





دانشکده علوم زمین

گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی دشت جاجرم، استان

خراسان شمالی

نگارنده: مصطفی رضاپور منفرد

استاد راهنما:

دکتر رحیم باقری

بهمن ۱۳۹۶

شماره:
تاریخ:

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 آقای مصطفی رضاپور منفرد با شماره دانشجویی ۹۴۰۸۱۳۴ رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی منابع آب دشت جاجرم، استان خراسان شمالی، که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود	☒ قبول (با درجه: ...)
☒ عملی	☐ نظری
نوع تحقیق:	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر رحیم باقری	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی اکبر مؤمنی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر هادی جعفری	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر مراد لاریجانی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۴/۱۱/۱۴



تبصره: 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 بہ

پدر و مادر مہربانم

تشکر

در این هنگام که با لطف و عنایت الهی، کار نگارش و تدوین این تحقیق به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم در ابتدا از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که در نهایت صبر و بردباری، همواره محیطی مساعد و آرام را جهت رشد و تحصيلاتم فراهم نمودند، سپاس‌گزاری نمایم و از زحمات بی‌شائبه استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر باقری که در تهیه و تکمیل این پژوهش همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان بهره برده‌ام کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

همچنین از زحمات اساتید دلسوز و محترم گروه آب شناسی دانشکده علوم زمین، جناب آقایان دکتر کرمی و دکتر جعفری که در طول مدت انجام این پایان نامه از راهنمایی‌ها و همکاری‌های بی‌دریغشان بهره برده‌ام، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان نیز تشکر ویژه از جناب آقای مهندس سعید مجرد، ایوب طاهری، مجتبی محمدی و همه‌ی دوستان و همکلاسی‌های گرامی‌ام خانم‌ها طالبی‌زاده، توکلی، برومند، صالحی، موسوی و اشجاری و آقایان میرحسینی، شاه‌حسینی، سوده‌گی، کاظمی و مخدومی که در دوران تحصيلاتم، نهایت کمک و همیاری را در حق اینجانب نمودند، کمال تشکر و سپاس‌گزاری را می‌نمایم.

مصطفی رضاپور منفرد

بهمن‌ماه ۱۳۹۶

تعهد نامه

اینجانب **مصطفی رضاپور منفرد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی منابع آب دشت جاجرم، استان خراسان شمالی** تحت راهنمایی آقای دکتر رحیم باقری متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده 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 تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود 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 تأثیر گذار بوده اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های 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 اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ .

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب 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 جاجرم با وسعتی حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی $۵۶^{\circ} ۱۰'$ تا $۵۶^{\circ} ۳۶'$ طول شرقی، $۳۷^{\circ} ۳'$ تا $۳۶^{\circ} ۵۰'$ عرض شمالی در شهرستان گرمه و جاجرم واقع شده است. استخراج آب از سفره آب زیرزمینی در این منطقه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. تعداد چاه‌های بهره‌برداری ۱۰۹ حلقه چاه می‌باشد که مصرف کشاورزی و شرب دارد. در حوالی شهر جاجرم تراکم چاه‌های بهره‌برداری بیشتر می‌باشد در حالی که در قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی از میزان چاه‌های بهره‌برداری کاسته می‌شود. هدف از انجام این مطالعه، بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی این آبخوان است. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی، از اطلاعات سطح آب ۱۶ حلقه پیزومتر موجود در دشت استفاده شده است، که نشان می‌دهد آبخوان از شمال و ارتفاعات غربی در حال تغذیه می‌باشد و همچنین جهت عمومی آب زیرزمینی همانند شیب سطح زمین به سمت جنوب و جنوب شرقی می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی هیدروگراف واحد از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۴ ترسیم شد. طی این دوره ۱۷ ساله سطح آب زیرزمینی ۷ متر افت را نشان می‌دهد. به طوری که بیشترین افت در مرکز دشت و کمترین مقدار افت در قسمت جنوبی به دلیل برداشت کمتر و ناحیه شمالی به دلیل وجود تغذیه از ارتفاعات، رخ داده است. بررسی هیدروژئوشیمیایی بر اساس آنالیز شیمیایی آب ۲۷ نمونه از چشمه، چاه، و رود کال شور صورت گرفته نشان می‌دهد کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر تغذیه سازندهای احاطه کننده و نفوذ آب شور است. به طوری که در ناحیه تغذیه کمترین مقدار هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های اصلی را در نمونه‌ها قابل مشاهده می‌باشد، و در جهت جریان از سمت ناحیه تغذیه کننده به سمت مرکز مقدار هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها افزایش پیدا می‌کند.

