Yildana 2010).

نفوذ آب شور در حوضه دامغان نیز توسط ابراهیمی و همکارانش (Ebrahimi et al. 2016) مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی تیپ غالب آب در این ناحیه سدیم کلروره می‌باشد که برای فهم دلیل این نوع تیپ آب، نفوذ آب شور با آنالیز نسبت‌های یونی مورد بررسی قرار گرفت. تحقیقات نشان داد عامل اصلی شوری آب و تخریب کیفیت آب زیرزمینی در این حوضه نفوذ آب شور می‌باشد.

ارزیابی هیدروشیمیایی برای مشخص نمودن نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دریاچه مهارلو توسط جهانشاهی و زارع (Jahanshahi and Zare 2016) انجام شده است. با توجه به برداشت بیش از حد آب زیرزمینی از این آبخوان‌ها شیب سطح ایستابی از دریاچه به سمت آبخوان است. بنابراین آب‌های شور به آبخوان مهاجرت می‌کنند که این پدیده منجر به تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌شود.

کلاسن و آلن (Klassen and Allen 2017) در ارزیابی خطر نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی بیان کردند در نواحی ساحلی کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند در اثر نفوذ آب شور در معرض خطر قرار گیرد. این موضوع می‌تواند در اثر تغییرات طبیعی نظیر بالا آمدن سطح آب دریا و امواج طوفانی و فعالیت‌های انسانی نظیر پمپاژ باشد.

۲-۲-۲- اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی

در مناطق مختلف علاوه بر کمبود آب خطر تخریب کیفیت آب نیز وجود دارد. تخریب کیفی منابع آب در اثر عوامل متعددی ایجاد می‌شود که عمدتاً متأثر از سازندهای زمین‌شناسی مخرب و یا هجوم آب شور می‌باشد. عبور آب از سازندهای با لیتولوژی مختلف باعث انحلال این سازندها می‌شود در نتیجه تغییرات در کیفیت آب ایجاد می‌کند. عمده‌ترین کانی‌هایی که در آب حل می‌شوند شامل کانی‌های تبخیری نظیر ژپس و هالیت و سنگ‌های کربناته مانند آهک و دولومیت می‌باشند. نیک‌یچ و ویدوویچ

(Nikic and vidovic 2006) سازندهای زمین‌شناسی را به عنوان عامل اصلی کنترل کننده کیفیت آب

در بانات شمالی (Nortnen Banat) در شمال صربستان معرفی کرده‌اند.

تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب آبخوان دهدشت غربی توسط بهزاد و حمزه (۱۳۸۸) انجام شده است. سازندهای موجود در این ناحیه شامل میشان، گچساران، آغاچاری و کواترنری است، که مارن‌ها ژئوسپیس دار آغاچاری، انیدریت گچساران و نمک گچساران فرسایش و نفوذپذیری زیادی دارند. عوامل مختلفی در تغییر کمیت و کیفیت منابع آب این آبخوان تأثیر دارد که مهم‌ترین آن تشکیلات زمین‌شناسی است که باعث شور شدن آب این منطقه و تخریب کیفیت آن می‌شود.

سازندهای زمین‌شناسی بر کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز چشمه علی دامغان تأثیر زیادی داشته‌اند. بررسی‌ها نشان داده است عامل اصلی تخریب کیفیت آب سطحی در سطح حوضه، مارن‌های نئوژن می‌باشد که بیشترین گسترش را در غرب حوزه دارند. همچنین گسترش این مارن‌ها در دشت سر و پلایا عامل اصلی تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. ظهور این سازندها سبب می‌شود که آب‌های جاری به طور مستقیم با املاح تماس حاصل نمایند و حجم زیادی از نمک را انتقال دهند و کیفیت نامناسب آب را ایجاد کنند (شهبازی و فیض‌نیا ۱۳۹۰).

ابراهیم‌پور و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب دشت شهرکرد بیان کردند لیتولوژی آهکی موجود در دشت و نوع سنگ رسوبی با بافت توده‌ای باعث شده آب از کیفیت بالایی برخوردار باشد. گرچه به دلیل کارستی بودن منبع آب این دشت، سختی آن بالا می‌باشد.

آوند و همکاران (۱۳۹۴) برای مطالعه تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی در دشت امامزاده جعفر گچساران اقدام به زدن بافر در فواصل ۱، ۳، ۵ و ۱۰ کیلومتری از چاه‌های بهره‌برداری کردند. نتایج نشان داد که در فاصله ۱ کیلومتری از چاه‌های بهره‌برداری مورد بررسی ۸۰/۸۲ درصد از سازندهای مؤثر از جنس رسوبات مخروطافکنه‌ای دوره کواترنری هستند که دارای آبی با کیفیت مناسب می‌باشند. در فواصل ۱۰ کیلومتری و بیشتر از آن تأثیر سازند گچساران باعث ایجاد آب با کیفیت نامناسب می‌گردد. با توجه به این موارد قسمت جنوب و جنوب غرب دشت به دلیل وجود سازندهای

گچساران، میشان و به مقدار کمتری بختیاری دارای آب با کیفیت نامناسب می باشد. در قسمت شمال شرقی دشت که محل ورود مخروط افکنه ها و تمرکز رسوبات کواترنری است، آب با کیفیت مطلوب وجود دارد.

سازندهای زمین شناسی در منطقه اشتهاارد بیشتر از نوع تبخیری و شامل کانی های ژئوپس و هالیت هستند. مهم ترین این لایه ها پهنه های نمکی با وسعت زیاد هستند که در قسمت شمالی منطقه رخنمون دارند و در افزایش املاح آب تأثیر بسزایی داشته اند، که از عوامل اصلی کاهش دهنده کیفیت آب در این محدوده می باشند (عبادی و سپهوند ۱۳۹۴).

نصرتی و باقری (۱۳۹۴) با بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت بسطام نشان دادند که کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر تغذیه از سازندهای احاطه کننده و میزان برداشت از آبخوان است به طوری که شمال شرق و جنوب غرب دشت دارای کمترین مقادیر هدایت هیدرولیکی و کناره های دشت بیشترین مقادیر هدایت هیدرولیکی را دارا می باشد.

اوزلر (Ozler 2015) بررسی هیدروژئولوژی آبخوان کاکلیک (Kaklik) را انجام داده است. وی اظهار داشت آبخوان کاکلیک یک سیستم آبخوان نیمه کارستی است که در بخش غربی ترکیه قرار دارد. آبخوان های اصلی این ناحیه درون سنگ آهک کاکلز (Cokelez)، سازند سازک و آبرفت ها قرار دارند. سنگ آهک کاکلز و سازند سازک آبخوان های کارستی هستند که دارای آب با کیفیت مطلوب می باشند. از طرفی آبرفت های این ناحیه ترکیبی از ماسه و گراول اند که ایجاد آبخوان های نفوذپذیر با ضخامت ۱۰ تا ۶۰ متر را می کنند که کیفیت آن برای مصارف مختلف مناسب است.

۲-۲-۳- اثر برداشت بی رویه بر کیفیت آب زیرزمینی

بهره برداری زیاد از آب های زیرزمینی در بیشتر دشت های کشور موجب افت شدید سطح آب زیرزمینی گردیده است. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با افت سطح آب متراکم شدن لایه ها و رسوبات است. این پدیده باعث نشست سطح زمین به صورت ناگهانی و یا تدریجی می گردد. افت سطح آب زیرزمینی باعث

افزایش غلظت املاح تشکیل دهنده آب شده و این مسائل سبب کاهش کیفیت آب می‌شود. از طرفی این کاهش سطح آب زیرزمینی، باعث نفوذ آب شور و افزایش عمق چاه‌های برداشت آب شده است. کاهش دبی رودخانه یا آبراهه‌های تغذیه‌کننده از آبخوان و افزایش هزینه برداشت آب‌های زیرزمینی از دیگر اثرات برداشت بی‌رویه می‌باشد (حیدریان و همکاران ۱۳۹۱).

ولایتی (۱۳۸۱) در بررسی تأثیر برداشت بی‌رویه در شور شدن آبخوان دشت جنگل بیان کرد، با توجه به اینکه تغییراتی در عوامل و وضعیت طبیعی منطقه رخ نداده است و نیز با توجه به اینکه تغذیه ناشی از بارندگی نتوانسته است کسری مخزن را جبران کند، لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عامل اصلی تغییر کیفیت آبخوان دشت جنگل افت مستمر سطح آب زیرزمینی است که خود ناشی از اضافه برداشت از مخزن می‌باشد.

لشکری‌پور و همکارانش (۱۳۸۸) در دشت رشتخوار، با بررسی کیفیت آب چاه‌های منطقه به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی به شدت رو به کاهش است و دلیل این امر را افت سطح آب زیرزمینی در اثر برداشت بی‌رویه دانسته‌اند.

برداشت بیش از حد از آبخوان دشت قزوین باعث کاهش سطح آبخوان شده و کیفیت آن را تحت تأثیر قرار داده است. به گونه‌ای که با تهی شدن مخزن آبخوان فاضلاب‌ها و پساب‌ها به سمت دشت روانه شده و باعث نفوذ آلاینده‌ها به داخل دشت می‌گردد، در نتیجه باعث افت کیفی آبخوان می‌شود. همچنین با روانه شدن آب شور به سمت آبخوان و جایگزینی آن با آب شیرین خسارات جبران‌ناپذیری بر کیفیت آبخوان وارد می‌گردد (ریاحی و ریاحی ۱۳۸۹).

جعفری (۱۳۹۰) در تحقیقات خود در آبخوان دشت هرات، یزد، بیان نمود که گرادیان سطح ایستابی نشان دهنده افت سطح ایستابی به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. این معکوس شدن جریان، باعث نفوذ آب شور به داخل آبخوان شده و کیفیت آب را کاهش می‌دهد.

برای بررسی اثر برداشت بی‌رویه بر کیفیت و کمیت منابع آب و همچنین اثرات خشکسالی‌های متوالی آبخوان دشت بیرجند توسط زراعتکار و همکاران (۱۳۹۱) انتخاب شده است. نتایج نشان داده است که

افت تجمعی آبخوان در طی سال‌های ۸۷-۶۵، ۸/۴۱ متر و افت دشت بیرجند، ۳۷۹/۰ متر بوده است. این امر باعث شده کیفیت آب این دشت به شدت افت پیدا کرده، به طوری که برای حفظ کمیت و کیفیت، از منابع آب دشت سربیشه استفاده شده است.

با بالا رفتن میزان تقاضای آب در استان یزد، برداشت از این سفره‌ها به طور مرتب افزایش پیدا نموده است، به طوری که بیلان آب در استان یزد منفی و معادل ۲۸۰- میلیون متر مکعب شده است. از جمله پیامدهای این امر پایین رفتن مداوم سطح سفره و نفوذ آب شور سفره‌های کویری همجوار به داخل آن است که تأثیر منفی بر کیفیت آب گذاشته است (یزدی و جبلی ۱۳۹۲).

امیرحسینی و کاظمی (۱۳۹۳) با بررسی داده‌های ۲۰ ساله سطح آب زیرزمینی در ۳۷ پیزومتر موجود در دشت دامغان به این نتیجه رسیدند که میزان هدایت الکتریکی و مجموع یون‌های اصلی آبخوان به ترتیب ۲۳/۰۶ و ۲۵ درصد افزایش یافته است. نفوذ شورآبه‌های حاصل از کویر چاه‌جام به درون آبخوان روی داده است که این امر کیفیت آب را تحت تأثیر قرار داده است.

برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی دشت اشتهاارد برای مصارف کشاورزی و صنعت سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی در منطقه شده که یکی از عواقب آن کاهش کیفیت آب به دلیل افزایش عناصر محلول در آن شده است. برداشت بیش از حد آب زیرزمینی و تغذیه طبیعی کم در منطقه، باعث شده شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی کاهش پیدا کرده و آبخوان قادر به تخلیه مؤثر املاح نباشد (عبادی و سپهوند ۱۳۹۴).

۲-۲-۴- اثر پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی بر کیفیت آب

رشد و گسترش سریع شهرها و پیشرفت جنبه‌های صنعتی، کشاورزی و توریستی شرایط جدیدی را برای منابع آب زیرزمینی در ارتباط با آن‌ها ایجاد کرده است. در نواحی شهری نشت فاضلاب‌های شهری عامل اصلی در آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی و تخریب کیفیت آب می‌باشد. که این مشکل در شهرهایی که بر روی آبخوان‌های آبرفتی قرار دارند تشدید می‌شود. در سال‌های اخیر در بسیاری از

مناطق شهری به دلیل استفاده روز افزون مواد شیمیایی محلول و همچنین نشت فاضلاب‌های خانگی و صنعتی به داخل سفره‌های آب زیرزمینی کیفیت آب‌های زیرزمینی به شدت کاهش یافته است. یون نیتрат از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی است که حلالیت بالایی دارد. نیترات علاوه بر چرخه طبیعی ازت در اثر ورود فاضلاب‌های خانگی، مواد زائد شهری و صنعتی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی وارد منابع آب و خاک شده و اثرات نامطلوبی بر کیفیت آب و سلامت انسان می‌گذارد (مقدسی و همکاران ۱۳۸۵).

پیرصاحب و همکارانش (۱۳۹۲) با بررسی نیترات در آب‌های زیرزمینی مناطق مختلف ایران نشان دادند که حدود نیمی از کل شهرهای مورد مطالعه ایران همچون تهران، همدان، کرمان، شیراز، گرگان و بهبهان غلظت نیترات بالاتر از میزان استاندارد ملی کشور می‌باشد. علل اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی این مناطق مربوط به دفع غیربهداشتی فاضلاب‌های شهری و صنعتی و همچنین مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی گزارش شده است.

زابلی‌زاده و همکارانش (۱۳۹۳) آب‌های زیرزمینی دشت یاسوج را در بین سال‌های آماری ۸۴ تا ۹۲ مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد با توجه به افزایش نیترات، سولفات و کلر در دشت، درشت دانه بودن بافت خاک منطقه و افزایش سطح آب زیرزمینی، علت اصلی آلودگی و تخریب کیفیت آب، دفع نامناسب فاضلاب و نشت آن‌ها به درون سفره‌های آب می‌باشد.

کیفیت آب‌های زیرزمینی در آبخوان آبرفتی شهر صنعتی اسکیشهیر (Eskisehir) در ترکیه در اثر نفوذ فاضلاب‌های شهری و صنعتی و پساب‌های کشاورزی تحت تأثیر قرار گرفته است که آلودگی به نیترات را ایجاد کرده و باعث تخریب کیفیت آب شده است (Kacaroglu and Gunay 1997).

گارسیا و همکارانش (Garcia et al. 2001) با بررسی ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در دشت آبرفتی ایالت تاکمان (Tucuman)، آرژانتین، و ارزیابی برخی از شاخص‌های آلودگی مانند pH، انحلال مواد آلی، انحلال اکسیژن، فسفات و نیتروژن نشان داده‌اند که آب آن برای مصارف انسان مناسب است، گرچه

آلاینده‌های زیستی در برخی از چاه‌ها در طول رودخانه سالی شناسایی شده است که منبع آن نفوذ از مخازن فاضلاب شهری و فاضلاب‌های صنعتی است که به درون این رودخانه تراوش کرده‌اند.

تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در نواحی تحت کشت ناحیه چتوکا (Chtouka)، مراکش، توسط مالکی و همکارانش (Malki et al. 2016) مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش جنوبی اطراف بل‌فا (BelFaa) و نواحی آبیاری در طول رودخانه ماسا غلظت نیترات به بیش از ۵۰ میلی‌گرم رسیده است که متجاوز از حد آستانه تعیین شده توسط بهداشت جهانی می‌باشد. این آلودگی نیترات در اثر کاربرد کودها جهت فعالیت‌های کشاورزی ایجاد می‌شود که کیفیت آب زیرزمینی را تخریب می‌کند.

با توجه به مطالب ذکر شده، متأسفانه در سال‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت، توسعه شهری و صنعتی، گسترش کشاورزی بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. این امر موجب افت شدید سطح آب زیرزمینی گردیده است و مشکلات متعددی نظیر نشست سطح زمین در اثر متراکم شدن رسوبات، نفوذ آب شور و کاهش دبی رودخانه‌های تغذیه‌کننده آب‌های زیرزمینی را به وجود آورده است. از سویی دیگر گسترش فعالیت‌های کشاورزی نیاز به استفاده از کودهای صنعتی را بالا برده است. استفاده از این کودها مشکل آلودگی آب در ارتباط با نیترات را به وجود آورده، که خود تبدیل به یکی از دغدغه‌های بزرگ بشر شده است. بنابراین نقش فعالیت‌های انسانی در ایجاد این آلودگی‌ها و در نتیجه تخریب کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی به میزان چشمگیری زیاد است که نیاز به مدیریت صحیح و اصولی دارد.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل روند انجام مطالعات جهت بررسی خصوصیات کمی و کیفی دشت فرومد بیان گردیده است. به طور کلی برای انجام این تحقیق فعالیت‌های زیر صورت گرفته است:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژی و داده‌های سطح آب زیرزمینی مربوط به پیزومترها جهت بررسی وضعیت سفره آب زیرزمینی در دشت فرومد
- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم
- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از چاه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه
- بررسی خصوصیات کمی و کیفی آبخوان و روند تغییرات آن‌ها
- ترسیم نمودارها و نقشه‌های مربوطه و تفسیر آن‌ها

۳-۱- جمع‌آوری آمار اطلاعات سطح آب زیرزمینی در دشت فرومد

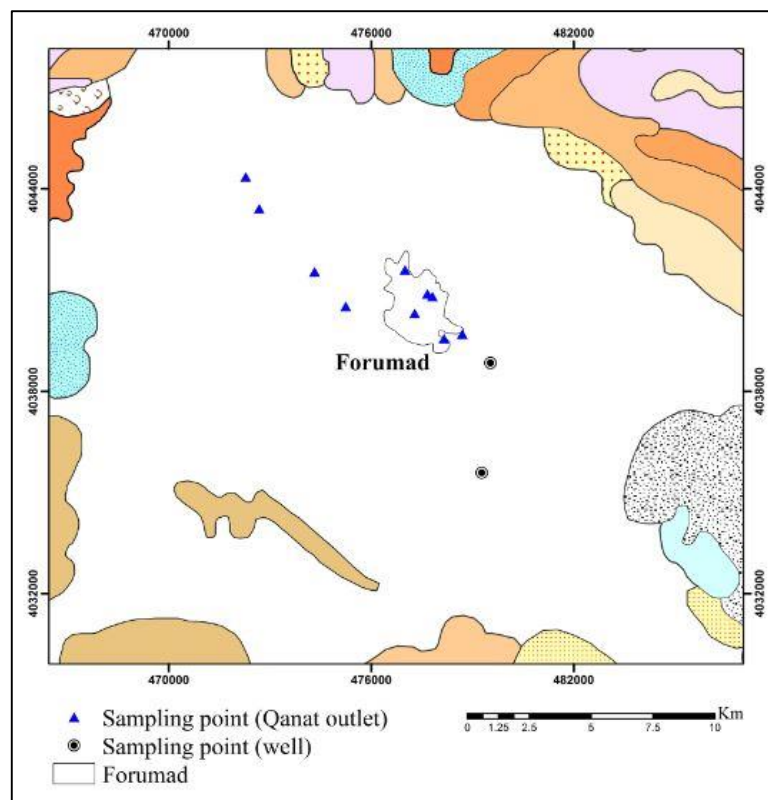
جمع‌آوری آمار و اطلاعات اولین قدم در انجام هر پروژه زمین‌شناسی می‌باشد. جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت فرومد اطلاعات لازم نظیر داده‌های بارش، دما و داده‌های سطح پیزومترها از امور آب و اداره هواشناسی شهرستان شاهرود گرفته شد و مورد تحلیل و بررسی‌های لازم قرار گرفت. از داده‌های بارش و دما جهت رسم نمودار امپروترمیک برای تعیین فصل خشک و تر و داده‌های پیزومترها جهت بررسی وضعیت سفره آب زیرزمینی استفاده گردیده است.

۲-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه

نقشه‌های زمین‌شناسی کاربردهای وسیعی را شامل می‌شوند که یکی از آن‌ها بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها می‌باشد. برای رسم نقشه زمین‌شناسی منطقه از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم استفاده شده است. بدین منظور پس از صحت‌سنجی لایه‌های زمین‌شناسی روی نقشه موجود، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 نقشه پایه منطقه ترسیم گردید.

۳-۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از چاه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی دشت فرومد از چاه‌ها و تعداد ۱۰ رشته قنات موجود در منطقه در اردیبهشت ماه و آبان ماه ۱۳۹۶ نمونه‌برداری انجام شده است. موقعیت محل‌های نمونه‌برداری در شکل (۱-۳) و تعدادی از نقاط نمونه‌برداری در شکل‌های (۲-۳) تا (۵-۳) نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲-۳: نمونه برداری از چاه عیش آباد



شکل ۳-۳: نمونه برداری از قنات هردوآب



شکل ۳-۴: نمونه برداری از قنات بازار



شکل ۳-۵: نمونه برداری از قنات خیرآباد - شهرستان

برای انجام نمونه‌برداری از ظرف‌های پلاستیکی یک لیتری استفاده شد و قبل از نمونه‌برداری ۲ بار با آب محل نمونه‌برداری شسته شدند. آنالیز شیمیایی نمونه‌ها و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی از قبیل سولفات، کربنات، بی‌کربنات، کلر، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. براساس این پارامترهای اندازه‌گیری شده سایر پارامترهای شیمیایی نیز محاسبه گردید.

به طور کلی پارامترهای اندازه‌گیری شده به دو دسته تقسیم می‌شوند که شامل پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری و پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه می‌باشند.

۳-۳-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری

پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری شامل هدایت الکتریکی (EC)، pH و آبدهی قنات‌های موجود در محل می‌باشد. میزان هدایت الکتریکی تابعی از پارامترهایی نظیر مقدار مواد جامد محلول در آب، نوع یون‌های محلول در آب و دمای آب می‌باشد که بر روی کیفیت آب تأثیر می‌گذارد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت سنج ساخت شرکت HACH انجام گرفته شد. برای اندازه‌گیری pH نیز از دستگاه pH متر مدل Suntex 710 استفاده شده است. دی‌اکسید کربن محلول در آب و مقدار آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات پارامترهای مؤثر بر میزان اسیدیته می‌باشند.