کلیدواژه: دشت جاجرم، هیدروژئوشیمی، هیدروژئولوژی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. رضاپور منفرد م. باقری ر. رونقی ا. (۱۳۹۵)، "بررسی هیدروژئوشیمیایی و نفوذ آب شور در دشت جاجرم، استان خراسان شمالی" سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
۲. رضاپور منفرد م. باقری ر. رونقی ا. (۱۳۹۶)، "بررسی نوسانات سطح ایستابی دشت جاجرم، استان خراسان شمالی" دهمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، تبریز.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۳
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه.....	۴
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه.....	۶
۱-۴-۱- چینه شناسی.....	۷
۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختمانی.....	۱۰
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه.....	۱۰
۶-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه.....	۱۱
۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه.....	۱۱
فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین.....	۱۳
۱-۲- مقدمه.....	۱۴
۲-۲- عوامل مؤثر بر کمیت آب زیرزمینی.....	۱۴
۱-۲-۲- تاثیر نزولات جوی و خشکسالی بر کمیت آب زیرزمینی.....	۱۵
۲-۲-۲- تاثیر برداشت بیش از حد بر روی کمیت آب زیرزمینی.....	۱۷
۳-۲- عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی.....	۱۹
۱-۳-۲- اثر سازندهای زمین‌شناسی و نفوذ آب‌شور بر کیفیت منابع آب.....	۱۹
۲-۳-۲- اثر برداشت بیش از حد بر کیفیت آب زیرزمینی.....	۲۱
۴-۲- اثر پساب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری، صنعتی بر کیفیت آب زیرزمینی.....	۲۳
فصل سوم: روش انجام کار.....	۲۵
۱-۳- مقدمه.....	۲۶
۲-۳- جمع‌آوری آمار و داده‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی.....	۲۶
۳-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه.....	۲۷
۴-۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از آبهای زیرزمینی.....	۲۷

۳-۴-۱-	پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری.....	۲۸
۳-۴-۲-	پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.....	۲۹
۳-۵-	تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه.....	۲۹
۳-۵-۱-	نقشه کیفی و سری زمانی داده‌های کیفی منطقه مورد مطالعه.....	۲۹
۳-۵-۲-	رسم نمودارهای کیفی آبخوان.....	۲۹
۳-۵-۳-	نمودارهای ترکیبی.....	۳۰
۳-۶-	داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه.....	۳۰
۳-۶-۱-	ترسیم سری زمانی تغییرات سطح آب در پیزومترها.....	۳۱
۳-۶-۲-	رسم هیدروگراف واحد دشت:.....	۳۱
۳-۶-۳-	تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و همافت آخوان جاجرم.....	۳۱
۳-۶-۴-	بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت جاجرم.....	۳۱
فصل چهارم: ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی آبخوان منطقه مورد مطالعه..... ۳۳		
۴-۱-	مقدمه.....	۳۴
۴-۲-	هیدروژئولوژی آبخوان دشت جاجرم.....	۳۴
۴-۲-۱-	بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه.....	۳۴
۴-۲-۲-	ارزیابی دشت بر اساس افت طولانی مدت.....	۳۹
۴-۲-۳-	هیدروگراف واحد دشت منطقه مورد مطالعه.....	۴۴
۴-۲-۴-	بررسی وضعیت بیلان منطقه مورد مطالعه.....	۴۷
۴-۲-۵-	ارزیابی نتایج آزمون پمپاژ در دشت جاجرم.....	۵۳
۴-۳-	هیدروشیمی آبخوان دشت جاجرم.....	۵۹
۴-۳-۱-	جمع آوری داده‌های هیدروشیمیایی.....	۶۰
۴-۳-۲-	بررسی تغییرات هدایت الکتریکی.....	۶۲
۴-۳-۳-	بررسی تغییرات یون کلر.....	۶۸
۴-۳-۴-	بررسی غلظت یون سولفات.....	۷۰
۴-۳-۵-	ارزیابی غلظت سایر یون‌ها.....	۷۳

۶-۳-۴- نمودارهای ستونی یون‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه.....	۷۵
۴-۴- تعیین رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه.....	۷۶
۴-۴-۱- شاخص اشباع.....	۸۲
۴-۵- بررسی تکامل ژئوشیمیایی دشت جاجرم.....	۸۵
۴-۵-۱- بررسی اختلاط آبشور در نمونه‌های دشت جاجرم.....	۹۴
۴-۶- تجزیه و تحلیل فاکتوری.....	۹۹
۴-۷- ارزیابی منابع آب آبخوان دشت جاجرم از لحاظ مصارف کشاورزی.....	۱۰۲
فصل پنجم.....	۱۰۵
۱-۵- بررسی هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی دشت جاجرم.....	۱۰۶
۵-۲- بررسی هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.....	۱۰۸
۳-۵- پیشنهادها.....	۱۱۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: نقشه راهها و موقعیت دشت جاجرم در کشور..... ۴
- شکل ۲-۱: نمودار امپرومتریک ایستگاه جاجرم..... ۵
- شکل ۳-۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۹
- شکل ۱-۳: نقاط نمونه برداری از منابع دشت جاجرم..... ۲۷
- شکل ۲-۳: نقشه محل پیزومترهای دشت جاجرم..... ۳۰
- شکل ۱-۴: نقشه همپتانسیل آب زیرزمینی آبخوان جاجرم خرداد ماه ۱۳۸۰..... ۳۷
- شکل ۲-۴: نقشه همپتانسیل آب زیرزمینی آبخوان جاجرم خرداد ماه ۱۳۸۷..... ۳۷
- شکل ۳-۴: نقشه همپتانسل سطح آب زیرزمینی آبخوان جاجرم خرداد ماه ۱۳۹۴..... ۳۸
- شکل ۴-۴: الف) مقدار افت ب) موقعیت چاههای پمپاژ در نقشه زون بندی افت..... ۴۰
- شکل ۵-۴: میزان افت سطح آب در پیزومترهای موجود و مقاطع عرضی سطح آب در دشت جاجرم در فروردین ماه ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۳..... ۴۱
- شکل ۶-۴: تغییرات مکانی تراز سطح ایستابی در دشت جاجرم..... ۴۲
- شکل ۷-۴: گروهبندی پیزومترها بر اساس رفتار سری زمانی تغییرات تراز سطح آب بر حسب متر از سطح دریا..... ۴۳
- شکل ۸-۴: تیسن بندی آبخوان دشت جاجرم..... ۴۶
- شکل ۹-۴: هیدروگراف واحد دشت جاجرم..... ۴۶
- شکل ۱۰-۴: محل چاههای پمپاژ در دشت جاجرم..... ۵۵
- شکل ۱۱-۴: لاگ حفاری چاه شماره (۳)..... ۵۶
- شکل ۱۳-۴: لاگ حفاری چاه شماره (۴)..... ۵۷
- شکل ۱۳-۴: نمودار Theis و Coope & Jacob مرحله اول چاه شماره (۳)..... ۵۸
- شکل ۱۴-۴: نمودار Theis و Cooper & Jacob مرحله دوم چاه شماره (۳)..... ۵۸
- شکل ۱۵-۴: نمودار Theis و Cooper & Jacob مرحله اول چاه شماره (۴)..... ۵۸
- شکل ۱۶-۴: نمودار Theis و Cooper & Jacob مرحله دوم چاه شماره (۴)..... ۵۹
- شکل ۱۷-۴: نقاط و منابع مختلف نمونه برداری آب زیرزمینی از دشت جاجرم..... ۶۲
- شکل ۱۸-۴: پراکندگی نقاط و دسته بندی مقادیر هدایت الکتریکی در نمونههای دشت جاجرم شهریورماه ۱۳۸۱..... ۶۴

- شکل ۴-۱۹: پراکندگی نقاط و دسته بندی مقادیر هدایت الکتریکی در نمونههای دشت جاجرم شهریورماه ۱۳۸۸ ۶۴
- شکل ۴-۲۰: پراکندگی نقاط و دسته بندی مقادیر هدایت الکتریکی در نمونههای دشت جاجرم شهریورماه ۱۳۹۴ ۶۵
- شکل ۴-۲۱: تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در دشت جاجرم در آبان ماه ۱۳۹۵ (مقدار بر اساس $\mu\text{mohs/cm}$) ۶۵
- شکل ۴-۲۴: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی مقطع شمال شرقی- مرکز دشت (A) ۶۶
- شکل ۴-۲۵: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی مقطع جنوب شرقی- شمال غربی (B) ۶۷
- شکل ۴-۲۶: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی مقطع جنوب غربی- شمال شرقی (C) ۶۷
- شکل ۴-۲۷: پراکندگی غلظت یون کلر در نمونههای آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۱ (epm) ۶۹
- شکل ۴-۲۸: پراکندگی غلظت یون کلر در نمونههای آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۸ (epm) ۶۹
- شکل ۴-۲۹: پراکندگی غلظت یون کلر در نمونههای آب دشت جاجرم سال ۱۳۹۴ (epm) ۷۰
- شکل ۴-۳۰: پراکندگی غلظت یون سولفات در نمونههای آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۱ (epm) ۷۱
- شکل ۴-۳۱: پراکندگی غلظت یون سولفات در نمونههای آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۸ (epm) ۷۲
- شکل ۴-۳۲: پراکندگی غلظت یون سولفات در نمونههای آب دشت جاجرم سال ۱۳۹۴ (epm) ۷۲
- شکل ۴-۳۳: غلظت یون کلسیم در نمونههای آب زیرزمینی دشت جاجرم (epm) ۷۳
- شکل ۴-۳۴: غلظت یون منیزیم در نمونههای آب زیرزمینی دشت جاجرم (epm) ۷۴
- شکل ۴-۳۵: غلظت یون سدیم در نمونههای آب زیرزمینی دشت جاجرم (epm) ۷۵
- شکل ۴-۳۶: نمودار ستونی غلظت یونهای اصلی در منابع آب دشت جاجرم ۷۶
- شکل ۴-۳۷: نمودار استیف منابع آب گروه ۱ ۷۷
- شکل ۴-۳۸: نمودار استیف منابع آب گروه ۲ ۷۸
- شکل ۴-۴۰: نمودار شولر منابع آب دشت جاجرم (گروه اول) ۷۹
- شکل ۴-۴۱: نمودار شولر منابع آب دشت جاجرم (گروه دوم) ۷۹
- شکل ۴-۴۲: نمودار شولر منابع آب دشت جاجرم (گروه سوم) ۸۰
- شکل ۴-۴۳: نمودار پایپر نمونههای دشت جاجرم ۸۱
- شکل ۴-۴۴: مقادیر نمایههای اشباع در منابع آب دشت جاجرم ۸۳
- شکل ۴-۴۵: رابطه نمایههای اشباع کلسیت در مقابل نمایههای اشباع دولومیت در منابع آب دشت جاجرم ۸۵
- شکل ۴-۴۶: رابطه بین یونهای اصلی آب با هدایت الکتریکی ۸۶