جهت اندازه‌گیری آبدهی قنات‌های محل نمونه‌برداری از روش جسم شناور استفاده شده است. در این روش برای اندازه‌گیری سرعت دو نقطه از مسیر که نسبتاً مستقیم است انتخاب می‌شود. با انداختن جسمی نظیر یک تکه چوب در ابتدای مسیر انتخابی فاصله زمانی رسیدن جسم به انتهای مسیر اندازه‌گیری می‌شود. اگر فاصله زمانی t و فاصله دو نقطه L باشد، سرعت سطحی (V_s) از معادله زیر به دست می‌آید.

$$V_s = L/t$$

معادله (۳-۱)

رابطه بین سرعت سطحی و سرعت متوسط آب در مقطع کانال خطی است. که با استفاده از معادله (۲-۳) محاسبه می‌گردد.

$$V_a = K \cdot V_s \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

ضریب K بستگی به ارتفاع آب در کانال دارد و مقدار آن بین $0/6$ تا $0/9$ متغیر است که معمولاً $0/8$ در نظر گرفته می‌شود (علیزاده ۱۳۸۱).

چنانچه سرعت متوسط آب V و سطح مقطع جریان A باشد مقدار آبدی برابرست با:

$$Q = A \cdot V \quad \text{معادله (۳-۳)}$$

۳-۲-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نظیر سولفات، کربنات، بی‌کربنات، کلر، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در آزمایشگاه آبشناسی دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده از این اندازه‌گیری‌ها پارامترهایی نظیر میزان کل املاح جامد محلول، درصد خطای آزمایش، نسبت بین یون‌های مختلف، سختی کل، ضریب تغییرات و ضریب اشباع محاسبه گردید. برای این منظور از نرم‌افزار PHREEQC استفاده شده است. همچنین برای رسم نمودارهای پایپر، استیف، شولر و ویلکاکس نرم‌افزار AqQa مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت با توجه به موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری و مشخص شدن میزان یون‌های آن‌ها نقشه‌های کیفی ابتدا به صورت دستی و سپس به کمک نرم‌افزار ArcGIS10.3 ترسیم گردید.

۳-۴- تحلیل و بررسی داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه

جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه از داده‌های مربوط به سطح آب درون چاه‌های پیژومتری استفاده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه ۱۲ چاه پیژومتری وجود دارد که آمار و اطلاعات سطح آب در آن‌ها توسط امور آب شهرستان شاهرود به صورت ماهیانه جمع‌آوری می‌شود. از مهم‌ترین

ارزیابی‌های کمی که انجام می‌شود می‌توان به ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل به منظور بررسی جهت جریان عمومی آب زیرزمینی، و رسم هیدروگراف واحد به منظور بررسی ارتباط سطح آب زیرزمینی با بارندگی در منطقه اشاره کرد.

۳-۴-۱- تهیه نقشه هم‌پتانسیل آبخوان

نقشه هم‌پتانسیل به منظور تعیین جهت عمومی حرکت آب زیرزمینی و بررسی مناطق تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. برای بررسی و مقایسه تغییرات سطح آب در دراز مدت نقشه هم‌پتانسیل از منطقه در بهمن ماه ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ ترسیم گردید. این نقشه‌ها ابتدا به صورت دستی و سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 رسم شده‌اند.

۳-۴-۲- رسم هیدروگراف واحد دشت

برای رسم هیدروگراف واحد دشت از آمار آبی سال‌های ۹۰-۹۱ تا ۹۵-۹۶ در ۱۲ پیزومتر استفاده گردیده است. هیدروگراف واحد دشت نشان‌دهنده میانگین کل تغییرات دشت می‌باشد. برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی با میزان بارندگی، مقدار بارندگی نیز روی نمودار نمایش داده شده است.

۳-۵- تحلیل و بررسی داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه

تحلیل داده‌ها و رسم نقشه‌ها و نمودارهای مربوطه بخش مهمی در مطالعات هیدروژئوشیمیایی یک آبخوان است. این داده‌ها طی عملیات صحرائی با نمونه‌برداری از قنات‌ها و چاه‌های موجود در منطقه و همچنین از امور آب شهرستان شاهرود تهیه گردیده است. به منظور تحلیل داده‌ها مراحل زیر انجام گرفته است:

۳-۵-۱- محاسبه پارامترهای کیفی

الف - درصد خطای آزمایش

هنگام آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب مقادیر عناصر بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشند، در این صورت باید مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها برابر باشد. برای محاسبه درصد خطای آزمایش از معادله (۳-۴) استفاده می‌شود.

$$\%E = \frac{\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}}{(\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions})/2} \times 100 \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

اگر درصد خطا کمتر از ۵٪ باشد آزمایش به درستی انجام گرفته است، اگر بین ۱۰-۵٪ باشد نتایج قابل قبول و اگر بیشتر از ۱۰٪ باشد، آزمایش باید تکرار شود.

ب - سختی کل

سختی به صورت مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بر حسب کربنات کلسیم در واحد میلی‌گرم بر لیتر تعیین می‌شود. محاسبه سختی براساس معادله (۳-۶) صورت گرفته است.

$$H = 2.5[Ca^{2+}] + 4.1[Mg^{2+}] \quad \text{معادله (۳-۶)}$$

ج - نسبت جذب سدیم و درصد سدیم

وجود مقادیر بالای سدیم در آب باعث بروز مشکلاتی مانند کاهش نفوذپذیری و سخت شدن خاک می‌شود که به دلیل جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم به وسیله سدیم صورت می‌گیرد. نسبت جذب سدیم را با استفاده از معادله (۳-۷) و درصد سدیم را براساس معادله (۳-۸) محاسبه می‌گردد.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{معادله (۳-۷)}$$

$$\%Na = \frac{(Na+K)}{(Na+Mg+Na+K)} \times 100 \quad \text{معادله (۳-۸)}$$

د - شاخص اشباع

به منظور توصیف تکامل شیمیایی آب زیرزمینی برای کانی‌های مختلف شاخص‌های اشباع محاسبه می‌شود. به عبارتی دیگر جهت نشان دادن قابلیت انحلال کانی‌ها از شاخص اشباع استفاده می‌شود، که برای محاسبه آن از نرم‌افزار PHREEQC استفاده می‌گردد. بسته به مقدار یون‌های محلول، دما، TDS و pH شاخص اشباع شدگی کانی‌ها متغیر است.

۳-۵-۲- رسم نقشه‌ها و نمودارهای کیفی منطقه

نقشه‌های کیفی به منظور مقایسه سریع و آسان و نیز تفسیر دقیق تغییرات کیفیت آب در دشت فرومد رسم می‌شوند. همچنین جهت بررسی کیفیت آب زیرزمینی و تشخیص فرایندهای ژئوشیمیایی از نمودارهای کیفی استفاده می‌شود. در این مطالعه از نمودار پایپر جهت نمایش ترکیب شیمیایی و بررسی تکامل ژئوشیمیایی و نمودار استیف جهت ارزیابی تغییرات کیفی آب در یک مکان و یک دوره و تعیین تیپ آب استفاده شده است. از دیگر نمودارهای مورد استفاده می‌توان به نمودار ویلکاکس جهت طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی و نمودار نیمه لگاریتمی شولر جهت مقایسه نمونه‌های آنالیز آب اشاره کرد.

فصل چهارم: ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در دشت فرومد

روستای فرومد از توابع بخش میامی شهرستان شاهرود می‌باشد. در این روستا چندین رشته قنات و چاه وجود دارد که منبع اصلی تأمین آب جهت مصارف شرب و کشاورزی می‌باشد. به منظور بررسی خصوصیات کمی و کیفی این منطقه اطلاعات آماری از امور آب و اداره هواشناسی شهرستان شاهرود تهیه گردیده است. همچنین از آب چاه‌ها و قنات‌های این منطقه طی دو دوره نمونه‌برداری انجام گرفته است. در این فصل، ابتدا خصوصیات هیدروژئولوژیکی و سپس هیدروژئوشیمیایی به طور مفصل مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱- ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مطالعه آب‌های زیرزمینی بررسی کمی منابع آب زیرزمینی و تغییرات آن‌ها طی گذر زمان می‌باشد. این امر امکان بهره‌برداری پایدار و حفظ این منابع را فراهم می‌آورد. در این بخش با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل، هیدروگراف واحد دشت و تغییرات هیدروژئولوژیکی قنات‌ها سعی در بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی دشت فرومد شده است.

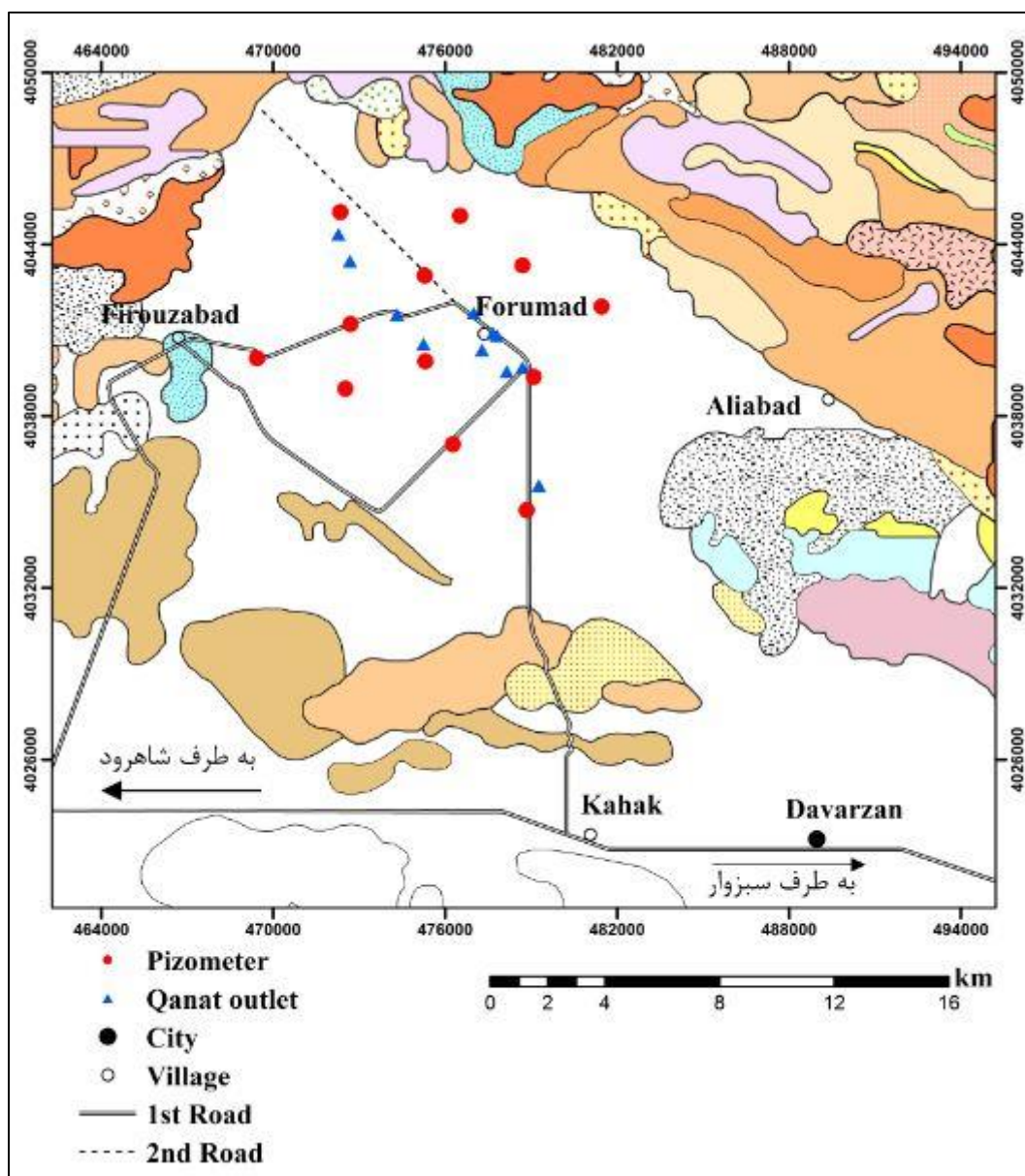
۴-۱-۱- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه

از کاربردهای مهم نقشه‌های هم‌پتانسیل می‌توان به شناسایی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، مناطق تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و بررسی تغییرات شیب هیدرولیکی آبخوان اشاره نمود. به منظور بررسی

تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در دشت فرومد از داده‌های سطح آب مربوط به ۱۲ پیزومتر طی یک دوره ۵ ساله استفاده گردیده است. مختصات این پیزومترها در جدول (۱-۴) و موقعیت آن‌ها در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.

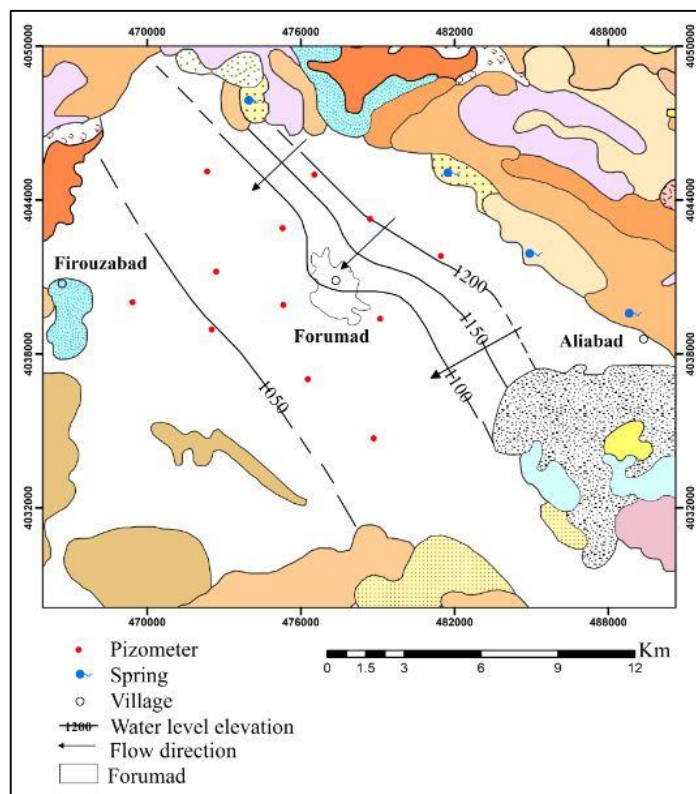
جدول ۱-۴- مختصات و ارتفاع سطح ایستابی در پیزومترهای دشت فرومد در بهمن ماه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ (متر)

ردیف	نام پیزومتر	UTMY	UTMX	تراز آب ۹۰/۱۱	تراز آب ۹۵/۱۱	افت ۵ ساله
۱	حسین آباد	۴۰۴۵۱۲۴	۴۷۲۳۴۸	۱۰۵۵/۸۲	۱۰۵۵/۰۰	۰/۸۲
۲	غرب سیدآباد	۴۰۴۱۲۱۴	۴۷۲۷۰۴	۱۰۵۶/۰۱	۱۰۵۵/۴۳	۰/۵۸
۳	شرق کلاته میرعلم	۴۰۴۰۰۲۲	۴۶۹۴۴۰	۱۰۴۲/۴۴	۱۰۴۲/۳۰	۰/۱۴
۴	مخزن فیروزآباد	۴۰۳۸۹۶۱	۴۷۲۵۲۴	۱۰۴۹/۲۵	۱۰۴۸/۸۵	۰/۴۰
۵	جنوب نصرتیه	۴۰۳۹۹۱۴	۴۷۵۳۱۹	۱۰۵۸/۲۷	۱۰۵۷/۵۲	۰/۷۵
۶	عیش آباد	۴۰۳۹۳۷۳	۴۷۹۰۹۹	۱۰۵۹/۸۵	۱۰۵۹/۲۱	۰/۶۴
۷	جاده کاهک	۴۰۳۴۷۱۷	۴۷۸۸۵۱	۱۰۵۹/۰۹	۱۰۵۸/۶۵	۰/۴۴
۸	شن چال	۴۰۳۷۰۱۶	۴۷۶۲۷۹	۱۰۵۷/۰۸	۱۰۵۶/۶۲	۰/۴۶
۹	سیدآباد	۴۰۴۲۹۰۸	۴۷۵۲۹۷	۱۰۵۸/۲۸	۱۰۵۸/۰۰	۰/۲۸
۱۰	قنات بازار	۴۰۴۳۲۶۴	۴۷۸۷۱۱	۱۲۰۰/۶۸	۱۱۹۹/۰۰	۱/۶۸
۱۱	کلاته عبدل	۴۰۴۱۸۲۳	۴۸۱۴۶۹	۱۲۰۳/۷۴	۱۲۰۲/۹۳	۰/۸۱
۱۲	کلاته صالح	۴۰۴۴۹۹۳	۴۷۶۵۳۱	۱۱۹۷/۴۳	۱۱۹۶/۹۷	۰/۴۶

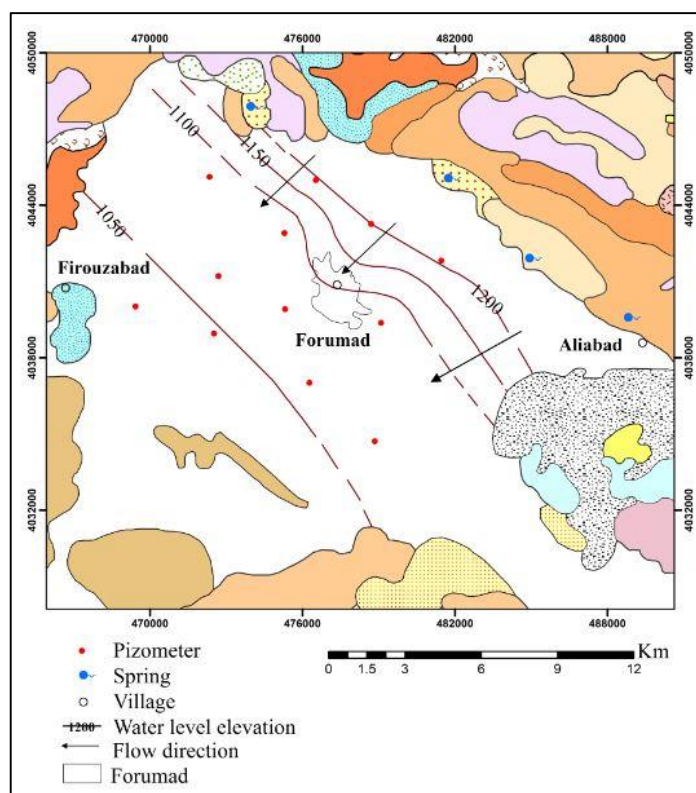


شکل ۴-۱. موقعیت پیزومترها و مظهر قنات‌ها در دشت فرومد

جهت بررسی وضعیت آبخوان طی گذر زمان نقشه هم‌پتانسیل مربوط به دو دوره (بهمن ماه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵) رسم شده است. شکل‌های (۲-۴) و (۳-۴) به ترتیب نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت فرومد را در بهمن ماه سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. با مقایسه نقشه‌های مربوط به دو دوره تغییرات مشخصی در آن‌ها دیده نمی‌شود و رفتار تقریباً یکسانی دارند. دلیل این موضوع از این قرار است که قنات‌ها تخلیه عمده دشت را بر عهده دارند.



شکل ۴-۲- نقشه هم‌پتانسیل دشت فرومد در بهمن ۱۳۹۰



شکل ۴-۳- نقشه هم‌پتانسیل دشت فرومد در بهمن ۱۳۹۵

بر اساس این نقشه‌ها بالاترین تراز سطح آب زیرزمینی مربوط به نواحی شمال، شمال شرق و شرق است و به سمت غرب و جنوب غرب از تراز آب کاسته شده است. روند عمومی جریان آب زیرزمینی نیز شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد که هم جهت با جریان‌های سطحی است. بخش عمده تغذیه قسمت‌های شمالی دشت از چشمه‌های دامنه ارتفاعات (به ویژه چشمه آهکی منیدر) و بستر دانه درشت رودخانه‌ها صورت می‌گیرد. همچنین چشمه‌های گسلی پهنستان، کلاته سلطان‌آباد و کلاته قلیچ سهم مؤثری در تغذیه قسمت‌های شرقی و شمال شرق دشت دارند. کاهش تراز آب زیرزمینی در بخش غربی نشان‌دهنده منطبق بودن منطقه تخلیه بر این بخش می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌شود گرادیان هیدرولیکی در مناطق مختلف دشت یکسان نیست. به این ترتیب که بالاترین مقدار گرادیان حدود ۰/۰۸ در محدوده شمال دشت و کمترین مقدار برابر با ۰/۰۱۶ در محدوده شمال غرب دشت می‌باشد. این تغییر گرادیان را می‌توان با استناد به قانون دارسی توجیه کرد. فرمول دارسی به صورت زیر است:

$$Q = KiA \quad \text{معادله (۱-۴)}$$

که در آن Q آبدی، K هدایت هیدرولیکی، i گرادیان هیدرولیکی و A سطح مقطع عبوری جریان می‌باشد. طبق این معادله عوامل مؤثر بر گرادیان هیدرولیکی شامل دبی، هدایت هیدرولیکی و سطح مقطع عبوری جریان است. با توجه به اینکه بخش عمده این دشت را آبرفت تقریباً یکنواخت تشکیل می‌دهد، مقدار هدایت هیدرولیکی و سطح مقطع عبوری جریان ثابت است. بنابراین علت کم شدن گرادیان هیدرولیکی در قسمت شمال غربی دشت، کم شدن آبدی می‌باشد که این کم شدن آبدی در اثر تخلیه قنات‌ها و برداشت از چاه قنات‌ها ایجاد شده است. علاوه بر این، ملاحظه می‌شود که در خطوط هم‌پتانسیل یک انحراف به سمت ترازهای پایین‌تر در محدوده روستای فرومد ایجاد شده است. دلیل این مطلب تغذیه قابل توجه در این محدوده می‌باشد. تغذیه فوق‌الذکر با موقعیت مکانی روستا همخوانی خوبی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که فاضلاب‌های خانگی این روستای بزرگ در این محدوده توسط چاه‌های جذبی به آبخوان ملحق می‌شوند و در نتیجه تغذیه آبخوان، باعث ایجاد انحراف فوق‌الذکر می‌گردد.