- شکل ۴-۴۷: نمودار ترکیبی نمونه‌های دشت جاجرم..... ۸۷
- شکل ۴-۴۸: نمودار نسبت سدیم به کلر در مقابل کلر مربوط به دشت جاجرم..... ۸۸
- شکل ۴-۴۹: نسبت Ca در مقابل SO_4 در منابع آب دشت جاجرم..... ۹۰
- شکل ۴-۵۰: نسبت Mg در مقابل SO_4 در منابع آب دشت جاجرم..... ۹۰
- شکل ۴-۵۱: نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 در منابع آب مختلف جاجرم..... ۹۱
- شکل ۴-۵۲: نمودار مجموع کلسیم به منیزیم نسبت به سولفات به نسبت سدیم به کلر..... ۹۲
- شکل ۴-۵۳: شاخص اشباع کلسیت نسبت به غلظت یون سولفات در نمونه‌های دشت جاجرم..... ۹۳
- شکل ۴-۵۴: شاخص اشباع دولومیت نسبت به یون سولفات در نمونه‌های دشت جاجرم..... ۹۳
- شکل ۴-۵۵: شاخص اشباع ژپس نسبت به سولفات در نمونه‌های دشت جاجرم..... ۹۳
- شکل ۴-۵۶: نسبت بیکربنات به سولفات نمونه‌های آب دشت جاجرم..... ۹۴
- شکل ۴-۵۷: بررسی فرایند اختلاط در گروه‌های مختلف منابع آب دشت جاجرم..... ۹۶
- شکل ۴-۵۹: نمودار ضرایب چرخش عاملها..... ۱۰۲
- شکل ۴-۶۰: دیاگرام ویلکاکس مربوط به منابع آب دشت جاجرم ۱۳۹۵..... ۱۰۴

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: میانگین مقادیر بارندگی، درجه حرارت و نم نسبی در ایستگاه سینوپتیک جاجرم..... ۶
- جدول ۱-۴: مختصات و ارتفاع سطح ایستابی در پیزومترها در خردادماه ۱۳۸۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۴..... ۳۶
- جدول ۲-۴: مقاطع ورودی جریان آب زیرزمینی به محدوده بیلان..... ۴۸
- جدول ۳-۴: بررسی وضعیت بیلان آبخوان جاجرم در یک دوره ۱۷ ساله..... ۵۲
- جدول ۴-۴: تخمین آبدهی ویژه صحرایی بافت‌های غالب رسوبات (کرمی ۱۳۸۹ - کرمی ۱۳۹۱)..... ۵۴
- جدول ۵-۴: بافت غالب رسوبات و آبدهی ویژه (%). ۵۵
- جدول ۶-۴: مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره بدست آمده از آزمون پمپاژ در منطقه مورد مطالعه..... ۵۹
- جدول ۷-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت جاجرم آبان‌ماه ۱۳۹۵..... ۶۱
- جدول ۸-۴: جدول نمایه‌های اشباع نمونه‌های دشت جاجرم..... ۸۴
- جدول ۹-۴: درصد اختلاط و مقادیر غلظت یون‌های اصلی در فرآیند اختلاط (epm)..... ۹۸
- جدول ۱۰-۴: ماتریس عامل‌ها نمونه‌های منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۰
- جدول ۱۱-۴: نتایج تجزیه به عوامل (پس از چرخش واریماکس)..... ۱۰۱

فصل اول

کلیات

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع آب شیرین در سراسر جهان می‌باشد. بسیاری از تمدن‌های بزرگ بشری در کنار منابع مهم آب چون نهرها و رودخانه‌ها بزرگ ایجاد شده‌اند. روز به روز که بر تعداد جمعیت دنیا افزوده می‌شود و سطح تمدن و فرهنگ بالا می‌رود و علم و تکنولوژی توسعه پیدا می‌کند، مصرف آب زیادتر می‌شود. امروزه با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت، فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی وارد شده است.