۴-۱-۲- هیدروگراف معرف آبخوان

تغییرات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلف می‌باشد. رایج‌ترین روش برای ارزیابی این تغییرات، استفاده از هیدروگراف واحد می‌باشد. هیدروگراف واحد دشت، یک میانگین وزنی از سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت است. استفاده از هیدروگراف مناسب‌ترین روش جهت بررسی تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی می‌باشد. از آنجایی که بارندگی یکی از دلایل تغییر سطح ایستابی محسوب می‌شود، با ترسیم بارندگی بر روی این هیدروگراف چگونگی پاسخ آبخوان به بارندگی نیز مشخص می‌شود. برای تهیه هیدروگراف واحد دشت طی سال‌های آبی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ از میانگین وزنی سطح آب زیرزمینی در دی ماه هر سال استفاده شده است. برای این منظور سطح دشت بر اساس پیزومترهای موجود در آن تیسن‌بندی شده (شکل ۴-۴) و در نهایت سطح آب منطقه با استفاده از معادله (۴-۲) در زمان‌های مختلف به دست آمده است.

$$H_1 = \frac{A_1 h_1}{A} + \frac{A_2 h_2}{A} + \dots \quad \text{معادله (۴-۲)}$$

H_1 : سطح متوسط آب در زمان t_1

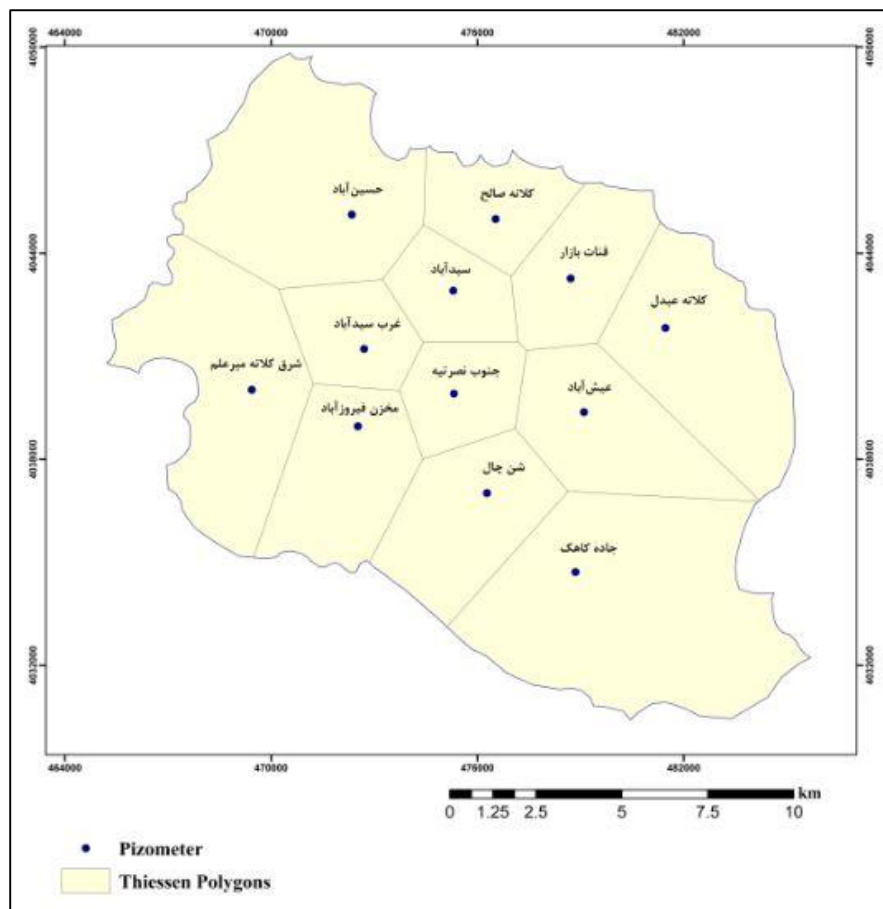
h : تراز آب در چاه در زمان t_2

A_i : مساحت پلیگون مربوط به هر چاه

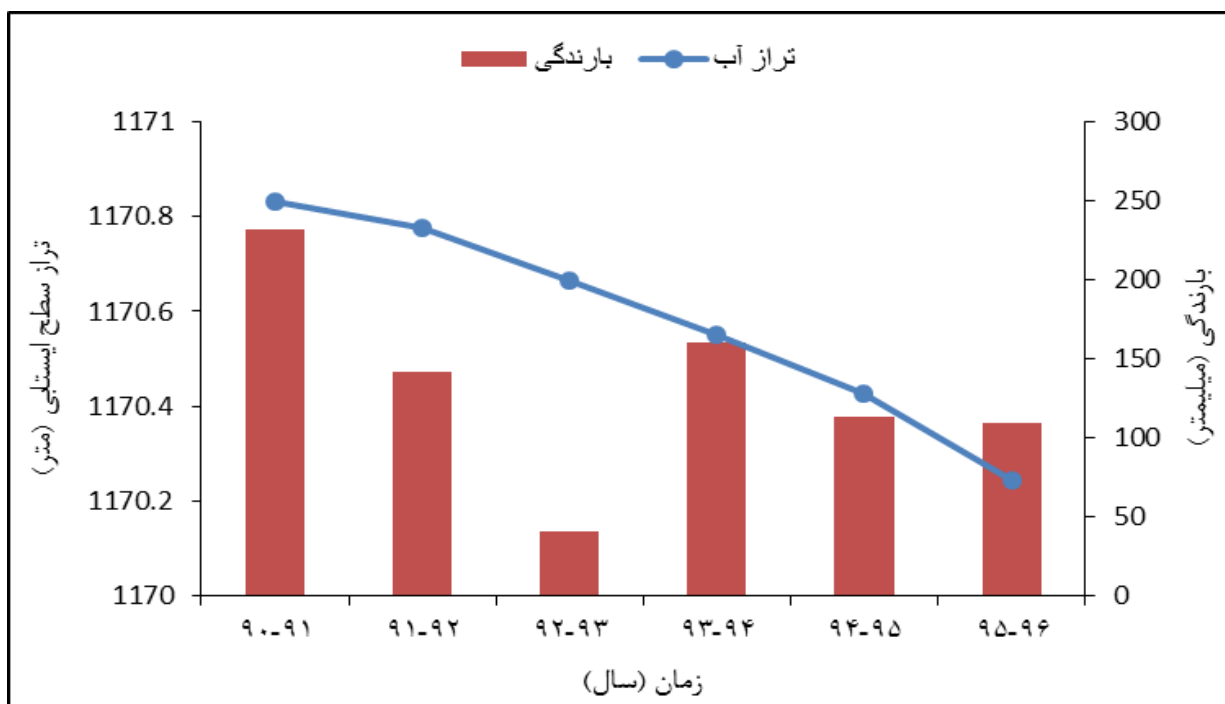
A : مساحت کل پلیگون‌ها

به دلیل کامل نبودن آمار بارندگی سالیانه در ایستگاه فرومد، برای رسم این هیدروگراف از داده‌های بارندگی ایستگاه مجاور آن (مزینان) استفاده شده است. با توجه به هیدروگراف واحد این دشت، مشاهده می‌شود تغییرات سطح ایستابی روندی نزولی داشته، به گونه‌ای که سطح آب‌های زیرزمینی در مدت ۵ سال حدود ۰/۴۲ متر افت پیدا کرده است. دلیل اصلی این افت نسبتاً کم، تخلیه دشت توسط قنات‌ها می‌باشد. جهت نشان دادن اثر بارندگی بر میزان افزایش یا کاهش افت، نمودار بارندگی در برابر افت رسم شده است (شکل ۴-۶). همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تمامی سال‌ها به غیر از سال آبی ۹۰-۹۱ هر چه مقدار بارندگی بیشتر بوده، افت کاهش پیدا کرده است. کمترین میزان بارندگی در سال آبی

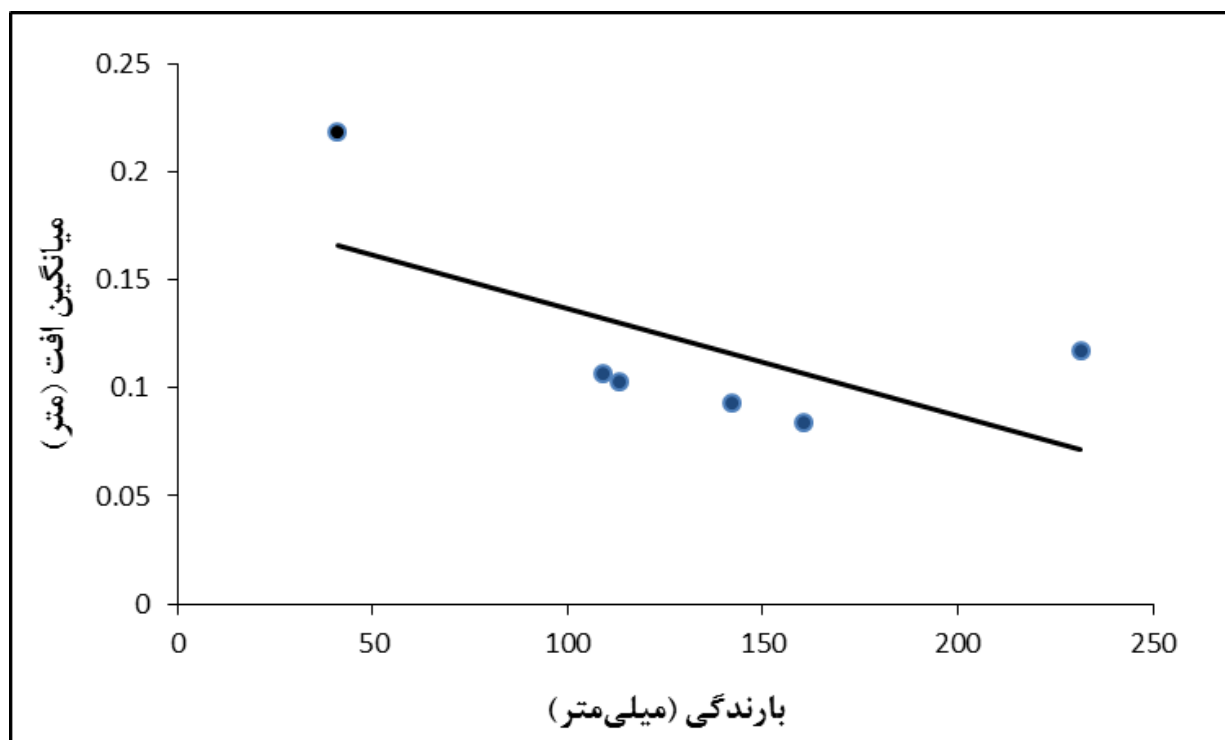
۹۲-۹۳ وجود داشته که بیشترین میزان افت را نشان می‌دهد. در سال آبی ۹۰-۹۱ با اینکه بارندگی در مقایسه با سایر سال‌ها بیشتر می‌باشد، افت سطح آب‌های زیرزمینی نیز بیشتر می‌باشد. دلایل مختلفی را می‌توان برای این موضوع ذکر نمود. دلیل اول اینکه احتمالاً عمده بارندگی زمانی صورت گرفته که تأثیری بر آبخوان نداشته است. به این ترتیب که تلفات بارندگی در اثر تبخیر و احتمالاً سیلاب نسبت به سال‌های دیگر بیشتر بوده است. دلیل دوم را بر اساس بررسی‌های انجام شده می‌توان اینگونه ذکر نمود، بیشترین میزان افت در سال‌های آبی ۹۰-۹۱ در پیزومترهای جنوب نصرتیه، حسین‌آباد، سیدآباد، کلاته عبدل، بازار و کلاته صالح می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۷) این پیزومترها در نزدیکی ارتفاعات (مرز ورودی آبخوان) قرار دارند و بیشترین چاه قنات‌ها اطراف این پیزومترها موجود می‌باشند. برداشت بیش از حد از این چاه قنات‌ها باعث شده با وجود بارندگی زیاد میزان افت نیز زیاد باشد.



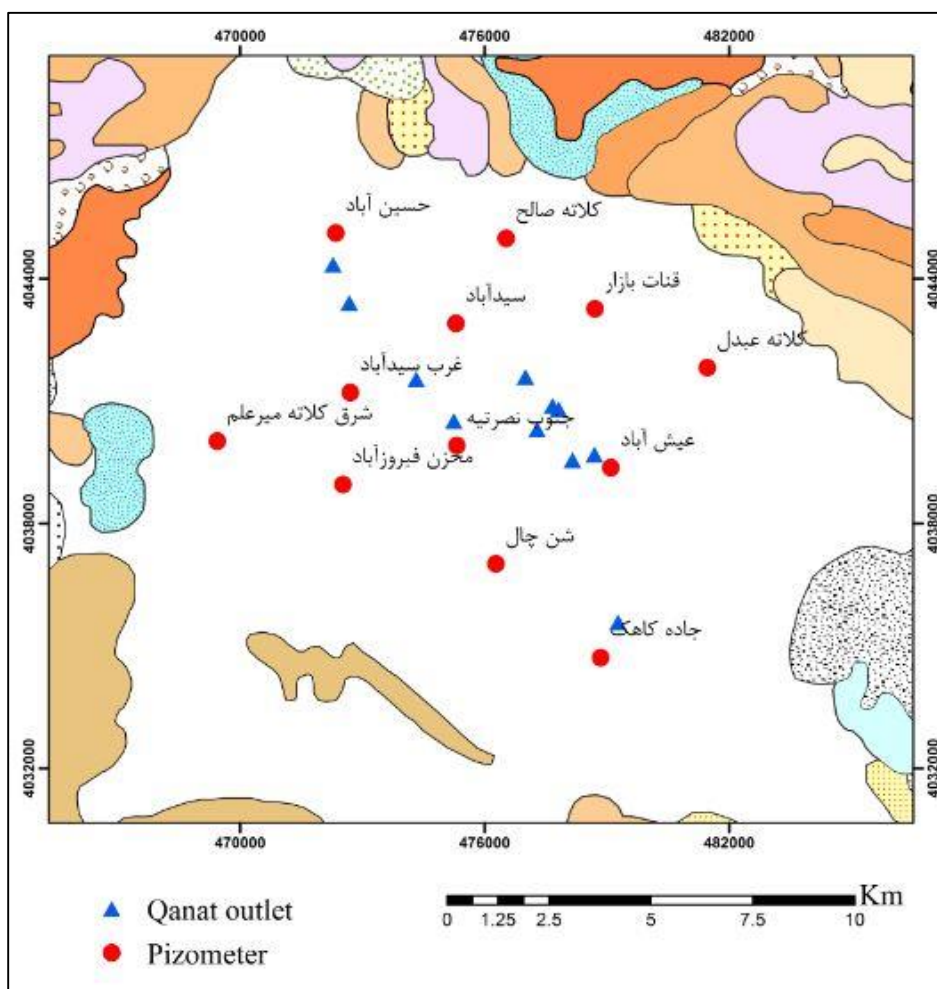
شکل ۴-۴- نقشه تیسین‌بندی دشت فرومد



شکل ۴-۵. هیدروگراف واحد آبخوان دشت فرومد



شکل ۴-۶. رابطه بین بارندگی و افت در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۷- موقعیت پیزومترها و قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه

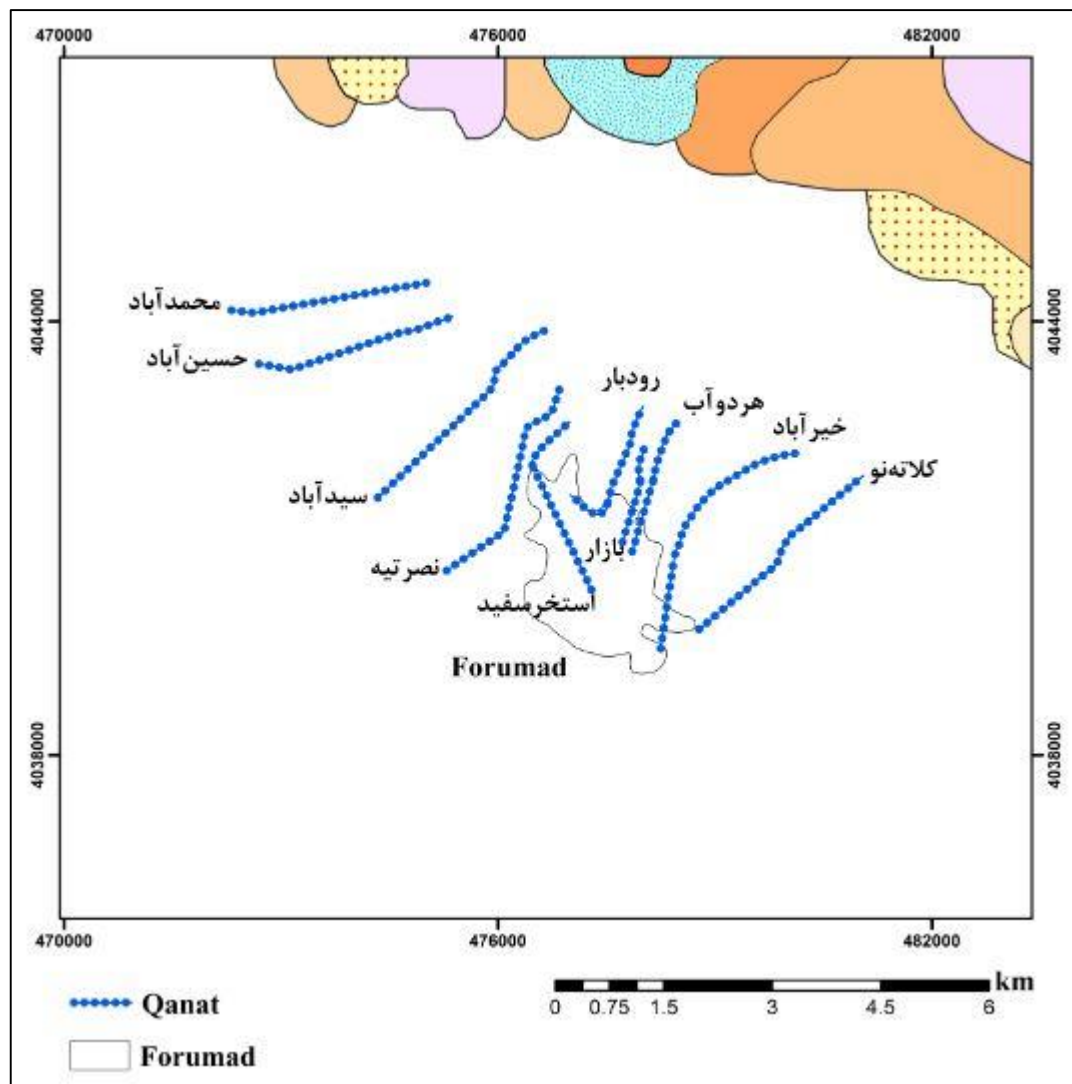
۴-۱-۳- ارزیابی هیدروژئولوژیکی قنات‌های منطقه مورد مطالعه

با توجه به وجود تعداد زیاد قنات‌ها در دشت فرومد، در این تحقیق سعی شده خصوصیات هیدروژئولوژیکی این قنات‌ها بررسی شود. مسیر این قنات‌ها بر روی نقشه پایه رسم شده و در شکل (۴-۸) نشان داده شده است. به منظور بررسی این خصوصیات، آبدهی قنات‌ها در یک سال از اردیبهشت ماه (فصل تر) تا آبان ماه (فصل خشک) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴-۱-۳-۱- عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه

یکی از عواملی که باعث اهمیت قنات می‌شود میزان آبدهی آن می‌باشد. در سال‌های اخیر عوامل بسیاری

باعث کاهش آبدهی قنات‌ها شده است که دو عامل خشکسالی و افت سطح آب ناشی از برداشت بیش از حد را می‌توان از جمله عوامل اصلی دانست. به طور کلی آبدهی به عوامل مختلفی مربوط می‌شود که مقدار آن در قنات‌های مختلف متفاوت است. عوامل بسیاری بر میزان آبدهی قنات‌ها اثر می‌گذارد که از جمله آن می‌توان طول قنات، نوع رسوبات منطقه تره‌کار، راستای کوره قنات نسبت به جریان آب زیرزمینی، ضخامت اشباع آبخوان، تراوایی قنات در قسمت خشکه‌کار و شیب کوره قنات را نام برد. با توجه به وجود تعداد زیاد قنات‌ها در دشت فرومد در این قسمت به بررسی اثر بعضی از این موارد بر میزان آبدهی این قنات‌ها پرداخته شده است.



شکل ۴-۸. مسیر قنات‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پایه

طول قنات

اثر طول قنات بر میزان آبدهی به شیب زمین و عمق مادرچاه بستگی دارد (بهنیا ۱۳۷۹). افزایش طول در بخش تره‌کار باعث می‌شود آب در طول شیب کوره به آرامی حرکت کند و تا رسیدن به مظهر حجم آن افزایش یابد (Salih 2006). اثر این عامل بر میزان آبدهی قنات‌های دشت فرومد به خوبی دیده می‌شود به گونه‌ای که قنات‌های هردوآب، سیدآباد و نصرتیه به ترتیب با طول ۳۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۲۴۰۰ متر دارای میانگین آبدهی ۲۲/۸، ۱۶/۴ و ۱۱/۷ لیتر در ثانیه می‌باشند. بنابراین به طور کلی می‌توان گفت بین آبدهی قنات با طول آن رابطه مستقیم وجود دارد به طوری که با افزایش طول قنات آبدهی آن نیز افزایش می‌یابد.

اثر نفوذپذیری رسوبات در محل قنات

تأثیر تراوایی یا نفوذپذیری بر میزان آبدهی قنات در بخش‌های مختلف آن متفاوت است به گونه‌ای که افزایش تراوایی در بخش تره‌کار باعث افزایش آبدهی قنات و در قسمت خشکه‌کار باعث هدر رفتن آب و کاهش آبدهی می‌شود (منزوی ۱۳۶۰). نفوذناپذیر بودن یا نفوذپذیری کم رسوبات در بخش تره‌کار باعث می‌شود تغذیه قنات‌ها به خوبی انجام نگیرد و در نتیجه میزان آبدهی آن‌ها کم شود. بخش تره‌کار قنات‌های کلاته‌نو و رودبار در روستای فرومد در رسوبات کنگلومرایی قرار دارد که تخلخل و نفوذپذیری بالایی دارند و همین امر موجب آبدهی بالا در این قنات‌ها شده است. به گونه‌ای که قنات رودبار با میانگین آبدهی ۱۹/۶ لیتر بر ثانیه دومین قنات پر آب در این منطقه به شمار می‌رود. البته طول زیاد این قنات‌ها نیز در میزان آبدهی آن بی‌تأثیر نبوده است.

ضخامت اشباع آبخوان

در مناطقی که آب و هوای خشک و نیمه‌خشک وجود دارد میزان بارندگی سالانه کم است. قنات‌های حفر شده در مناطق کم باران که عمق سطح ایستابی زیاد است دارای طول زیاد می‌باشند و با نام

قنات‌های دشتی خوانده می‌شوند. با توجه به ضخامت اشباع آبخوان یا به عبارتی وضعیت لایه آبدار، این قنات‌ها به شش گروه تقسیم می‌شوند (بهنیا ۱۳۷۹). این تقسیم‌بندی شامل قنات‌های با لایه آبدار کم ضخامت، قنات‌های با لایه آبدار پر ضخامت، قنات‌های با چند لایه آبدار، قنات‌های با لایه آبدار عمیق و قنات‌های حاشیه کویر می‌باشد. قنات‌های دشت فرومد از جمله قنات‌های با لایه آبدار کم ضخامت هستند. تأثیر این عامل بر آبدهی قنات‌های موجود در این دشت به خوبی در قنات‌های محمدآباد و حسین‌آباد دیده می‌شود. ضخامت کم لایه آبدار یا همان ضخامت اشباع کم آبخوان در این قنات‌ها باعث می‌شود آبدهی آن‌ها در طول سال کم و تقریباً ثابت باشد. از طرفی حفر چاه‌های بهره‌برداری اطراف این قنات‌ها باعث پایین افتادن سطح ایستابی اطراف آن‌ها شده و در نتیجه برخلاف طول زیاد دارای آبدهی کمی می‌باشند.

۴-۱-۳-۲- تغییرات زمانی آبدهی در قنات‌های منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه قنات یک سیستم حساس به نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌باشد، با داشتن مقدار و نوسانات آبدهی می‌توان وضعیت سفره آبی منطقه را مشخص کرد. به منظور بررسی وضعیت آبدهی قنات‌ها، آبدهی ۱۰ رشته از قنات‌ها از اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ (فصل تر) تا آبان ماه ۱۳۹۶ (فصل خشک) اندازه‌گیری شده است. مقدار میانگین آبدهی ($\bar{X}$)، انحراف معیار (σ) و ضریب تغییرات (C_v) برای هر کدام از قنات‌ها با استفاده از معادلات (۳-۴) تا (۵-۴) محاسبه گردیده و در جدول (۲-۴) آورده شده است.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{معادله (۴-۴)}$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad \text{معادله (۵-۴)}$$

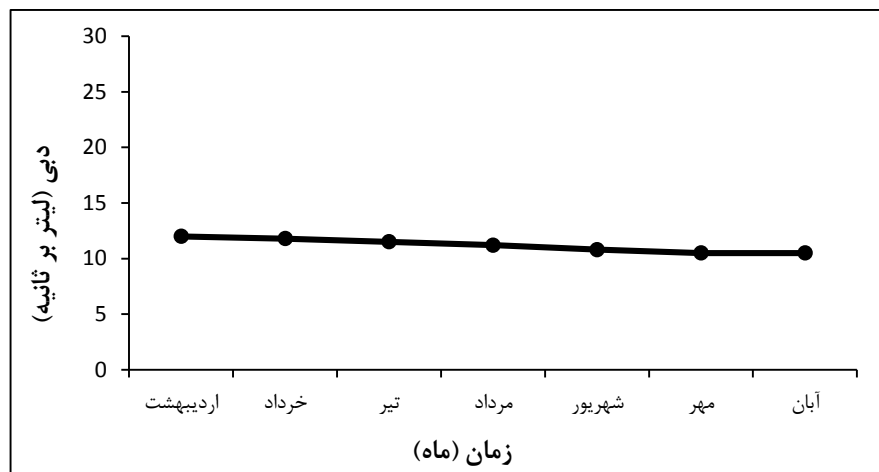
$\bar{X}$ در این معادلات میانگین داده‌ها می‌باشد، همچنین X_i بیانگر داده‌ها و N تعداد داده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲- دبی قنات‌های منطقه مورد مطالعه از فصل تر تا خشک

پارامترهای آماری			زمان							نام قنات
میانگین	حداکثر	حداقل	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	
۵/۳	۰/۶	۱۱/۲	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۸	۱۱/۲	۱۱/۵	۱۱/۸	۱۲/۰	کلاته‌نو
۱/۷	۰/۲	۱۱/۷	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۱/۷	۱۱/۷	۱۱/۸	۱۲/۰	۱۲/۰	خیرآباد - شهرستان
۷/۹	۱/۸	۲۲/۸	۲۰/۰	۲۱/۰	۲۲/۲	۲۳/۲	۲۳/۹	۲۴/۵	۲۵/۰	هردوآب
۲/۳	۰/۲	۸/۷	۸/۵	۸/۵	۸/۶	۸/۷	۹/۰	۹/۰	۹/۰	بازار
۱۰/۶	۰/۷	۶/۶	۷/۵	۷/۵	۷/۰	۶/۵	۶/۰	۶/۰	۶/۰	استخرسفید
۲/۰	۰/۴	۱۹/۶	۱۹/۲	۱۹/۲	۱۹/۳	۱۹/۵	۱۹/۸	۲۰/۰	۲۰/۰	رودبار
۱/۷	۰/۲	۱۱/۷	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۱/۶	۱۱/۷	۱۲/۰	۱۲/۰	۱۲/۰	نصرتیه
۲/۴	۰/۴	۱۶/۴	۱۶/۰	۱۶/۰	۱۶/۳	۱۶/۳	۱۶/۷	۱۶/۹	۱۷/۰	سیدآباد
۵/۳	۰/۲	۳/۸	۳/۵	۳/۵	۳/۷	۳/۹	۴/۰	۴/۰	۴/۰	حسین‌آباد
۷/۹	۰/۳	۳/۸	۴/۲	۴/۲	۴/۰	۳/۸	۳/۷	۳/۵	۳/۵	محمدآباد

قنات کلاته‌نو

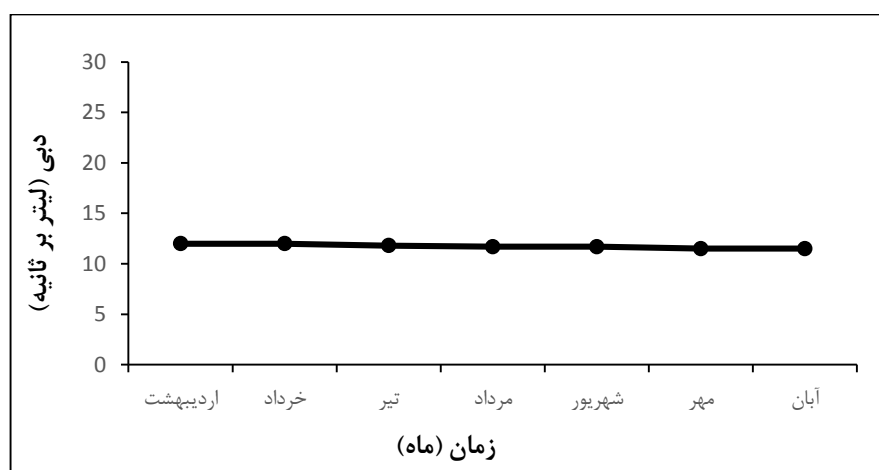
قنات کلاته‌نو یک چاه قنات است. زمانی که یک قنات خشک می‌شود با مجوز امور آب در مظهر آن قنات چاه حفر می‌گردد، در این صورت برای آن اصطلاح چاه قنات به کار برده می‌شود. میانگین آبدهی این قنات بر اساس جدول (۴-۲) ۱۱/۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد. طول این قنات ۳۰۰۰ متر و عمق مادر چاه آن ۹۶ متر می‌باشد که در آبرفت حفر شده است. بر اساس شکل (۴-۹) دبی در این قنات دارای روند نزولی با نوسانات بسیار ناچیز است که به دلیل برداشت جهت مصارف کشاورزی می‌باشد.



شکل ۹-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات کلاته‌نو از فصل تر تا خشک

قنات خیرآباد - شهرستان

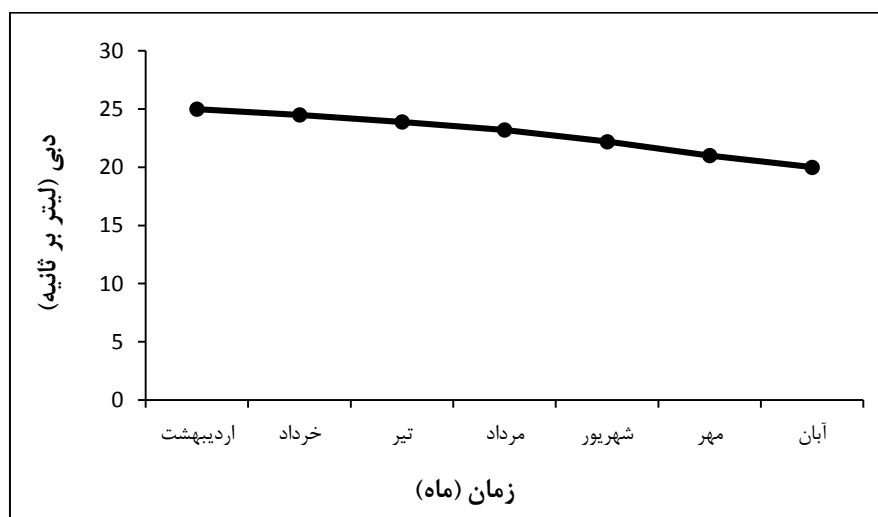
قنات خیرآباد - شهرستان یکی دیگر از چاه قنات‌های موجود در دشت فرومد می‌باشد که در نزدیکی کلاته‌نو قرار دارد. طول این قنات ۲۰۰۰ متر و عمق مادر چاه آن ۷۱ متر می‌باشد. این قنات با وجود طول کمتر نسبت به کلاته‌نو دارای آبدهی بیشتری است زیرا ترکیب آب دو قنات می‌باشد. طبق جدول (۲-۴) میانگین آبدهی این قنات ۱۱/۷ لیتر بر ثانیه است. همان‌گونه که پیداست ضریب تغییرات این قنات بسیار پایین است که به دلیل نوسانات پایین دبی می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۴-۱۰) ملاحظه می‌شود دبی در این قنات نیز به طور ناچیز روند نزولی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰- تغییرات زمانی دبی در قنات خیرآباد - شهرستان از فصل تر تا خشک

قنات هردوآب

قنات هردوآب با میانگین آبدهی ۲۲/۸ لیتر بر ثانیه بیشترین آبدهی را در بین قنات‌های منطقه دارد. از آنجایی که آب این قنات ترکیب آب دو قنات است و مادر چاه آن نزدیک یکی از آبراهه‌های اصلی دشت قرار گرفته است زیاد بودن آبدهی آن طبیعی می‌باشد. از طرفی به دلیل دانه درشت بودن این آبخوان و پمپاژی که از آن صورت می‌گیرد چنین دبی انتظار می‌رود. شکل (۴-۱۱) نشان می‌دهد تغییرات دبی در این قنات روند نزولی داشته و از ۲۵ لیتر بر ثانیه در اردیبهشت ماه به ۲۰ لیتر بر ثانیه در آبان ماه کاهش یافته است.

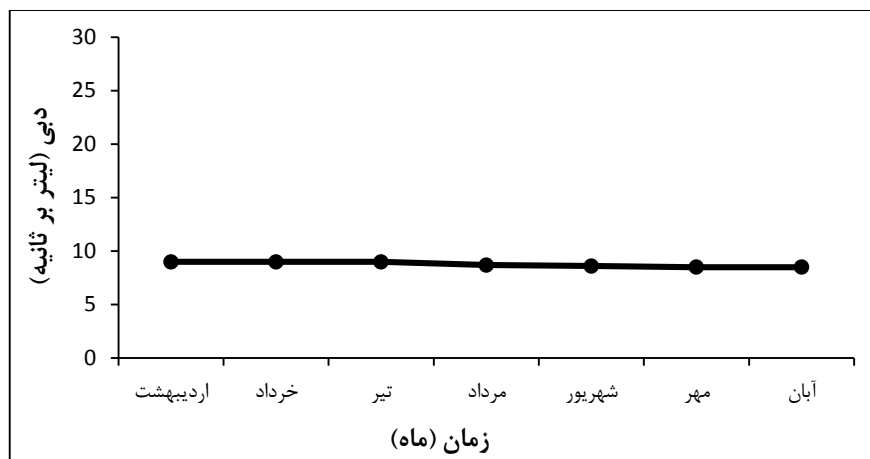


شکل ۴-۱۱- تغییرات زمانی دبی در قنات هردوآب از فصل تر تا خشک

قنات بازار

قنات بازار در نزدیکی قنات هر دو آب و در مرکز روستا قرار دارد طول این قنات حدود ۱۵۰۰ متر است. میانگین آبدهی در این قنات ۸/۷ لیتر بر ثانیه است و ضریب تغییرات آن نیز کم می‌باشد (جدول ۴-۲). قنات بازار یکی از قنات‌هایی است که آب آن به داخل قنات هردوآب می‌ریزد و با توجه به طول کمتری که نسبت به قنات هردوآب دارد، آبدهی کمتر آن قابل توجه است. دبی در این قنات نیز روند نزولی

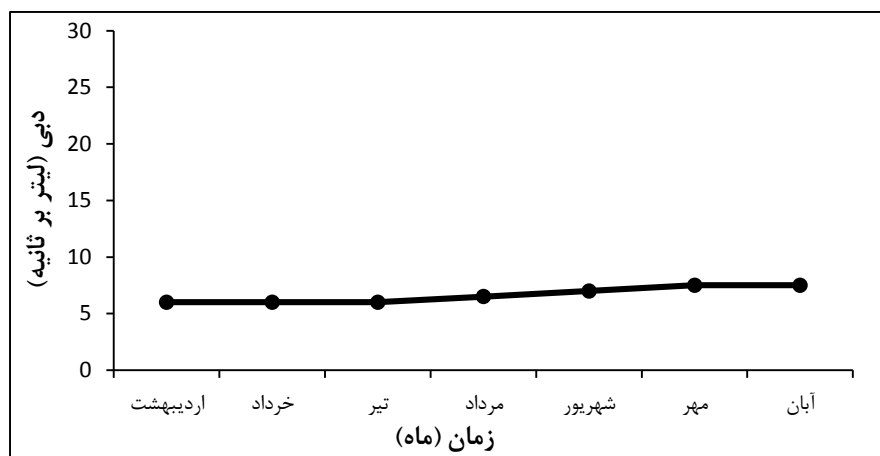
دارد (شکل ۴-۱۲)، اما کاهش دبی اندک است به گونه‌ای که در مجموع ۰/۵ لیتر بر ثانیه در هفت ماه کاهش داشته است.



شکل ۴-۱۲- تغییرات زمانی دبی در قنات بازار از فصل تر تا خشک

قنات استخرسفید

قنات استخرسفید از جمله قنات‌هایی است که در مظهر آن هنوز چاه حفر نگردیده است. این قنات دارای طول ۱۲۰۰ متر، عمق مادرچاه ۵۰ متر و میانگین آبدهی ۶/۶ لیتر بر ثانیه می‌باشد (مراجعه به جدول ۴-۲). به طور کلی فقط دو قنات در این دشت روند افزایشی دبی در آن‌ها ملاحظه می‌شود که قنات استخر سفید یکی از آن‌ها می‌باشد (شکل ۴-۱۳). دلیل این موضوع از این قرار است که نتایج هیدروژئوشیمیایی نشان‌دهنده نامناسب بودن آب این قنات جهت مصارف کشاورزی به دلیل هدایت الکتریکی بالا می‌باشد. از طرفی این قنات در ارتفاع کمتری نسبت به سایر قنات‌ها قرار گرفته است. بنابراین، به جهت شیبی که ایجاد می‌شود آب‌های برگشتی زمین‌های کشاورزی مجاور و تا اندازه‌ای فاضلاب‌های خانگی از طریق چاه‌های جذبی به داخل این قنات تخلیه می‌شوند. این عوامل موجب افزایش دبی در این قنات می‌گردد که ضریب تغییرات نسبتاً بالا در این قنات نیز نشان‌دهنده تأثیرپذیری آن نسبت به نوسانات دبی می‌باشد.



شکل ۴-۱۳- تغییرات زمانی دبی در قنات استخرسفید از فصل تر تا خشک

قنات رودبار

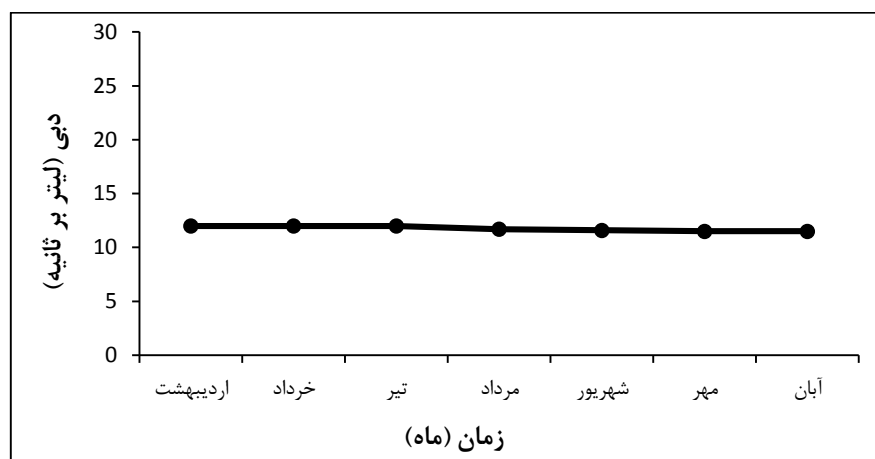
قنات رودبار یکی از پرآب‌ترین قنات‌ها در روستای فرومد است که میانگین آبدهی آن ۱۹/۶ لیتر بر ثانیه می‌باشد (مراجعه به جدول ۴-۲). بخشی از آب این قنات از چشمه منیدر که در ارتفاعات منیدر قرار گرفته تأمین می‌شود. از طرفی مادر چاه این قنات در منطقه دهنه (پایین دست سد خاکی شیخ حسن جوری) قرار گرفته، که باعث دبی بالای این قنات شده است. شکل (۴-۱۴) نشان می‌دهد دبی در این قنات همانند اکثریت قنات‌های منطقه تا اندازه‌ای روند نزولی داشته که به دلیل زهکشی طبیعی می‌باشد. ضریب تغییرات این قنات برابر با ۲ درصد است که در مقایسه با سایر قنات‌های منطقه به طور نسبی کمتر می‌باشد.



شکل ۴-۱۴- تغییرات زمانی دبی در قنات رودبار از فصل تر تا خشک

قنات نصرتیه

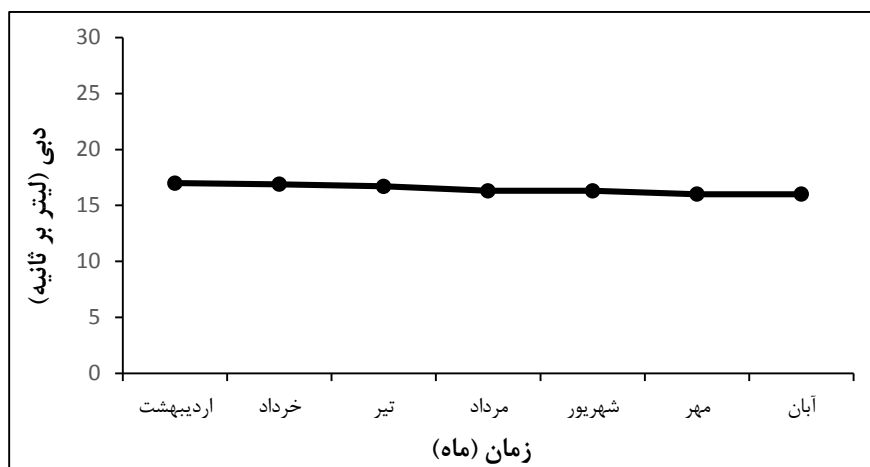
قنات نصرتیه همانند استخر سفید در مظهر آن چاه حفر نشده و دارای طول ۲۴۰۰ متر، عمق مادر چاه ۵۶ متر و میانگین آبدهی ۱۱/۷ لیتر بر ثانیه می‌باشد (جدول ۴-۲). دبی در این قنات به مقدار ناچیز روند نزولی دارد (شکل ۴-۱۵)، در اردیبهشت ماه حداکثر دبی و در مهرماه حداقل آن مشاهده می‌شود. عمده آب این قنات جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب تغییرات در این قنات همانند قنات خیرآباد - شهرستان کمتر از سایر قنات‌ها می‌باشد. دلیل آن طول زیاد قنات است که باعث شده واکنش نسبت به بارش به کندی صورت گیرد و در نتیجه نوسانات ناچیز در دبی ایجاد شود.



شکل ۴-۱۵- تغییرات زمانی دبی در قنات نصرتیه از فصل تر تا خشک

قنات سیدآباد

قنات سیدآباد دومین قنات پر آب در روستای فرومد می‌باشد که آبدهی آن از طریق پمپاژ صورت نمی‌گیرد. این قنات دارای میانگین آبدهی ۱۶/۴، طول تقریبی ۲۵۰۰ متر و عمق مادر چاه ۷۴ متر می‌باشد که دلیل میزان آبدهی بالا در این قنات طول زیاد آن می‌باشد. از طرفی مساحت حوضه آبریز بالادست این قنات نسبت به سایر قنات‌ها بیش‌تر است که باعث شده حجم تغذیه سالانه آن نیز بیشتر باشد و آبدهی آن هم بیشتر شود. شکل (۴-۱۶) نشان می‌دهد دبی در این قنات روند نزولی داشته و نوسانات آن کم است.