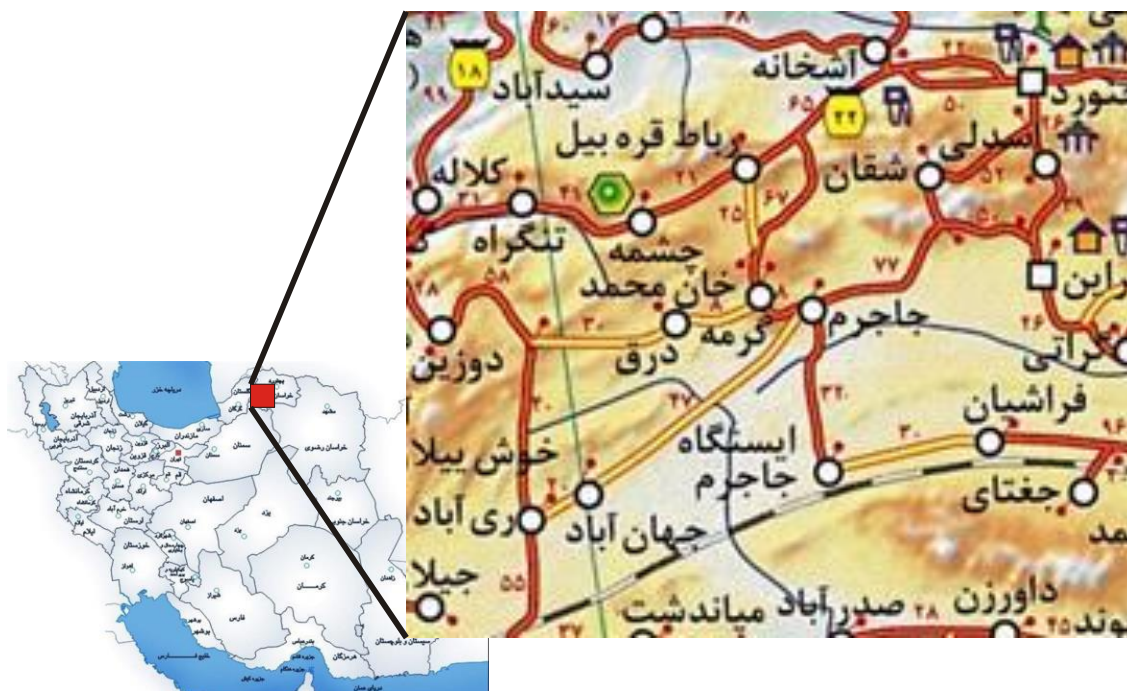
آب زیرزمینی به عنوان یک منبع تجدیدپذیر و قابل دسترس همواره در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک مورد توجه بوده است. این مسئله در کنار وقوع خشکسالی‌های شدید طولانی مدت شرایطی را برای کشور، خصوصاً مناطق خشک و نیمه خشک پدید آورده است. که آن را با چالشی جدی در زمینه کمیت و کیفیت آب مواجه کرده است. برنامه ریزی مدیریتی برای استفاده از منابع آب زیرزمینی بیش از هر چیز نیازمند آگاهی از وضعیت کیفیتی و کمی آن است. دسترسی به منابع آب یکی از ملزومات اساسی رشد اقتصادی و صنعتی در هر جامعه است. در کشورهای مواجه با کمبود بارش مانند ایران نیاز به توجه و سرمایه‌گذاری بیشتری در این زمینه احساس می‌شود. در اکثر مناطق کم بارش تأمین آب مورد نیاز شرب، کشاورزی و صنعت با تکیه بر آب زیرزمینی می‌باشد و مدیریت آبخوان‌ها در این مناطق نیاز به شناخت دقیق وضعیت موجود و تغییرات آن در شرایط مختلف دارد. در بسیاری موارد در مناطق بیابانی کشور و همجوار با منابع آب شور، چاه‌های عمیق بدون مطالعه کافی و جامع حفر شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. این امر با تأثیر مستقیم بر گرادیان هیدرولیکی، باعث پیشروی آب شور در سفره‌های آب زیرزمینی شده است. در صورتی که با داشتن اطلاعات دقیق و به روز از وضعیت منابع آب زیرزمینی مانند وضعیت تغذیه، برداشت و روند تغییرات در طول دوره آماری چند ساله می‌توان در برنامه ریزی مدیریتی لازم نظیر برداشت مقدار مجاز زراعت از منابع آب زیرزمینی نقش بسزایی ایفا نمود. بنابراین ارزیابی کمی و کیفیت آب‌های زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است و در این راستا

بررسی‌های هیدروژئوشیمی و هیدروژئولوژی آب زیرزمینی به عنوان راهکار علمی برای اقدامات مدیریتی ضروری می‌باشد.

شهرستان جاجرم در ۱۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بجنورد در استان خراسان شمالی واقع است. درصد قابل توجهی از آب مورد نیاز برای مصارف مختلف از آب زیرزمینی به صورت چاه‌های بهره‌برداری و همچنین قنات و چشمه، برداشت می‌گردد. با توجه به موارد فوق، اهمیت محافظت از آبخوان و مدیریت صحیح آن به منظور استفاده بلند مدت، امری بدیهی و واضح است. خطر مهمی که این آبخوان را مانند سایر دشتهای مشابه آن تهدید می‌کند، بهره‌برداری بیش از آبدهی مجاز بنابراین کاهش احتمالی کیفیت در اثر هجوم آب شور است. با توجه به کاهش میزان بارندگی و در پی آن کاهش تغذیه آبخوان و در برابر آن افزایش برداشت با رشد صنعت، کشاورزی و جمعیت، عمق آب‌های زیرزمینی در این منطقه افزایش یافته است. مدیریت صحیح یک آبخوان نیاز به شناخت مناسب وضعیت موجود و همچنین تغییرات آن در شرایط مختلف دارد. هدف از انجام این تحقیق، مطالعه کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت جاجرم می‌باشد. با توجه به این که مطالعه جامع تاکنون در دشت نشده است، انجام آن ضروری است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهرستان جاجرم در محدوده جغرافیایی $56^{\circ} 10'$ تا $56^{\circ} 36'$ طول شرقی و $37^{\circ} 3'$ تا $36^{\circ} 50'$ عرض شمالی در استان خراسان شمالی جای دارد. حوضه جاجرم دارای وسعتی حدود ۲۴۷۷ کیلومتر مربع که ۹۳۵ کیلومتر مربع آن دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. جاده بجنورد - جاجرم در ناحیه شرقی دشت و جاده جاجرم - شاهرود قسمت شمال غربی دشت، راه‌های اصلی منطقه به حساب می‌آیند (شکل ۱-۱).