شکل ۱۶-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات سیدآباد از فصل تر تا خشک

قنات حسین آباد

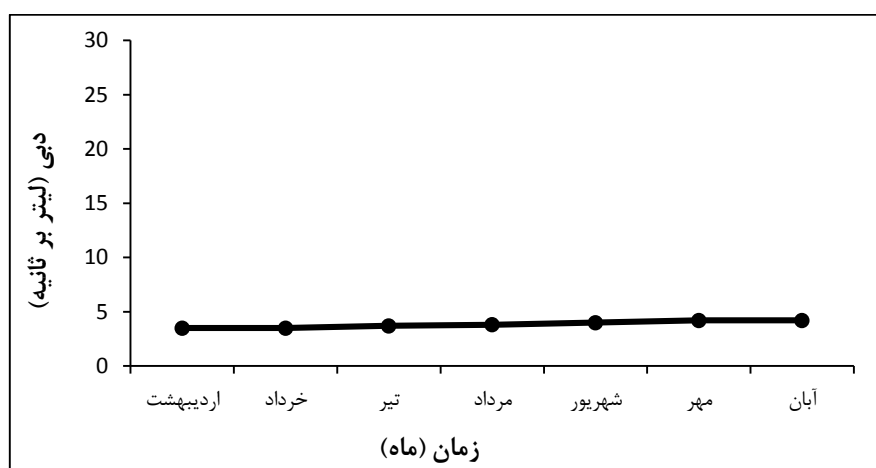
قنات حسین آباد یکی از قنات‌های نسبتاً کم آب در روستای فرومد می‌باشد. این قنات برخلاف طول نسبتاً زیاد (حدود ۳۲۰۰ متر) دارای میانگین آبدهی $\frac{3}{8}$ لیتر بر ثانیه است (جدول ۲-۴). عمق مادر چاه این قنات نیز ۷۰ متر است. حفر چاه‌های بهره‌برداری اطراف این قنات بر روی آبدهی آن اثر گذاشته و یکی از دلایل مهم کم بودن میزان آبدهی در این قنات شده است. شکل (۴-۱۷) روند نزولی ناچیز دبی در این قنات را نشان می‌دهد. همان گونه که پیداست همانند اکثریت قنات‌ها نوسانات دبی در قنات حسین آباد نیز کم می‌باشد.



شکل ۱۷-۴- تغییرات زمانی دبی در قنات حسین آباد از فصل تر تا خشک

قنات محمدآباد

قنات محمدآباد در نزدیکی قنات حسین آباد قرار دارد. طول این قنات تقریباً برابر با طول قنات حسین آباد است و میانگین آبدهی آن همانند قنات حسین آباد $\frac{3}{8}$ لیتر بر ثانیه می باشد (جدول ۴-۲). با توجه به شکل (۴-۱۸) دبی در این قنات روند صعودی بسیار ناچیز دارد. دلیل این موضوع را این گونه می توان بیان نمود که زمان رسیدن دبی اوج هیدروگراف (حداکثر اثر گذاری تغذیه مؤثر در قنات) به عواملی از قبیل وسعت حوضه آبرگیر و حداکثر هدایت هیدرولیکی مواد تشکیل دهنده آبخوان بستگی دارد.



شکل ۴-۱۸- تغییرات زمانی دبی در قنات محمدآباد از فصل تر تا خشک

۴-۲- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منطقه

بررسی کیفیت آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن حائز اهمیت می باشد. به طور کلی کیفیت منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل طبیعی نظیر سازندهای زمین شناسی و نفوذ آب شور و فعالیت های انسانی نظیر کشاورزی، توسعه شهری و صنعت، تخلیه فاضلاب ها و برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی می باشد. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در دشت فرومد تعداد ۱۲ نمونه از قنات ها و چاه های موجود برداشت شده و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته است. با توجه به نتایج

حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب و سایر پارامترهای تعیین کننده، نمودار و نقشه‌های کیفی ترسیم شد و مورد ارزیابی قرار گرفت.

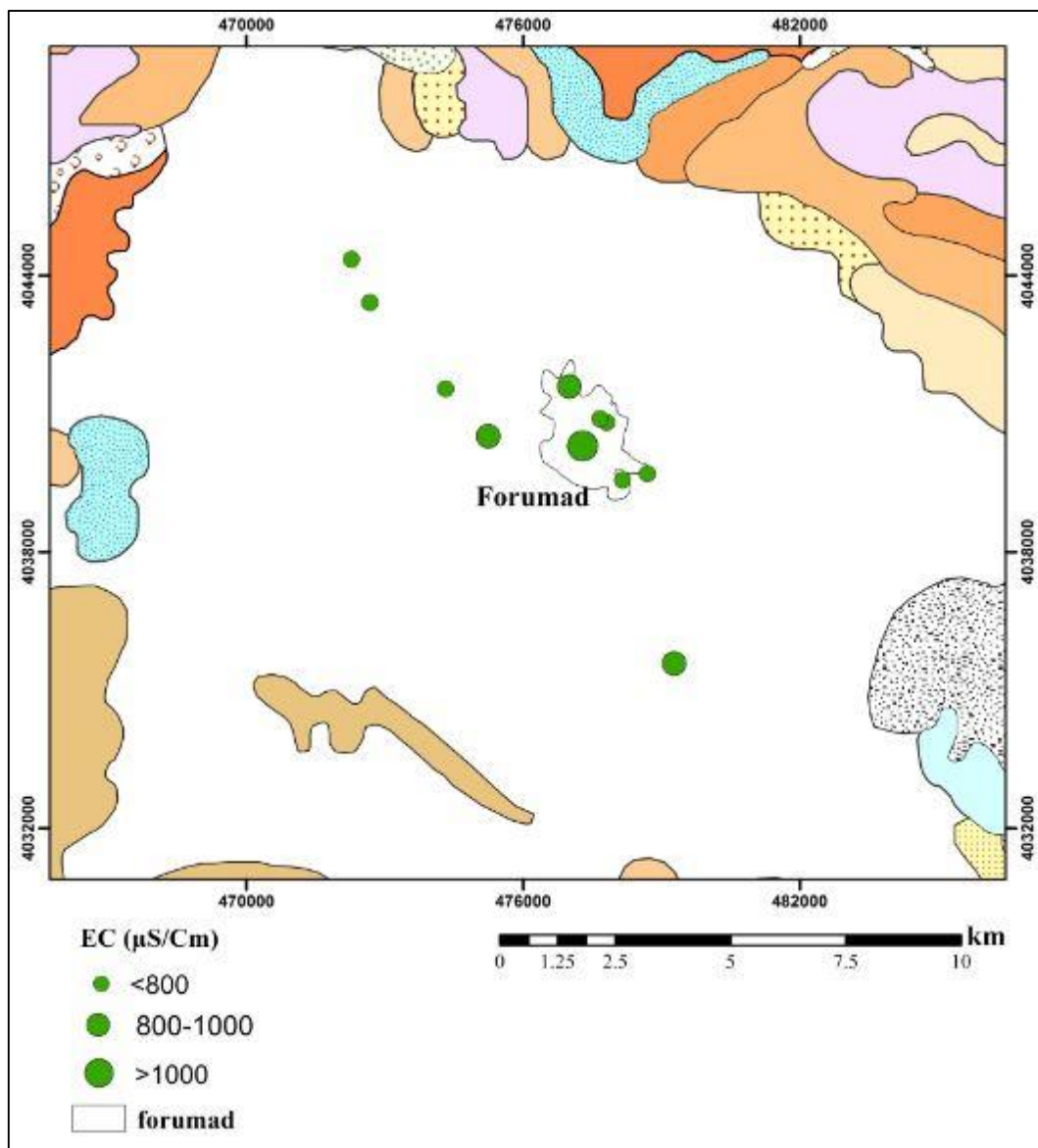
۴-۲-۱- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدروژئوشیمیایی می‌باشد که ارتباط مستقیمی با کل املاح موجود در آب دارد. با بررسی تغییرات این پارامتر می‌توان به تغییرات غلظت یون‌ها در مسیر حرکت جریان پی برد. عوامل مختلفی بر میزان هدایت الکتریکی اثر می‌گذارد که از جمله آن می‌توان مقدار بارش، لیتولوژی آبخوان، زمان ماندگاری آب، سرعت حرکت آب، برداشت از آبخوان، نفوذ آب شور و نشت فاضلاب را نام برد.

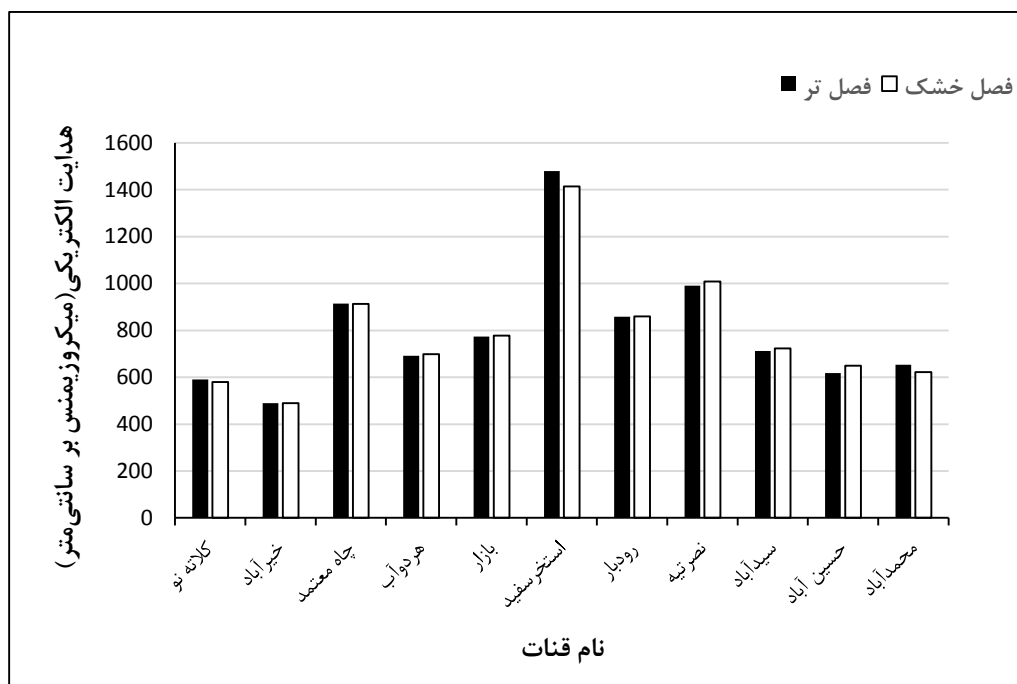
مقدار هدایت الکتریکی به آسانی با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری می‌شود. میزان هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه از ۴۱۷-۱۴۸۰ میکروموس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. همان‌گونه که از نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه مشهود است، (شکل ۴-۱۹) میزان هدایت الکتریکی از قسمت شمال غرب به سمت جنوب غرب دشت افزایش پیدا می‌کند. با توجه به افزایش برداشت از چاه قنات‌ها در مرکز دشت و کاهش دبی که کاهش گرا دیان هیدرولیکی را در پی دارد، افزایش هدایت الکتریکی امری طبیعی می‌باشد. مقایسه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هدایت الکتریکی (شکل‌های ۲-۴ و ۴-۱۹) نشانگر این مطلب است که افزایش هدایت الکتریکی همخوانی خوبی را با جهت جریان آب زیرزمینی نشان می‌دهد.

جهت بررسی تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، مقدار آن در دو فصل تر (اردیبهشت ۱۳۹۶) و خشک (آبان ۱۳۹۶) اندازه‌گیری شده و تغییرات آن به صورت هیستوگرام نشان داده شده است (شکل ۴-۲۰). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، تغییرات هدایت الکتریکی در آب قنات‌ها بسیار اندک بوده و در اکثر موارد در آبان ماه ۱۳۹۶ نسبت به اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ یک افزایش جزئی را نشان می‌دهد. در قنات‌های استخر سفید و محمدآباد مقدار هدایت الکتریکی در آبان ماه ۱۳۹۶ نسبت به اردیبهشت ماه تا اندازه‌ای

کاهش پیدا کرده است. در قنات استخرسفید این کاهش هدایت الکتریکی محسوس تر می باشد. دلیل این مطلب این است که این قنات در ارتفاع کمتری نسبت به سایر قنات ها قرار گرفته است. زمین های کشاورزی بالادست این قنات با قنات های مجاور آن ها که دارای هدایت الکتریکی کمتری هستند، آبیاری می شوند. همچنین سیستم فاضلاب این روستا نیز بالادست این قنات قرار دارد. ورود آب آبیاری و فاضلاب ها به این قنات از طریق چاه های جذبی باعث افزایش اندکی در دبی و در نتیجه کاهش جزئی هدایت الکتریکی در این قنات شده است.



شکل ۴-۱۹- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه



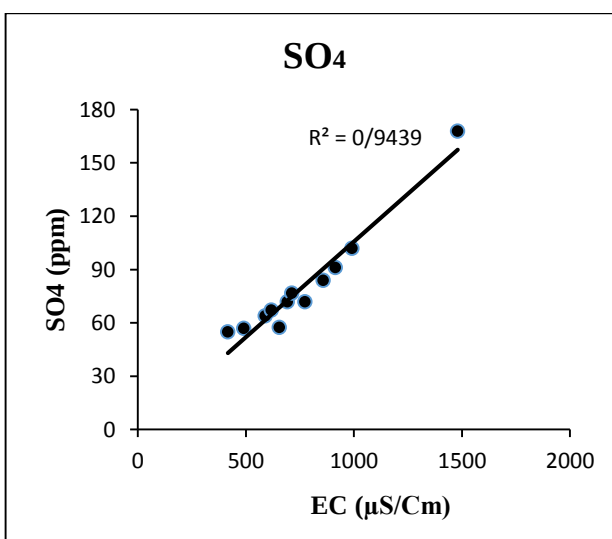
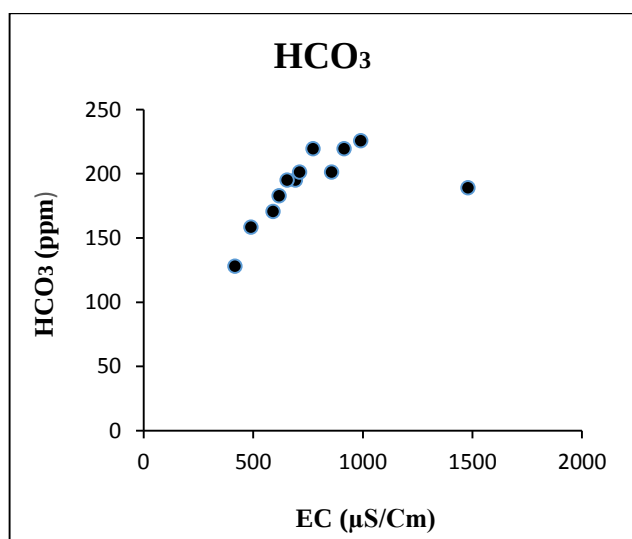
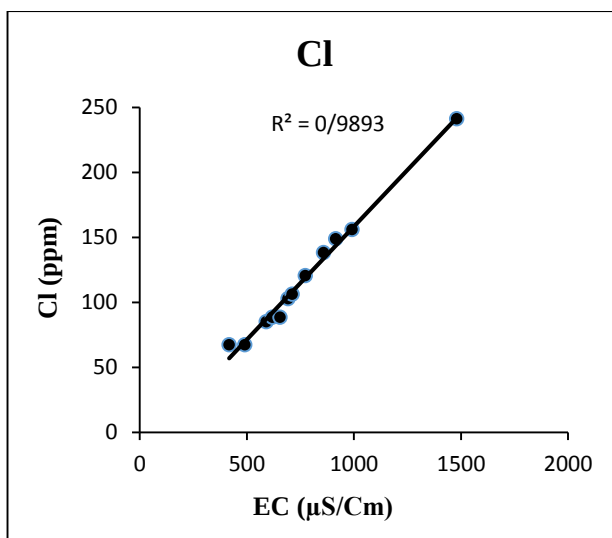
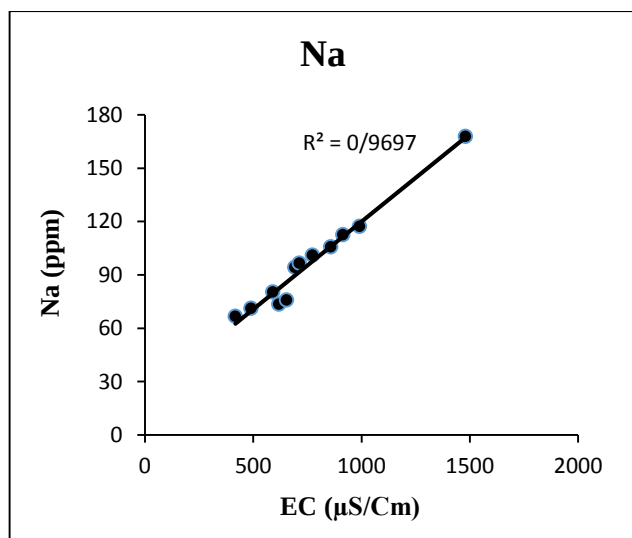
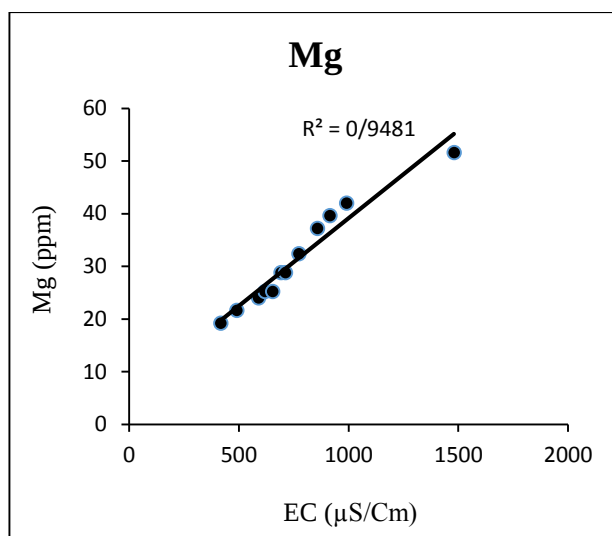
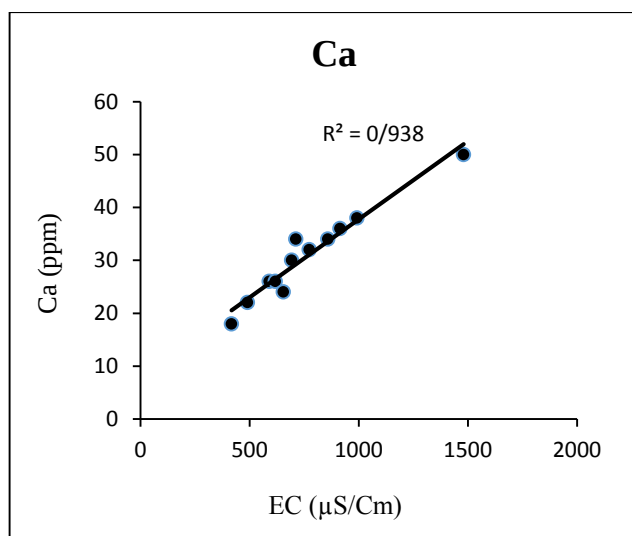
شکل ۴-۲۰. مقایسه هدایت الکتریکی در انتهای فصل‌های تر و خشک در دشت فرومد



شکل ۴-۲۱. محل قنات استخر سفید در دشت فرومد

۴-۲-۲- ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یونها

جهت ارزیابی ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یونها نمودار تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در مقابل هدایت الکتریکی رسم شده است (شکل ۴-۲۲). با توجه به این نمودارها می‌توان یون‌هایی را که در تعیین کیفیت آب نقش اصلی را دارند شناسایی کرد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود همه یونها ارتباط مستقیم با هدایت الکتریکی نشان می‌دهند. در این میان یون‌های سدیم و کلر بیش‌ترین همبستگی را با هدایت الکتریکی دارند. در نتیجه اصلی‌ترین یونها در تعیین کیفیت آب هستند. وجود این دو یون به عنوان یون اصلی نشان‌دهنده نوعی تخریب در کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. منشاء این یونها می‌تواند انحلال نمک و یا تبادل کاتیونی باشد. برای تعیین منشاء کلر می‌توان از نسبت این یون به مجموع آنیون‌ها استفاده کرد. در صورتی که این نسبت بزرگتر از $0/8$ و مقدار کل جامدات محلول کمتر از 100 میلی‌گرم بر لیتر باشد، منشاء این یون آب باران است و اگر این نسبت کمتر از $0/8$ باشد، منشاء آن انحلال سنگ نمک است (Hounslow 1995). این نسبت برای تمامی نمونه‌ها کمتر از $0/8$ به دست آمده است (مراجعه به جدول ۴-۳). بنابراین انحلال نمک می‌تواند بهترین منشاء برای این یون باشد. منشاء سدیم را نیز می‌توان از طریق نسبت‌های یونی به دست آورد. به گونه‌ای که اگر نسبت سدیم به مجموع یون‌های کلر و سدیم بیشتر از $0/5$ باشد بیانگر تبادل یونی و جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم محلول در آب زیرزمینی در رس‌ها است که باعث آزاد سازی سدیم می‌شود (ناصری و همکاران ۱۳۹۱). این نسبت نیز برای اکثریت نمونه‌ها بیشتر از $0/5$ است (مراجعه به جدول ۴-۳). بنابراین به غیر از انحلال نمک، تبادل کاتیونی نیز می‌تواند منشاء سدیم باشد. غلظت یون‌های سدیم و کلر بر روی غلظت کلسیم نیز اثر می‌گذارد، به گونه‌ای که با افزایش این دو یون کلسیم شروع به حل شدن می‌کند تا به حالت اشباع برسد. با محاسبه نسبت کلسیم به مجموع کلسیم و سولفات می‌توان رسوب کلسیم در آب را تشخیص داد. اگر این نسبت کمتر از $0/5$ باشد، نشان‌دهنده کاهش غلظت کلسیم در آب زیرزمینی در اثر فرایند تبادل یونی با رسوب کلسیت می‌باشد (Hounslow 1995). براساس جدول (۴-۳) این نسبت تقریباً برای تمامی نمونه‌ها کمتر از $0/5$ می‌باشد.