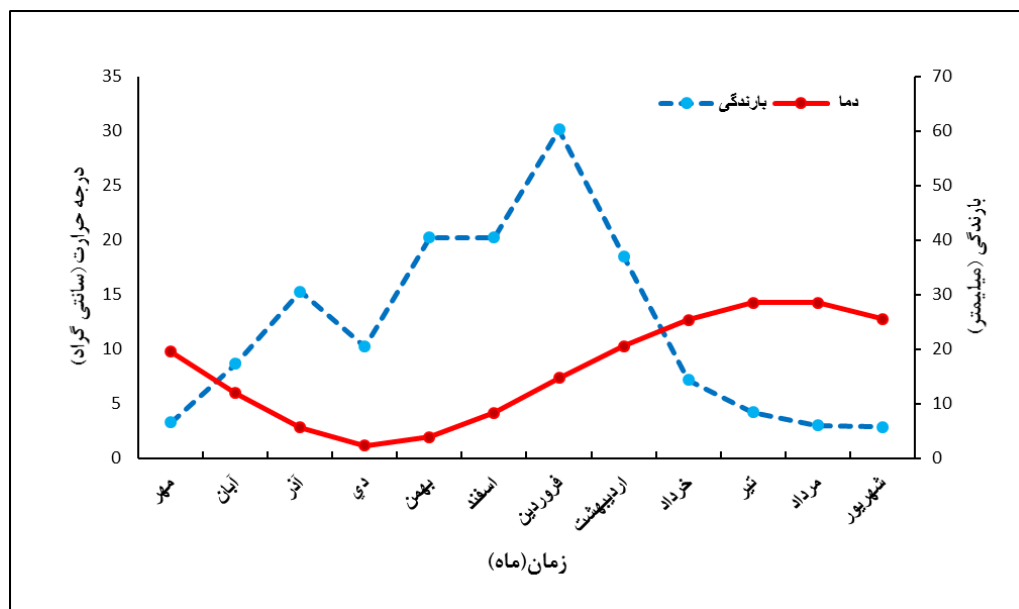


شکل ۱-۱: نقشه راه‌ها و موقعیت دشت جاجرم در کشور

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

از داده‌های بارندگی و دما ایستگاه‌های موجود در دشت جاجرم برای ارزیابی آب و هوای منطقه استفاده شد. باتوجه به آمار ارائه شده در ایستگاه‌ها بیشترین مقدار بارندگی در فرودین اسفند و فرودین ماه و حداکثر مقدار دما در مرداد ماه می‌باشد. میانگین دمای سالیانه $15/6$ درجه سانتی گراد و میانگین بارندگی دراز مدت 142 میلیمتر در منطقه طی آمار 17 ساله می‌باشد. در جدول (۱-۱) مقادیر درجه حرارت ماهانه و همچنین متوسط بارندگی ماهانه برای دوره 18 ساله ایستگاه جاجرم نمایش داده شده است. با توجه به آمار ارائه شده، نمودار امبرومتریک برای ایستگاه جاجرم (شکل ۱-۲) رسم گردید. با توجه به نمودار مذکور، در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. بر طبق این نمودار فصل تر منطقه تقریباً از آبان ماه تا اردیبهشت ماه بوده و بقیه سال، فصل خشک می‌باشد. حداکثر متوسط بارندگی در ایستگاه جاجرم به میزان $30/1$

در فرودین ماه می‌باشد. همچنین حداکثر و حداقل دما در این ایستگاه به ترتیب $28/5$ درجه سانتی گراد در مرداد ماه و $2/4$ درجه سانتی گراد در دی ماه است.



شکل ۱-۲: نمودار امیرومتریک ایستگاه جاجرم

میزان نم نسبی در اراضی مرتفع و دشتی ناحیه مورد مطالعه تفاوت محسوسی ندارد ولی این پارامتر در طول سال و در ماه‌های متفاوت دارای اختلاف است که بدین ترتیب با توجه به جدول (۱-۱) می‌توان گفت تغییرات نم نسبی در دشت جاجرم در فصل سرد بین ۴۹ تا ۶۲ درصد و در فصل گرم بین ۴۳ تا ۴۸ درصد بوده، مرطوب‌ترین ماه سال دی ماه با ۶۲ درصد و خشک‌ترین ماه سال مهرماه با ۴۳ درصد است.