شکل ۴-۲۲. رابطه هدایت الکتریکی با غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

جدول ۴-۳- پارامترهای محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه

قنات	Na/ΣCat	Na/(Na+Cl)	Ca/(Ca+SO ₄)	Cl/Σanion	درصد خطا
کلاته نو	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۵۰	۰/۳۷	۴/۲۲
خیرآباد - شهرستان	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۳۳	۵/۵۲
چاه معتمد	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۴۹	۰/۴۳	۳/۲۵
چاه عیش آباد	۰/۵۳	۰/۶۰	۰/۴۵	۰/۳۷	۵/۴۳
هردوآب	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۳۸	۵/۴۱
بازار	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۳	۲/۶۵
استخر سفید	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۴۲	۰/۴۰	۵/۴۰
رودبار	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۴۸	۰/۴۳	۵/۰۱
نصرتیه	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۴۳	۳/۱۱
سیدآباد	۰/۵۰	۰/۵۸	۰/۵۱	۰/۳۸	۵/۴۳
حسین آباد	۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۴۸	۰/۳۶	۳/۹۰
محمدآباد	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۵۰	۰/۳۶	۳/۹۹

۴-۲-۳- بررسی غلظت آنیون ها و کاتیون ها در منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی در منطقه مورد مطالعه، طی دو مرحله از آب قنات ها و چاه ها نمونه برداری به عمل آمده است. برای تمامی نمونه ها غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی اندازه گیری شده است (جدول ۴-۴). همان گونه که در جدول ملاحظه می شود، در تمامی نمونه ها غلظت سدیم نسبت به بقیه کاتیون ها بیشتر است. در بین آنیون ها نیز بی کربنات و کلر بیشترین غلظت را شامل می شوند. بیشترین مقدار سدیم در قنات استخر سفید وجود دارد که بیشترین مقدار کلر را نیز

دارا می‌باشد. هدایت الکتریکی بالا در این قنات نیز به همین دلیل است. این امر را می‌توان با توجه به شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک در دشت فرومد به بالا بودن میزان تبخیر و انحلال رسوبات گچی و نمکی مربوط دانست.

جدول ۴-۴- نتایج آنالیز کیفی نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام محل	مختصات جغرافیایی		EC ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	pH	غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی (epm)							درصد خطا
		Y	X			Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	
۱	کلاته‌نو	۴۷۸۶۹۷	۴۰۳۹۶۹۸	۵۹۰	۸/۱	۱/۳	۲/۰	۳/۵	۰/۰۲	۲/۸	۲/۴	۱/۳	۴/۲۲
۲	خیرآباد - شهرستان	۴۷۸۱۵۸	۴۰۳۹۵۶۱	۴۹۰	۸/۲	۱/۱	۱/۸	۳/۱	۰/۰۱	۲/۶	۱/۹	۱/۲	۵/۵۲
۳	چاه معتمد	۴۷۹۲۷۵	۴۰۳۵۵۸۵	۹۱۴	۸/۲	۱/۸	۳/۳	۴/۹	۰/۰۲	۳/۶	۴/۲	۱/۹	۳/۲۵
۴	چاه عیش‌آباد	۴۷۹۵۳۲	۴۰۳۸۸۴۲	۴۱۷	۸/۵	۰/۹	۱/۶	۲/۹	۰/۰۳	۲/۱	۱/۹	۱/۱	۵/۴۳
۵	هردوآب	۴۷۷۸۱۷	۴۰۴۰۸۱۳	۶۹۲	۸/۱	۱/۵	۲/۴	۴/۱	۰/۰۲	۳/۲	۲/۹	۱/۵	۵/۴۱
۶	بازار	۴۷۷۶۶۸	۴۰۴۰۸۹۲	۷۷۳	۸/۰	۱/۶	۲/۷	۴/۴	۰/۰۳	۳/۶	۳/۴	۱/۵	۲/۶۵
۷	استخرسفید	۴۷۷۲۸۸	۴۰۴۰۳۱۰	۱۴۸۰	۸/۱	۲/۵	۴/۳	۷/۳	۰/۰۴	۳/۱	۶/۸	۳/۵	۵/۴۰
۸	رودبار	۴۷۷۰۰۲	۴۰۴۱۶۰۱	۸۵۸	۸/۶	۱/۷	۳/۱	۴/۶	۰/۰۱	۳/۳	۳/۹	۱/۸	۵/۰۱
۹	نصرتیه	۴۷۵۳۴۴	۴۰۴۰۵۲۱	۹۹۱	۸/۲	۱/۹	۳/۵	۵/۱	۰/۰۵	۳/۷	۴/۴	۲/۱	۳/۱۱
۱۰	سیدآباد	۴۷۴۳۲۰	۴۰۴۱۵۴۴	۷۱۲	۷/۸	۱/۷	۲/۴	۴/۳	۰/۰۴	۳/۳	۳/۰	۱/۶	۵/۴۳
۱۱	حسین‌آباد	۴۷۲۶۷۹	۴۰۴۳۴۱۵	۶۱۸	۸/۳	۱/۳	۲/۱	۳/۳	۰/۰۴	۳/۰	۲/۵	۱/۴	۳/۹۰
۱۲	محمدآباد	۴۷۲۲۸۰	۴۰۴۲۴۴۶	۶۵۴	۸/۳	۱/۲	۲/۱	۳/۳	۰/۰۳	۳/۲	۲/۵	۱/۲	۳/۹۹

سختی کل

سختی کل به صورت مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بر حسب کربنات کلسیم در واحد میلی گرم بر لیتر تعیین می‌شود. سختی شامل دو نوع موقت و دائم می‌باشد، سختی موقت زمانی ایجاد می‌شود که کلسیم و منیزیم در اثر حرارت از محیط خارج شود. در واقع اگر آنیون متناظر کاتیون‌های کلسیم و منیزیم یون‌های بی کربنات و کربنات باشد سختی موقت است و در غیر این صورت سختی دائم است. برای طبقه‌بندی آب براساس سختی جدولی ارائه شده است که در زیر مشاهده می‌شود (جدول ۴-۵) (Todd and Mays 2005). مقادیر سختی کل قنات‌های منطقه مورد مطالعه بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم در جدول (۴-۶) آورده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود سختی در این منطقه از ۱۲۵ (چاه عیش‌آباد) تا ۳۴۰ (استخرسفید) میلی گرم بر لیتر متغیر است. براساس جدول (۴-۶) در بین قنات‌های منطقه قنات استخرسفید بیش‌ترین مقدار سختی را دارد که در رده آب‌های خیلی سخت و چاه عیش‌آباد کم‌ترین مقدار سختی را دارد و در رده آب‌های نسبتاً نرم قرار می‌گیرند. بقیه قنات‌ها سختی بین این دو مقدار قرار می‌گیرد که در رده آب‌های سخت طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۴-۵- طبقه‌بندی آب براساس سختی (Todd and Mays 2005)

سختی (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم)	طبقه‌بندی آب
۰-۷۵	نرم
۷۵-۱۵۰	نسبتاً نرم
۱۵۰-۳۰۰	سخت
۳۰۰<	خیلی سخت

جدول ۴-۶- تعیین نوع آب قنات‌های منطقه براساس سختی کل (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

نام قنات	سختی کل (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم)	نوع آب
کلاته نو	۱۶۵	سخت
خیرآباد - شهرستان	۱۴۵	سخت
چاه معتمد	۲۵۵	سخت
چاه عیش آباد	۱۲۵	نسبتاً نرم
هردوآب	۱۹۵	سخت
بازار	۲۱۵	سخت
استخرسفید	۳۴۰	خیلی سخت
رودبار	۲۴۰	سخت
نصرتیه	۲۷۰	سخت
سیدآباد	۲۰۵	سخت
حسین آباد	۱۷۰	سخت
محمدآباد	۱۶۵	سخت

نسبت جذب سدیم و درصد سدیم

همان گونه که قبلاً ذکر شد سدیم با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی خاک باعث کاهش نفوذپذیری و سخت شدن خاک می شود. از طرفی باعث ایجاد مسمومیت در گیاهان نیز می گردد. بنابراین، سدیم یکی از یون‌های مؤثر بر کیفیت آب آبیاری در کشاورزی می باشد که برای بیان مقدار آن از دو پارامتر نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم (%Na) استفاده می شود. نسبت جذب سدیم به عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم موجود در آب می باشد. هر چه مقدار این دو پارامتر در آب بیشتر باشد آن آب برای آبیاری نامناسب تر است. به طور کلی اگر درصد سدیم بالای ۳۰ باشد آن آب برای کشاورزی مناسب نیست. این درصد در تمامی نمونه ها در منطقه مورد مطالعه بالای ۳۰ می باشد

(جدول ۷-۴). استفاده از این آب در دراز مدت موجب کاهش توانایی خاک برای تشکیل دانه‌های پایدار، کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه از دست دادن ساختار خاک می‌شود.

جدول ۷-۴. مقادیر پارامترهای نسبت جذب سدیم و درصد سدیم در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

قنات	SAR	%Na
کلاته‌نو	۲/۷	۵۱/۶
خیرآباد - شهرستان	۲/۶	۵۱/۷
چاه معتمد	۳/۱	۴۹/۱
چاه عیش‌آباد	۳/۰	۵۴/۰
هردوآب	۲/۹	۵۱/۴
بازار	۳/۰	۵۰/۷
استخر سفید	۳/۹	۵۱/۹
رودبار	۳/۰	۴۹/۰
نصرتیه	۳/۱	۴۸/۸
سیدآباد	۲/۹	۵۰/۸
حسین‌آباد	۲/۵	۴۸/۸
محمدآباد	۲/۶	۵۰/۲

شاخص اشباع

به منظور توصیف تکامل شیمیایی آب زیرزمینی برای کانی‌های مختلف شاخص‌های اشباع محاسبه می‌شود. به عبارتی دیگر جهت نشان دادن قابلیت انحلال کانی‌ها از شاخص اشباع استفاده می‌گردد ، که برای محاسبه آن از نرم‌افزار PHREEQC استفاده می‌شود. بسته به مقدار یون‌های محلول، دما، TDS و pH شاخص اشباع شدگی کانی‌ها متغیر است. شاخص اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس

و هالیت برای نمونه‌های منطقه مورد مطالعه محاسبه گردیده و نتایج آن در جدول (۸-۴) ارائه شده است. بر اساس این جدول تمامی نمونه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع و نسبت به ژیپس و هالیت تحت اشباع هستند. یعنی توانایی انحلال این دو کانی همچنان وجود دارد. بیش‌ترین شاخص اشباع کلسیت و دولومیت مربوط به قنات رودبار می‌باشد که دلیل آن احتمالاً وجود آهک در محل مادر چاه این قنات است. کمترین شاخص اشباع ژیپس و هالیت نیز در چاه عیش‌آباد وجود دارد که دلیل آن را می‌توان پایین بودن نسبی نمک‌های سولفاته و کلروره در آبخوان تأمین کننده آب این چاه دانست.

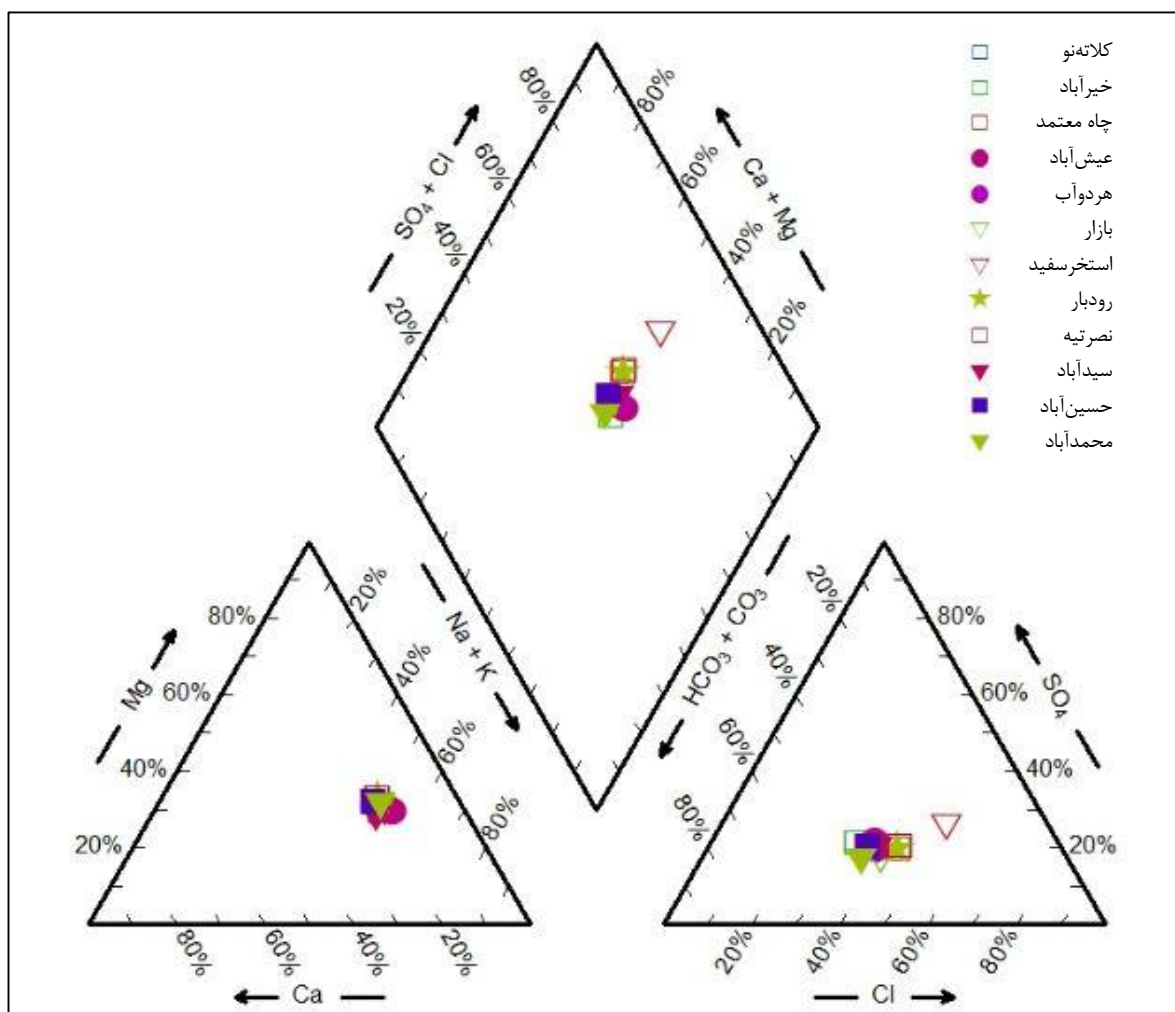
جدول ۸-۴- مقادیر شاخص‌های اشباع برای قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه

شاخص‌های اشباع				نام قنات
SI _h	SI _g	SI _d	SI _c	
-۶/۷۴	-۲/۲۲	۰/۷۷	۰/۲۲	کلاته‌نو
-۶/۸۹	-۲/۳۱	۰/۹۰	۰/۲۷	خیرآباد - شهرستان
-۶/۳۷	-۲/۰۱	۱/۴۴	۰/۵۲	چاه معتمد
-۶/۹۲	-۲/۴۲	۱/۱۴	۰/۳۸	چاه عیش‌آباد
-۶/۶۰	-۲/۱۳	۱/۱۴	۰/۴۰	هردوآب
-۶/۵۰	-۲/۱۲	۰/۹۲	۰/۲۸	بازار
-۶/۰۰	-۱/۶۷	۱/۲۹	۰/۴۶	استخرسفید
-۶/۴۳	-۲/۰۵	۲/۰۶	۰/۸۳	رودبار
-۶/۳۳	-۱/۹۵	۱/۵۷	۰/۵۹	نصرتیه
-۶/۵۷	-۲/۰۶	۰/۶۳	۰/۱۷	سیدآباد
-۶/۷۶	-۲/۲۰	۱/۳۷	۰/۵۱	حسین‌آباد
-۶/۷۵	-۲/۳۰	۱/۳۴	۰/۴۸	محمدآباد

۴-۲-۴- بررسی نمودارهای کیفی در منطقه مورد مطالعه

الف) نمودار پایپر

نمودارهای پایپر ترکیبی از مثلث‌های کاتیونی و آنیونی است که روی یک قاعده مشترک قرار گرفته‌اند. درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در میدان‌های مثلثی و موقعیت ترکیبی آن‌ها در میدان لوزی شکل نشان داده می‌شود. این نمودار جهت آنالیز شیمیایی نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. درصدها براساس مجموع میلی‌اکی‌والان بر لیتر یون‌های اصلی محاسبه می‌شوند. این نمودار برای تمامی نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار AqQA رسم شده است (شکل ۴-۲۳).

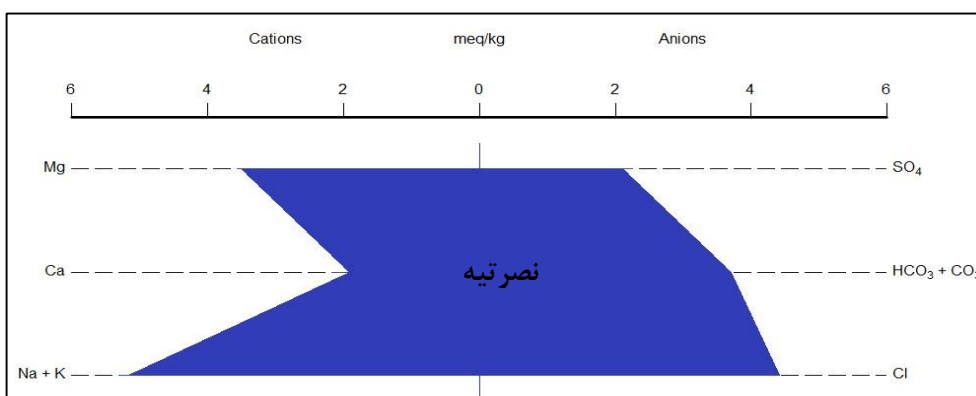
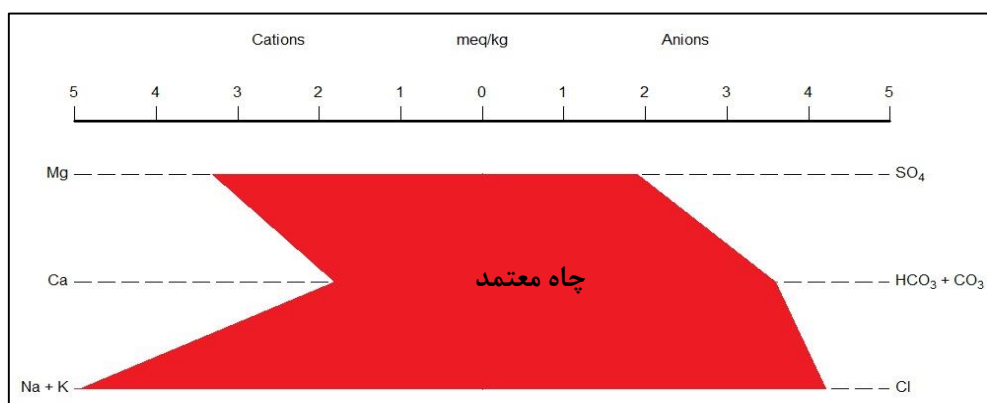
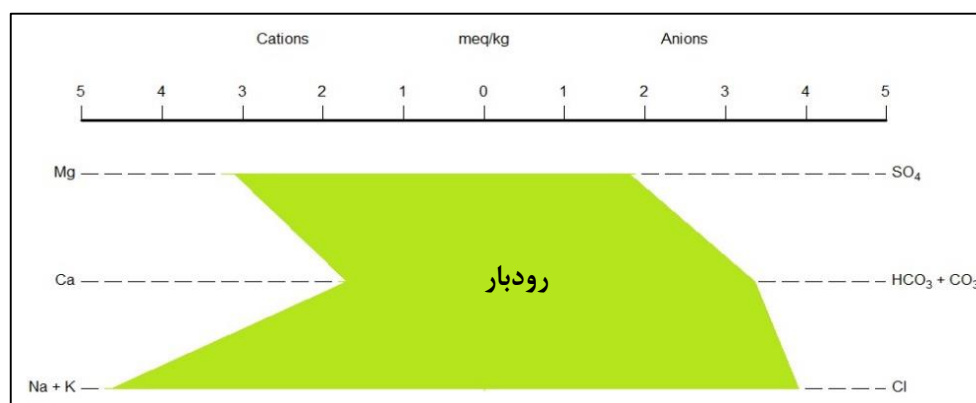
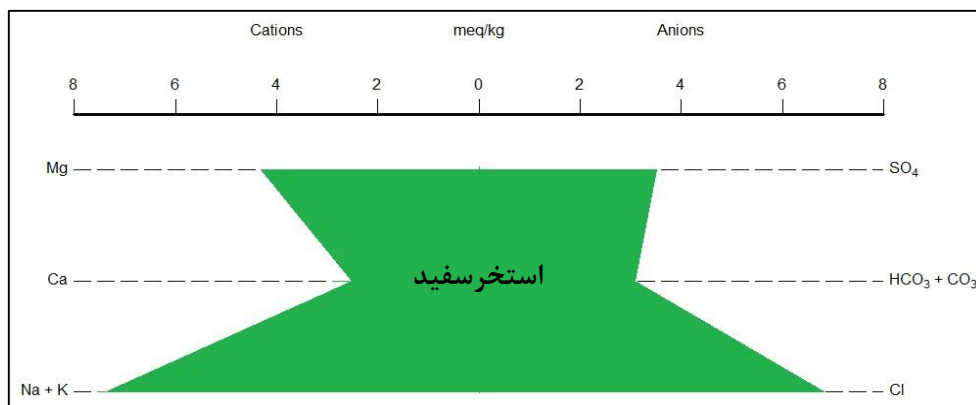