جدول ۱-۱: میانگین مقادیر بارندگی، درجه حرارت و نم نسبی در ایستگاه سینوپتیک جاجرم

مشخصه آماری			ایستگاه
زمان	متوسط بارندگی (میلیمتر)	متوسط درجه حرارت	متوسط نم نسبی
مهر	۳/۲۹	۱۹/۶	۴۳
آبان	۸/۶۶	۱۲	۴۹
آذر	۱۵/۲۸	۵/۶	۵۶
دی	۱۰/۲۶	۲/۴	۶۲
بهمن	۲۰/۲۳	۴	۵۹
اسفند	۲۰/۲۴	۸/۴	۵۵
فروردین	۳۰/۱۳	۱۴/۷	۴۸
اردیبهشت	۱۸/۵۳	۲۰/۶	۴۷
خرداد	۷/۱۷	۲۵/۴	۴۶
تیر	۴/۲۲	۲۸/۵	۴۹
مرداد	۳/۰۲	۲۸/۵	۴۹
شهریور	۲/۸۶	۲۵/۵	۴۸

۱-۴- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه خصوصیات مشابهی با البرز شرقی و همچنین ایران مرکزی دارد. در این ناحیه واحدهای سنگی مختلفی از پالئوزوئیک تا عهد حاضر رخنمون دارد. بخش قابل توجهی از واحدهای سنگی منطقه مربوط به دوره‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد.

۱-۴-۱- چینه شناسی

ارتفاعات این ناحیه از سازندهای متنوع زمین شناسی از کربنیفر تا عهد حاضر تشکیل شده است. بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه، مهم ترین سازندهای که در منطقه رخنمون دارد، از قدیم به جدید شامل مبارک، لار، شمشک، الیکا، گنگلومرا و رسوبات کواترنری می باشد (آقانیاتی ۱۳۸۳). شکل (۱-۳) نقشه زمین شناسی منطقه را نشان می دهد.

۱- پالئوزوئیک

در این دوره محدوده مورد مطالعه تنها منحصر به رسوبات کربنیفر می باشد. رخنمون سازند مبارک در قسمت شمال و شمال شرقی برون زد دارد.

❖ سازند مبارک

آهک متوسط لایه و دولومیت توده ای و در قسمت پایینی شیل آهکی به ضخامت ۴۵۰ متر مربوط به کربنیفر می باشد.

۲- مزوزوئیک

در این دوره، رسوبات مربوط تریاس پیشین و پسین، ژوراسیک پیشین، بالایی و کرتاسه رخنمون بیشتری دارند و علت آن را می توان به عملکرد فازهای کوهزایی نسبت داد. رسوبات متعلق به کرتاسه بصورت یک دگرشیبی بر روی رسوبات ژوراسیک بالایی قرار گرفته اند.

❖ سازند الیکا

بخش بالایی سازند الیکا که شامل کربنات های دولومیتی- آهکی روشن و متراکم که ضخامت های متفاوتی دارد و در برش الگو ۱۰۰۰ متر ضخامت دارد و مربوط به دوره تریاس پیشین می باشد.

❖ سازند شمشک

سازند شمشک با داشتن چهار زون سنگی و به ضخامت کل ۱۰۲۷ متر شامل ماسه سنگ پایینی، سری زغالدار میانی، ماسه بالایی و سری زغالدار بالایی تقسیم می‌شود که مربوط به تریاس پسین و ژوراسیک پیشین می‌باشد.

❖ سازند لار

سازند لار با ضخامت ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر که دارای ۲ بخش بالایی و پایینی می‌باشد. بخش پایینی شامل آهک‌های سفید تا قهوه‌ای با لایه‌بندی به ضخامت ۵ تا ۲۰ سانتی متر و قسمت بالایی نسبت به قسمت پایینی توده‌ای است. و در سراسر البرز به صورت صخره‌های سفید رنگ قابل مشاهده است که مربوط به ژوراسیک بالایی می‌باشد.

۳- سنوزوئیک

واحدهای سنوزوئیک واقع در این منطقه بیشتر شامل رسوبات منفصل و کنگلومرا و رسوبات تبخیری گچ دار می‌باشد که سن بیشتر این رسوبات مربوط به نئوژن می‌باشد.

۴- رسوبات کواترنری

این رسوبات متعلق با آخرین دوران بوده و اکثراً از نهشته‌های آبرفتی، پادگانه‌های مسطح و بادبزنی‌های آبرفتی رودخانه‌های عهد حاضر تشکیل شده است. آبرفت در مرکز دشت ضخامت زیاد دارد و با نزدیک شدن به ارتفاعات، ضخامت آبرفت کاهش می‌یابد. این رسوبات به وسیله دریا‌های کم‌عمق و جریان‌های سطحی برجا مانده‌اند که در سطح دشت‌ها و حاشیه ارتفاعات گسترش زیادی دارند.

۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

فلات ایران از نگاه ساختمانی- رسوبی به چندین زون ساختاری تقسیم می‌شود که حد جدایش آن‌ها گسل‌های اصلی یا روراندگی‌های مهم است. از دیدگاه زمین‌شناختی، منطقه مورد بررسی در دو پهنه‌ی ساختاری ایران مرکزی و البرز شرقی قرار گرفته است (نبوی ۱۳۵۵). بخش شمالی شهر جاجرم در قسمت جنوبی البرز شرقی قرار گرفته است. پهنه ایران مرکزی دربرگیرنده گستره‌ی پهنآوری از مرکز تا جنوب منطقه است. در این ناحیه مرز بین دو زون ساختاری البرز و ایران مرکزی به صورت تدریجی بوده و نمی‌توان آن را دقیق مشخص نمود (آقاباتی ۱۳۸۳).