شکل ۴-۲۳- نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه

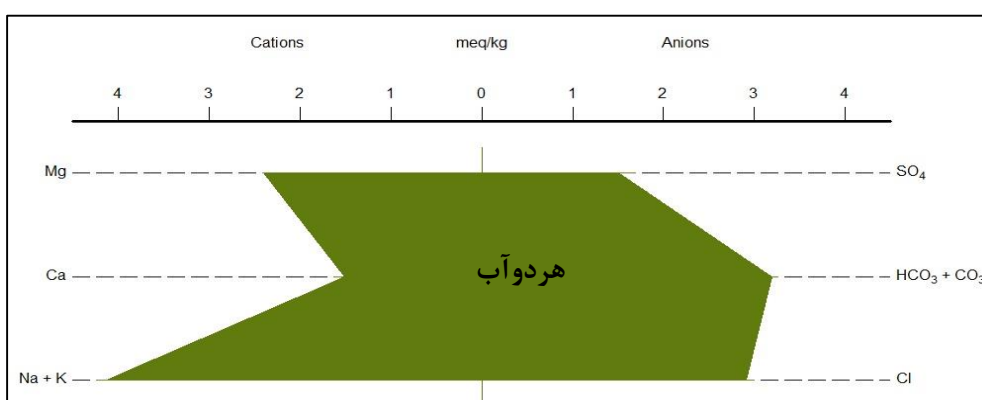
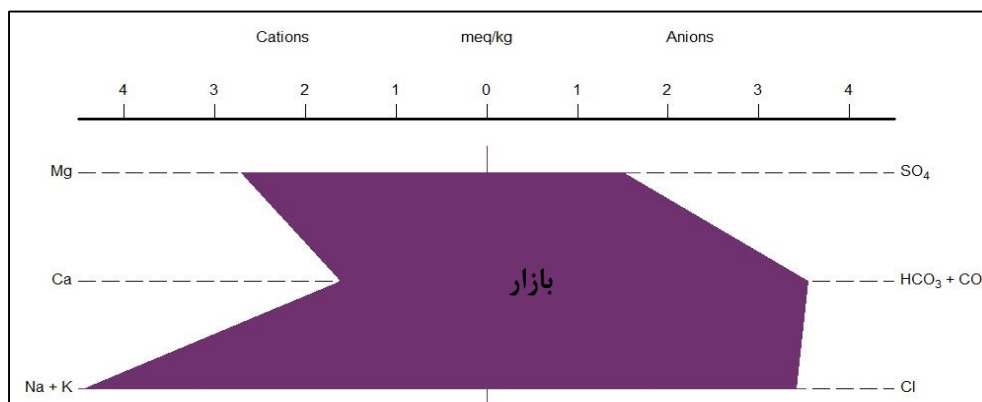
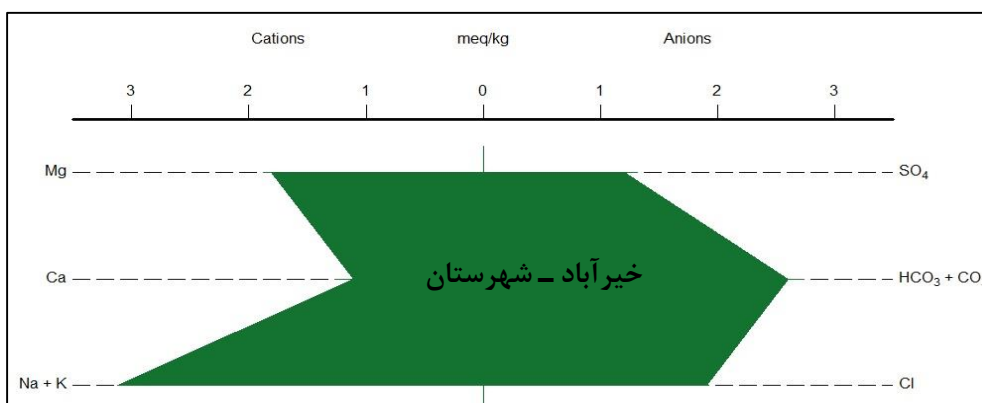
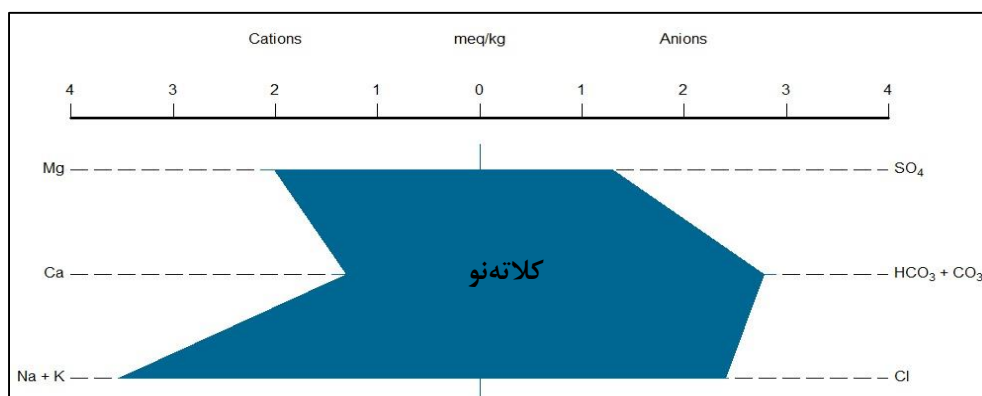
همان گونه که ملاحظه می شود تمامی نمونه ها در یک گروه قرار می گیرند که نشان دهنده یکسان بودن منشاء می باشد. نمونه مربوط به قنات استخر سفید اختلاف اندکی نسبت به سایرین نشان می دهد. دلیل آن وجود لایه گچی و نمکی در منطقه می باشد که آب این قنات از روی آن عبور کرده است. هدایت الکتریکی زیاد این نمونه نیز گواه بر این موضوع می باشد. همچنین بر اساس این نمودار مقدار سولفات، کلر، سدیم و پتاسیم نسبت به سایر یون ها بیشتر است و نمونه ها در نزدیکی مرز شورابه ها قرار می گیرند. در این ناحیه تقریباً غلبه با اسیدهای قوی می باشد.

ب) نمودار استیف

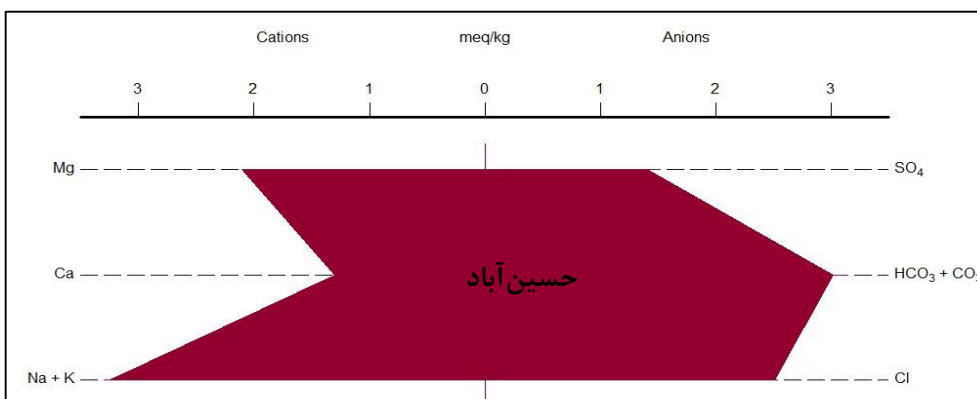
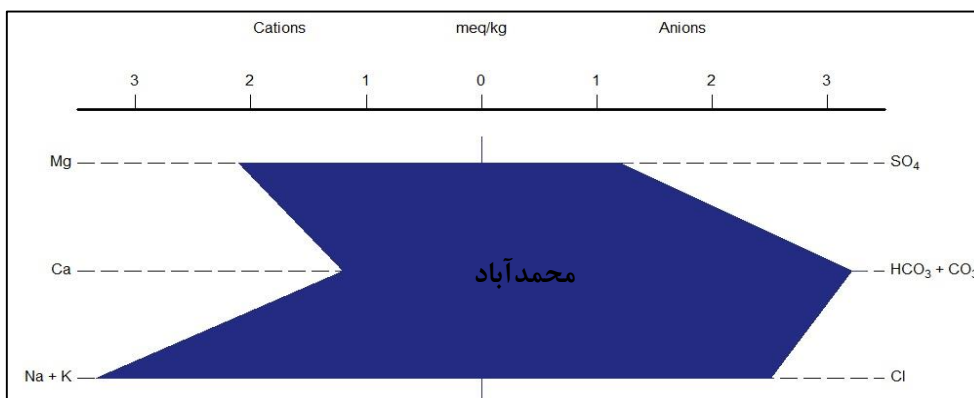
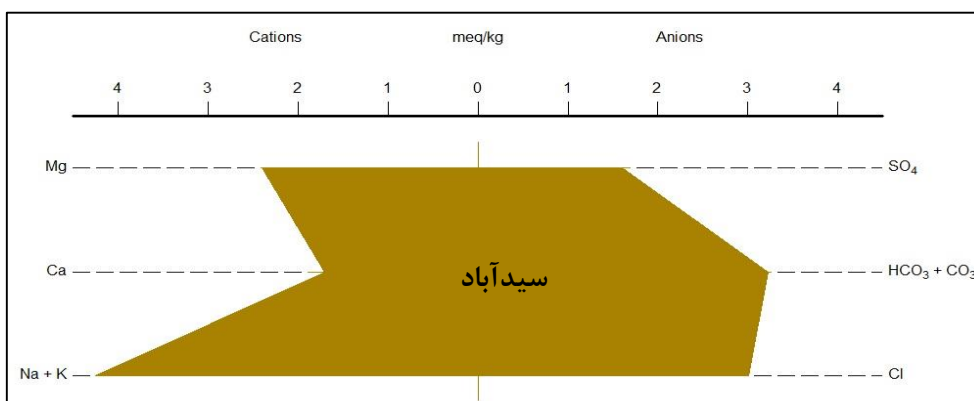
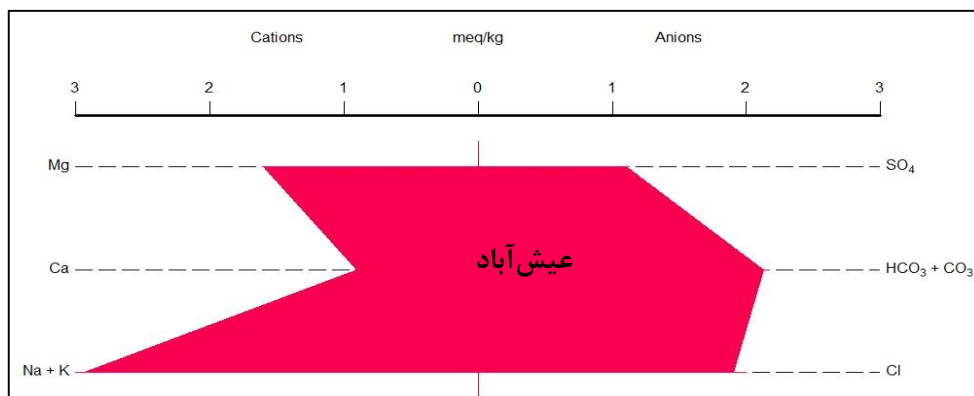
نمودار استیف راه حل مناسبی جهت مقایسه نمونه ها می باشد. این نمودار دارای چهار محور افقی و موازی است که در دو طرف یک محور صفر عمودی گسترش یافته اند. نمودار ذکر شده جهت تعیین تیپ، رخساره آب و مقایسه سریع و آسان ترکیب شیمیایی نمونه ها به کار می رود. اساس این نمودار بر مبنای کاتیون ها و آنیون ها می باشد که کاتیون ها در یک سمت و آنیون ها در سمت دیگر قرار می گیرند. مقادیر کاتیون ها و آنیون های اصلی بر حسب میلی اکی والان بر لیتر هستند و سطح این نمودار نشان دهنده مقدار کل مواد جامد محلول می باشد (Hounslow 1995). این نمودار برای تمام نمونه های آب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار AqQA رسم شده است. به لحاظ الگوهای ایجاد شده در این نمودار می توان نمونه ها را در دو گروه جای داد، گروه اول رخساره کلروره - سدیک (شکل ۴-۲۴) و گروه دوم دارای رخساره بی کربناته - سدیک شکل (۴-۲۵ الف و ۴-۲۵ ب) می باشند. همان گونه که مشاهده می شود نمونه های رودبار، استخر سفید، نصرتیه و چاه معتمد در گروه اول و نمونه های بازار، هردوآب، خیرآباد - شهرستان، کلاته نو، سیدآباد، محمدآباد، حسین آباد و چاه عیش آباد در گروه دوم جای می گیرند. این تیپ رخساره نشان دهنده تخریب در کیفیت آب زیرزمینی می باشد.



شکل ۴-۲۴. نمودار استیف نمونه‌های دارای رخساره کلروره - سدیک



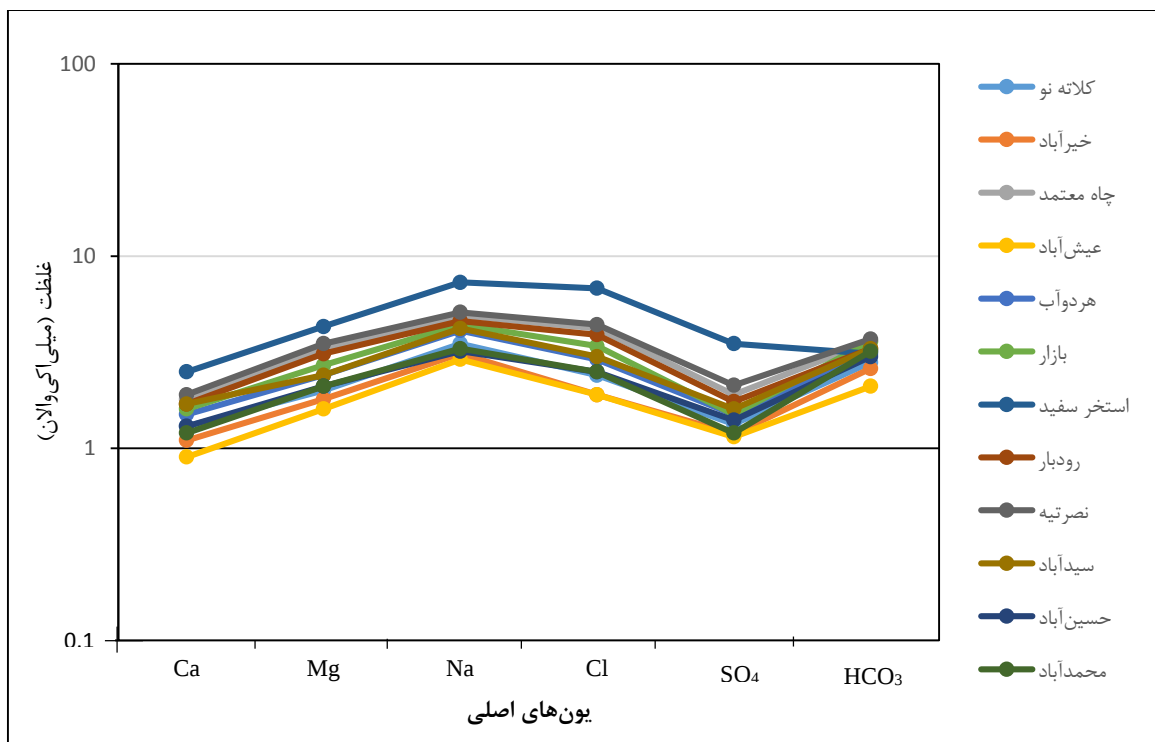
شکل ۲۵-۴ الف - نمودار استیف نمونه‌های دارای رخساره بی‌کربناته - سدیک



شکل ۴- ۲۵ ب - نمونه‌های دارای رخساره بی‌کربناته - سدیک

ج) نمودار شولر

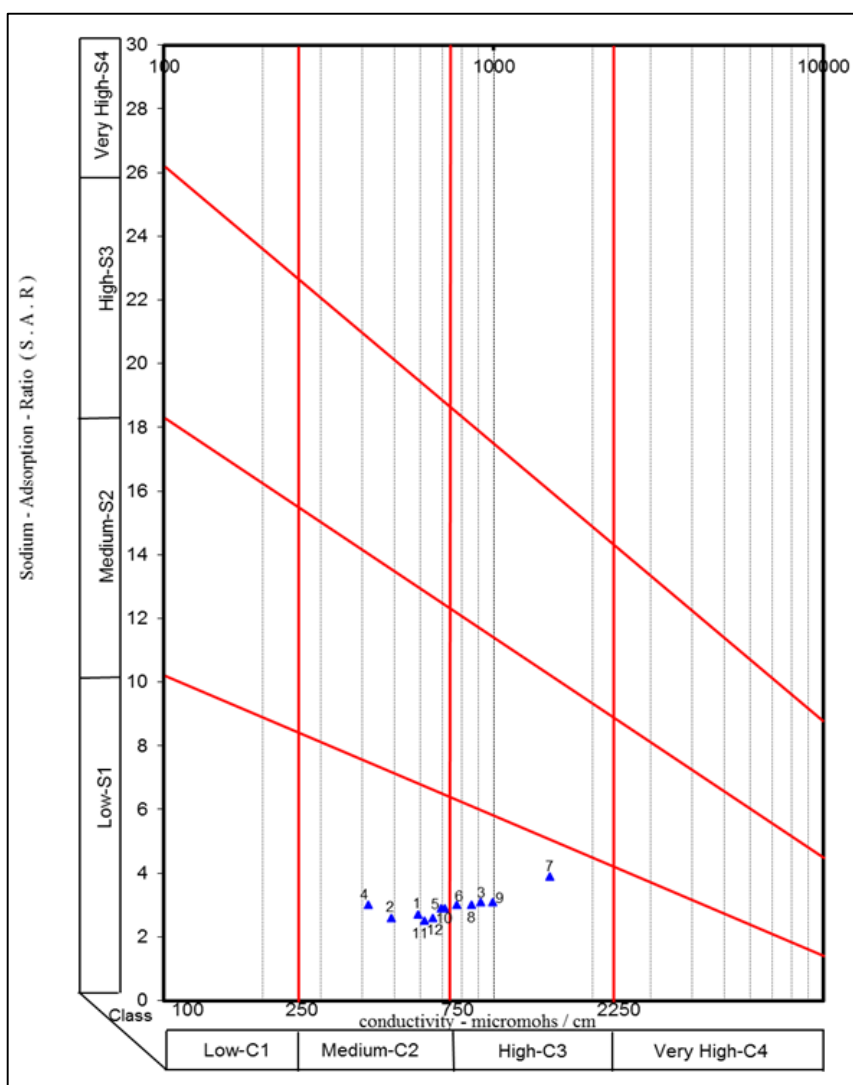
نمودار شولر یک نمودار نیمه‌لگاریتمی است که جهت مقایسه تعداد زیاد نمونه‌های آب، یکسان بودن یا نبودن منشأ نمونه‌ها و بررسی روند تغییرات غلظت‌های مختلف به کار می‌رود. در محور افقی این نمودار یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، بی‌کربنات و سولفات بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر قرار دارد. از آنجایی که محور عمودی این نمودار لگاریتمی است، خطوط موازی نشان‌دهنده روند یکسان و در نتیجه یکی بودن منشأ و مساوی بودن نسبت یون‌ها در نمونه‌هاست (Todd and Mays 2005). شکل (۴-۲۶) نمودار شولر مربوط به نمونه‌ها در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌گونه که پیداست نمونه‌ها روند یکسانی دارند که نشان‌دهنده یکسان بودن منشأ آن‌ها است. اختلاف اندک مشاهده شده در نمونه استخرسفید احتمالاً به دلیل وجود لایه گچی در این ناحیه می‌باشد که آب این قنات از روی آن عبور کرده است، که با توجه به وجود مقدار زیاد کلسیم و سولفات در آن قابل توجیه است.



شکل ۴-۲۶. نمودار شولر مربوط به نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه

۴-۲-۵- بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی

بهترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی استفاده از نمودار ویلکاکس می‌باشد. این نمودار بر اساس مقادیر هدایت الکتریکی املاح موجود در آب و نسبت جذب سدیم است. در این نمودار هدایت الکتریکی در محور افقی (بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر) و نسبت جذب سدیم در محور عمودی قرار می‌گیرد شکل (۴-۲۷).



۱- کلاته نو ۲- خیرآباد - شهرستان ۳- چاه معتمد ۴- چاه عیش‌آباد ۵- هردوآب ۶- بازار
۷- استخرسفید ۸- رودبار ۹- نصرتیه ۱۰- سیدآباد ۱۱- حسین‌آباد ۱۲- محمدآباد

شکل ۴-۲۷- نمودار ویلکاکس مربوط به نمونه‌های آب در دشت فرومد

بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس، آب‌های خیلی خوب دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C_1S_1 قرار می‌گیرند. آب‌های خوب در گروه C_1S_2 ، C_2S_1 ، C_2S_2 و آب‌های متوسط در گروه C_3S_3 ، C_1S_3 ، C_2S_3 ، C_3S_2 و C_3S_1 قرار دارند. بقیه گروه‌ها آب‌های نامناسب می‌باشند (علیزاده ۱۳۸۱). شکل (۴-۲۷) نمودار ویلکاکس مربوط به نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار آب قنات‌های کلاته‌نو، خیرآباد، هردوآب، سیدآباد، حسین‌آباد، محمدآباد و چاه عیش‌آباد در گروه C_2S_1 قرار می‌گیرند که جزء آب‌های خوب برای کشاورزی هستند. آب قنات‌های بازار، استخرسفید، رودبار، نصرتیه و چاه معتمد در رده C_3S_1 قرار دارند که در گروه آب‌های متوسط جهت مصارف کشاورزی می‌باشند.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل به بیان نتایج حاصل از بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی آبخوان دشت فرومد پرداخت شده است. در نهایت، پیشنهادها و راهکارهایی جهت پایش دقیق‌تر این منابع آبی، به منظور حفاظت از آن‌ها ارائه شده است.

۵-۱- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج به دست آمده از این تحقیق شامل تغییر ناگهانی گرادیان هیدرولیکی در محدوده مظهر قنات‌ها، افت نسبتاً اندک سطح آب زیرزمینی در آبخوان، کیفیت نسبتاً بالای آب (به دلیل دانه درشت بودن آبخوان)، تغییرات اندک آبدهی قنات‌ها و تیپ آب کلروره - سدیک و بی‌کربناته - سدیک در دشت می‌باشد که به طور مختصر ارائه می‌شوند.

الف - تغییر ناگهانی گرادیان هیدرولیکی در محدوده مظهر قنات‌ها

جهت ارزیابی تغییرات گرادیان هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های هم‌پتانسیل استفاده شده است. بر اساس این نقشه گرادیان هیدرولیکی در محدوده شمال، شمال شرق و شرق دشت بیشترین مقدار خود را دارا می‌باشد و از شمال غرب به سمت غرب و جنوب غرب از مقدار آن کاسته می‌شود. دلیل این موضوع از این قرار است که تخلیه قنات‌ها و برداشت از چاه قنات‌ها باعث کم شدن آبدهی آن‌ها شده است. بنابراین، بر اساس قانون داری، این کم شدن آبدهی تغییرات ناگهانی در گرادیان هیدرولیکی را ایجاد کرده است. همچنین با توجه به نقشه هم‌پتانسیل بالاترین تراز سطح آب زیرزمینی

مربوط به نواحی شمال، شمال شرق، و شرق است و به سمت غرب و جنوب غرب از تراز آب کاسته می‌شود. روند عمومی جریان نیز شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد که هم جهت با جریان‌های سطحی می‌باشد. بخش عمده تغذیه قسمت‌های شمالی دشت از چشمه‌های دامنه ارتفاعات و بستر دانه درشت رودخانه‌ها صورت می‌گیرد و تغذیه قسمت‌های شرق و شمال شرق از طریق چشمه‌های گسلی این منطقه می‌باشد.

ب - افت نسبتاً اندک سطح آب زیرزمینی در آبخوان

بررسی هیدروگراف واحد دشت فرومد نشان داد سطح آب در این دشت در مدت ۵ سال حدود ۰/۴۲ متر افت پیدا کرده است و ارتفاع سطح ایستابی روند نزولی دارد. دلیل اصلی این افت نسبتاً کم از این قرار است که تخلیه اصلی دشت توسط قنات‌ها انجام می‌شود. جهت نشان دادن اثر بارندگی بر میزان افزایش یا کاهش افت نیز نمودار بارندگی در برابر افت رسم شد. بر اساس این نمودار در تمامی سال‌ها به غیر از سال آبی ۹۰-۹۱ هر چه مقدار بارندگی بیشتر بوده افت کاهش پیدا کرده است. در سال آبی ۹۰-۹۱ با اینکه بارندگی در مقایسه با سایر سال‌ها بیشتر می‌باشد مقدار افت سطح آب‌های زیرزمینی نیز بیشتر است. دو دلیل احتمالی برای این موضوع ذکر شد، اول اینکه تلفات بارندگی در اثر تبخیر و احتمالاً سیلاب نسبت به سال‌های دیگر بیشتر بوده، در نتیجه تأثیری بر آبخوان نداشته است. دوم اینکه بیشترین میزان افت مربوط به پیزومترهایی بوده که بیشترین چاه قنات‌ها اطراف آن پیزومترها وجود داشته است. برداشت بیش از حد از این چاه قنات‌ها باعث شده با وجود بارندگی زیاد، میزان افت نیز زیاد باشد.

ج - تغییرات اندک آبدهی قنات‌ها

میانگین آبدهی قنات‌های منطقه طی یک دوره ۷ ماهه از فصل تر (اردیبهشت) تا فصل خشک (آبان)

از ۳/۸ تا حدود ۲۲/۸ لیتر بر ثانیه تغییر می‌کند. در اکثریت قنات‌ها دبی روند نزولی داشته است، اما به طور کلی نوسانات دبی در آن‌ها کم می‌باشد. اصلی‌ترین دلیل کم بودن نوسانات دبی کم بودن میزان بارندگی در طی این دوره ۷ ماهه است. تغییرات آبدهی نشان داد که تنها در دو قنات استخرسفید و محمدآباد دبی روند صعودی دارد. قنات استخرسفید به دلیل هدایت الکتریکی بالا جهت مصارف کشاورزی مناسب نمی‌باشد. از طرفی این قنات در ارتفاع کمتری نسبت به سایر قنات‌ها قرار گرفته است. بنابراین، به جهت شیبی که ایجاد می‌شود آب‌های برگشتی زمین‌های کشاورزی مجاور و فاضلاب‌های خانگی از طریق چاه‌های جذبی به داخل این قنات تخلیه می‌شود و روند صعودی آن را توجیه می‌کند. دلیل روند صعودی دبی در قنات محمدآباد نیز متفاوت بودن زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف این آبخوان، به دلیل عواملی نظیر وسعت حوضه آبرگیر و حداکثر هدایت هیدرولیکی مواد تشکیل دهنده آبخوان بیان شد.

د - کیفیت نسبتاً بالای آب در دشت فرومد

هدایت الکتریکی یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدروژئوشیمیایی می‌باشد که ارتباط مستقیمی با کل املاح موجود در آب و در نتیجه کیفیت آب دارد. نقشه تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در منطقه نشان‌دهنده افزایش میزان هدایت الکتریکی از قسمت شمال غرب به سمت جنوب غرب دشت می‌باشد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در دشت فرومد نشان داد میزان هدایت الکتریکی از ۴۱۷ تا ۱۴۸۰ میکروموس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. به دلیل دانه درشت بودن آبخوان زمان ماندگاری آب داخل آبخوان کم می‌باشد در نتیجه انحلال کمتر صورت می‌گیرد. این امر باعث کاهش میزان املاح محلول و در نتیجه کیفیت نسبتاً بالای آب در این دشت می‌باشد.

ه - تیپ آب در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نمودار پایپر تمامی نمونه‌ها در یک گروه قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده منشاء یکسان آن‌ها

می‌باشد. همچنین این نمودار مشخص کرد نمونه‌ها در نزدیکی مرز شور قرار گرفته‌اند، جایی که غلبه تقریباً با اسیدهای قوی است. بررسی نمودار استیف در منطقه مورد مطالعه نشان داد نمونه‌های آب در دو گروه جای می‌گیرند، گروه اول رخساره کلروره - سدیک و گروه دوم رخساره بی‌کربناته - سدیک دارند که این تیپ رخساره نشان‌دهنده تخریب در کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. نمودار شولر آب‌های زیرزمینی منطقه نیز یکسان بودن منشاء و مساوی بودن نسبت یون‌ها را در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه تأیید می‌کند. رسم نمودار ویلکاکس برای طبقه بندی آب از نظر کشاورزی مشخص نمود که آب‌های زیرزمینی در این منطقه در دو رده خوب و متوسط جهت مصارف کشاورزی قرار می‌گیرند.

۵-۲- پیشنهادها

به منظور ارزیابی دقیق‌تر خصوصیات کمی و کیفی دشت فرومد و همچنین حفاظت از منابع آب پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- ✓ نصب سرریز در مظهر تمام قنات‌ها برای اندازه‌گیری دقیق تغییرات آبدهی قنات‌ها
- ✓ اندازه‌گیری فلزات سنگین در آب قنات‌ها و چاه‌های منطقه
- ✓ مدیریت بهره‌برداری از چاه قنات‌ها به منظور جلوگیری از افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت

فرومد

منابع مورد استفاده

۱. آقازاده ن. اصغری مقدم ا. و صمدی ن، ۱۳۸۹، ارزیابی نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان ساحلی میان دشت قالقاچی، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۱۷، شماره ۴، صفحه ۲۵-۴۶.
۲. آقانباتی ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، چاپ دوم، وزارت صنایع و معادن، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۳. آوند م.ت. اختصاصی م.ر. و حسینی س.ز، ۱۳۹۴، تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت امامزاده جعفر گچساران)، دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
۴. اسدزاده م. و کوکبی‌نژاد ا.م، ۱۳۹۴، ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت آذرشهر، کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها.
۵. امیرحسینی م. و کاظمی غ.ع، ۱۳۹۴، بررسی تغییرات ۲۰ ساله (۱۳۷۲-۱۳۹۲) سطح و شیمی آب زیرزمینی آبخوان دشت دامغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۶. ابراهیم‌پور م. هاشمی ا. و عارف ف، ۱۳۹۰، تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت شهرکرد، اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز.
۷. اسلامیان س.س. نصری م. و رحیمی ن، ۱۳۸۵، بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه آبخیز دشت بوئین، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان): دوره ۲۰، شماره ۱، ص ۷۵-۹۶.
۸. الفتی س. محمودآبادی م. صفرپور ف. و احمدی س، ۱۳۸۹، ارزیابی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت کرمانشاه)، همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی، خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم‌آباد.

۹. بهزاد ا. و حمزه. ف، ۱۳۸۸، بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب آبخوان دهدشت غربی، نشریه جغرافیا، دوره ۳، شماره ۱۱، ص ۹۳-۱۱۲.
۱۰. بهنیا ع. (۱۳۷۹) "قنات‌سازی و قنات‌داری" انتشارات مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۲۳۶ ص.
۱۱. پیرصاحب م. خاموطیان ر. پروانه م. و شکوهی‌زاده م.ج، ۱۳۹۲، بررسی میزان نیترات در آب‌های زیرزمینی مناطق مختلف ایران: مرور سیستماتیک، اولین همایش تخصصی محیط زیست، انرژی و صنعت پاک، تهران، دانشگاه تهران.
۱۲. جعفری ه، ۱۳۹۰، بررسی کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در ارتباط با افت سطح ایستابی ناشی از پمپاژ آبخوان هرات در استان یزد، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۱۳. جلالی ل. و اصغری‌مقدم ا، ۱۳۹۲، تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روش‌های آماری و هیدروژئوشیمیایی، محیط‌شناسی، سال سی و نهم، شماره ۲، ص ۱۱۳-۱۲۲.
۱۴. جهانشاهی نوکنده ن. و کرمی غ.ج، ۱۳۹۴، شناسایی نقاط بحرانی در آبخوان دشت گرگان و پیشنهاد طرح‌های کوتاه مدت و بلند مدت تغذیه مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۱۵. حیدریان م.ج. کابلی ع.و فاتح دیزجی ع.ر، ۱۳۹۱، اثرات محیطی برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت ورامین، شانزدهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
۱۶. رضاپور منفرد م. باقری ر. و رونقی ا، ۱۳۹۵، بررسی هیدروژئوشیمیایی و نفوذ آب شور در دشت جاجرم، استان خراسان شمالی، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۱۷. ریاحی ص. و ریاحی ف، ۱۳۸۹، پیامدهای بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قزوین)، نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

۱۸. زابلی زاده پ. مظلومی ع.ر. حافظی مقدس ن. و قزی ا، ۱۳۹۳، اثرات توسعه شهری بر آلودگی نیترات در آبخوان دشت یاسوج، اولین کنفرانس ملی آلودگی های محیط زیست با محوریت زمین پاک، اردبیل، انجمن مردم نهاد زمین پاک.
۱۹. زراعتکار ز. طباطبایی س.م. دهقان م. و زراعتکار م، ۱۳۹۱، بررسی اثرات برداشت بی رویه بر کمیت و کیفیت منابع آب دشت بیرجند با استفاده از GIS، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران.
۲۰. سجادی ز. کلانتری ن. کشاورزی م.ر. بوسلیک ز. و احمدی نژاد ز، ۱۳۸۹، بررسی نفوذ آب شور خلیج فارس در آبخوان ساحلی عسلویه، چهاردهمین انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.
۲۱. سلطانی ف. و اکبری ا، ۱۳۸۸، بررسی نقش رودخانه در میزان تأثیرات کمی و کیفی خشکسالی بر سفره های آب زیرزمینی دشت میاناب، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری اصفهان.
۲۲. شمسی پور ع.ا. و حبیبی ک، ۱۳۸۵، ارزیابی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، دانشگاه تهران.
۲۳. شمشکی ا. و کرمی غ.ح، ۱۳۹۵، تغییرات زمانی و مکانی جبهه نفوذ آب شور به آب های زیرزمینی ساحل جنوب شرقی دریاچه ارومیه، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۲۴. شهبازی ر. و فیض نیا س، ۱۳۹۰، تأثیر سازندهای زمین شناسی بر کاهش کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز کویر مرکزی ایران (چشمه علی دامغان)، پژوهش های فرسایش محیطی، دوره ۱، شماره ۱، ص ۹۳-۱۰۴.
۲۵. عبادتی ن. و سپهوندی س، ۱۳۹۴، نقش ساختارهای زمین شناسی و سنگ شناسی در تغییرات کمی و کیفی آبخوان های منطقه اشتهارد، اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۱، ص ۱۱۷-۱۲۸.

۲۶. عباس‌نژاد ا. و شاه‌دشت ع.ر، ۱۳۹۲، بررسی آسیب پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه، نشریه جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، دوره ۳، شماره ۷، ص ۸۵-۹۶.

۲۷. علیزاده ا، (۱۳۸۱)، "هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ چهاردهم، ۷۳۵ ص.

۲۸. قرقانی ی. و پناهی ف، ۱۳۹۵، بررسی ارتباط بین خشکسالی، مواد آلوده کننده و منابع آب زیرزمینی، اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها، اردبیل، شرکت کیان طرح دانش، مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد.

۲۹. کریم‌خوشنوا م. پوردیلمی ا.ا. جباری م. و کرکان س، ۱۳۹۲، ارزیابی نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان ساحلی دشت مهاباد، اولین همایش ملی تأثیر پس‌روی دریاچه ارومیه بر منابع خاک و آب، تبریز، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان جهاد کشاورزی، استان آذربایجان شرقی.

۳۰. لشکری‌پور غ.ر. غفوری.م. بابایی م. و صالحی ف، ۱۳۸۸، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.

۳۱. مردانه م. افلاطونی م. و بوستانی ف، ۱۳۹۱، بررسی همبستگی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در دشت شیراز، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی منابع آب، دوره ۵، شماره ۱۳، ص ۸۹-۹۸.

۳۲. مقدسی م.س. علوی‌مقدم م.ر. مکنون ر. و مقدسی ع، ۱۳۸۵، بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی به نترات در شهرهای مختلف ایران، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشکده محیط زیست.

۳۳. منزوی م ت، (۱۳۶۰)، "گفتاری درباره آبدی قنات" نشریه دانشکده فنی، شماره ۴۳، ص ۷۹-۷۱.

۳۴. ناصری ح ر، کی همایون ز و نخعی م (۱۳۹۱)، "تأثیرات عوامل طبیعی و انسانی بر کیفیت منابع آب دشت لنجان اصفهان"، فصل نامه علوم زمین، پاییز ۹۱، سال بیست و دوم، شماره ۸۵، ص ۱۷۳-۱۸۶.

۳۵. نصرتی آ. و باقری ر، ۱۳۹۴، بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی دشت بسطام، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳۶. ولایتی س، ۱۳۸۱، تأثیر اضافه برداشت آب از چاه‌ها در شور شدن آبخوان دشت جنگل، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۷، شماره ۴، ص ۹۱-۱۰۵.

۳۷. یزدی م. و جبلی م، ۱۳۹۲، بررسی اثرات برداشت بی‌رویه و مدیریت بهره‌برداری پایدار از منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوزه آبریز اردکان - یزد)، اولین کنفرانس ملی هیدروژئولوژی مناطق نیمه‌خشک، سنندج، جهاد دانشگاهی استان کردستان.

38. Allocca.V., Manna.F and Devita.P., 2014, "Estimating annual groundwater recharge coefficient for karst aquifers of the southern Apennines (Italy)." *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2): 803-817.

39. Ebrahimi.M., Kazemi.H., Ehteshami.M and Rockaway.T.D, 2016, "Assessment of groundwater quantity and quality and saltware intrusion in the Damghan basin, Iran", *Chemi der Erde* 76: 227-241.

40. Garcia.M.G., Del. M., Hidalgo. V and Blesa.M.A, 2001, "Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucuman Province, Argentina", *Hydrogeology Journal* 9: 597-610

41. Gan.H.S and Liu.C.W, 2000, "Estimation of the effective precipitation recharge coefficient in an unconfined aquifer using stochastic analysis", *Hydrological Processes*, 14 (4): 811-830.

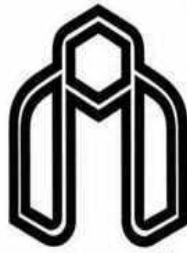
42. Hoque.M.A., Hoque.M.M and AhmedK.M, 2007, “Declining grounawater level and aquifer dewatering in Dhaka Metropolitan area, Bangladesh: Causes and quantification”, *Hydrogeology Journal*, Volum 15, Issue 10, Pp 1023-1045.
43. Hounslow A. W. 1995, “Water Quality Data Analysis and interpretation. Stillwater, Oklahoma, Lewis Publisher”. 379 P.
44. Jahanshahi.R and Zare.M, 2016, “Hydrochemical investigation for delineating salt-water intrusion in to the coastal aquifer of Maharlou Lake, Iran”, *Journal of African Earth Sciences*.
45. Jones.B.F., Vengosh.A., Rosenthal.E and Yechieli.Y, 1999, “Geochemical investigation of groundwater quality. In: Seawater intrusion in coastal aquifers concepts, methods and practices. Kluwer, Netherlands”, Pp: 51-71.
46. Kcaroglo.F and Gunay.G., 1997, “Ground water nitrate pollution in an alluvium aquifer, Eskisehir urban area and its vicinity, Turkey”, *Environmental Geology*31.
47. Keneth.H.F., 2003, *Climate Variation Drought and Desertification*, W.M. Annual Repart Jevenva.
48. Khan.S., Gabriel.H.F and Rana.T, 2008, “Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall an water table in irrigation areas. *Irrigation Drainage System*”. 22: 159-177.
49. Klassen.J and Allen.D.M, 2017, “Assessing the risk of saltwater intrusion in coastal aquifers”, *Journal of Hydrogeology*.
50. Lu.X., Jin.M., Genuchten.M.T and Wang.B, 2011, “Groundwater recharge at five representative site in the Hebei Plain, China”, *Groundwater*, 49 (2): 286-294.
51. Malki.M., Bouchaou.L., Hirich.A., Brahim.Y.A and Choukr-Alla.R, 2016, “Impact of agricultural practices on groundwater quality in intensive irrigated area of Chtouka-Massa, Morocco”, *Science of the Total Environment* 547, 760-770.

52. Nikic.Z and Vidovic.M, 2016, “Hydrogeological conditions and quality of groundwater in northern Banat, Pannonian basin”, *Environmental Geology*, Vol. 52, No 6, Pp 1075-1084.
53. Ozler.H.M, 2015, “Hydrogeology of the Kaklic-(Denizli) Aquifer in Turkey”, *Procedia Earth and Planetary Sciences* 15, 345-352.
54. Panda, Dileep K., Mishra, A., Jens, SK., and Kumar,A. (2007), “The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India”, *Journal of hydrology*: 343, 140-153.
55. Pan Yan, Huili.G., Ying.S, Xinjuan.W and Fei.D, 2017, “Distributed estimation and analysis of precipitation recharge coefficient in strongly-exploited Beijing plain area, China”, *Chinese Geographical Science*, 27 (1): 88-96.
56. Peters.E, Torf.P, Vanlan.H.A.J and Beir.G, 2005, “Drought in groundwater drought distribution and performance indicators”, *Journal of Hydrology* 306: 302-317.
57. Rutulis.M, 1989, “Groundwater drought sensitivity of southern Manitoba, Canadian”, *Water Resources Journal* 14: 18-33.
58. Salih A. 2006, “Qanats a Unique Groundwater Management Tool in Arid Region, The case of Bam Region in Iran”, Paper presented at the International Symposium on Groundwater Sustainability.
59. Shakiba.W., Mirbagheri and Bandkheiri, 1, 2010, “Drought and its impact on groundwater resources in East of Kermanshah Province using SPI”, *Journal-Association study of geography*, No: 25, 105-124.
60. Todd.D.K and Mays.L.W, 2005, “Groundwater Hydrology”, New York,: John Wiley and Sons. Pp.535.
61. Yildana.S.M and Yildana.M., 2010, “An assessment of the origin and variation of groundwater salinity in southeastern Ghana”, *Environ Earth Sci* 61: 1259-1273.

Abstract

Forumad Plains with an area about 650 square kilometer, is located 180 km east of Shahrood. The climate of this area is arid and the average annual precipitation is about 150 mm. A significant percentage of drinking water and irrigation in the plain provided from Qanat's which indicates the importance of protecting these water resources. According to equipotential map, the general trend of groundwater flow in this plain is from the northeastern toward southwest, which is consistent with surface currents. Moreover, it can be seen that the hydraulic gradient in the upstream of the plain is relatively high (i.e. about 0.08) and it markedly decreases in the downstream of the plain (i.e. about 0.016). The main reason for decreasing the hydraulic conductivity in the downstream of the plain is discharging the groundwater by qanats and consequently decrease in groundwater discharge in the aquifer. In general, the groundwater level in this plain has been declining and has fallen by 0.42 meters over a period of 5 years, with an annual average of 8 centimeters. The reason for this relatively low drawdown is that the main drainage of the plain is carried out by the qanats. According to the obtained results, Hardoab qanat with average discharge about 22.8 l/s has the highest discharge whereas the qanats of Mohammad Abad and Hossein Abad with average discharge approximately 3.8 l/s have the lowest discharge. In addition, the coefficient of variation of discharge for Stakhr Sefid qanat is highest (i.e. 10.6%) while it is for Kheir Abad-Shahrestan is lowest (i.e. 1.7%). The hydrogeochemical studies showed that the lowest electrical conductivity of groundwater in this plain was 417 $\mu\text{mhos/cm}$, which is related to the Eish Abad well and the highest value of electrical conductivity is 1480 $\mu\text{mhos/cm}$, which is related to the Stakh Sefid qanat. By calculating ionic ratios and plotting qualitative charts, dissolution and ion exchange were the dominant processes in determining the chemistry of the region and the dominant type of water is Cl-Na and $\text{HCO}_3\text{-Na}$.

Keywords: Forumad Plain, Equipotential map, unit hydrograph, Water level, Electrical Conductivity



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Hydrogeology and Environmental Geology Group

M. Sc. Thesis

**Evaluating the hydrogeological and hydrogeochemical
characteristics of Forumad Plain, NE of Shahrood**

By:

Mahboubeh Talebizadeh Sardari

Supervisor:

Dr. Gh. Karami

Jan 2018