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

شیب سطح دشت جاجرم تقریباً ملایم و با روندی شمال-شمال خاوری به سمت جنوب- جنوب باختری می‌باشد. ارتفاع در قسمت‌های شمالی و شمال غربی دشت بیشتر از دیگر نواحی می‌باشد. و در کل ارتفاعی حدود ۸۹۰ تا ۱۳۰۰ متر از سطح دریاهای آزاد دارا است. ژئومورفولوژی منطقه متناسب با جنس واحدهای سنگی رخنمون‌ها، سازو کار گسل‌ها، جهت نیروهای ساختمانی و ساختمان زمین‌شناسی می‌باشد. این دشت دارای ارتفاعات قابل توجهی است. سنگ آهک‌های ژوراسیک و تریاس، سازند لار، شمشک و باروت به ترتیب در در غرب و شمال دشت ارتفاعات و پرتگاه‌ها را شکل می‌دهد. تناوب مارن‌های ژیبس‌دار، گستره‌ی پهنآوری در قسمت جنوب شرقی و شمال غربی دشت تشکیل می‌دهد. انباشته‌های کم ارتفاع کواترنری بخش گسترده‌ای از قسمت‌های میانی دشت را پوشانده‌اند که گستره‌ی دشت ناحیه را می‌سازند (شکل ۱-۳).

۱-۶- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

دشت جاجرم دارای زیرحوضه‌های سنخواست و شوقان می‌باشد. مهمترین رودخانه این دشت کال نمک را می‌توان ذکر نمود که در مجموع جریانات سطحی زیر حوضه‌های نام برده شده در آن جریان دارد. تمام جریان سطحی این دشت از طریق کال شور به کویر مرکزی ایران جریان پیدا می‌کند. علاوه بر رودخانه اصلی این منطقه دارای چندین رشته قنات می‌باشد که از ارتفاعات شمال و شمال غربی دشت به سمت جنوب کشیده شده‌است و دشت را تغذیه می‌کند.

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

بر اساس مطالعات انجام شده و اطلاعات موجود از نتایج حفاری اکتشافی، دشت جاجرم دارای آبخوان آزاد می‌باشد. سیستم بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در منطقه به صورت چاه بوده و مهمترین منبع تأمین آب کشاورزی و شرب را در بر می‌گیرد. تعداد چاه‌های بهره‌برداری ۱۰۹ حلقه می‌باشد که جهت مصارف کشاورزی و شرب استفاده می‌شوند. تغییرات آبدهی چاه‌ها از ۵ تا ۴۰ لیتر در ثانیه اندازه‌گیری شده است. در حوالی شهر جاجرم و مرکز دشت تراکم حفاری بیشتر بوده، در حالی که قسمت‌های جنوبی و شرقی دشت از میزان چاه‌های بهره‌برداری کاسته شده‌است. که علت آن وجود مناطق شوره‌زار و کاهش کیفیت آب در این مناطق می‌باشد. رودخانه دائمی کال نمک که از شمال شرق به سمت جنوب غربی دشت در جریان است که به دلیل بالا بودن میزان شوری آن، در کشاورزی و صنعت استفاده نمی‌شود و اهالی منطقه به عنوان منبع تولید نمک از آن استفاده می‌کنند.

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

امروزه دولت‌ها و دانشمندان به این نکته پی برده‌اند که از ذخایر باید حداکثر بهره‌برداری را با کمترین اتلاف و ضایعات به عمل آورند. مدیریت منابع آب، بخشی از برنامه ریزی توسعه‌ی کشورها تلقی می‌شود و هر کشوری بر مبنای میزان منابع آب در دسترس، رویکرد و برنامه خاصی را برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود اجرا می‌کند.

منابع آب زیرزمینی، در بسیار از مناطق کشورمان سهم عمده‌ای در تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت دارا می‌باشد. کمی نزولات جوی در سال‌های اخیر، برداشت بیش از ظرفیت آبخوان‌ها جهت مصرف کشاورزی و همچنین برداشت از آبخوان جهت مصارف صنعتی باعث افت شدید سفره‌ها در مناطق مختلف در این سال‌ها شده است. از جمله عوارض جانبی افت سطح سفره‌های می‌توان به فرو نشست زمین، هجوم آب شور، کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی، تخریب اراضی و گسترش بیابان‌زایی اشاره نمود. شرایط کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به عوامل مختلف بستگی دارد. در این فصل به بررسی عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی پرداخته خواهد شد.

۲-۲- عوامل موثر بر کمیت آب زیرزمینی

اصولاً بارندگی تأثیر زیادی بر کمیت آب زیرزمینی می‌گذارد. مقدار 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 معنی

داری 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.

۲-۲-۱- تأثیر نزولات جوی و خشکسالی بر کمیت آب زیرزمینی

بر اساس تعریف هیدرولوژیست‌ها، خشکسالی به دوره‌ای گفته می‌شود که جریان رودخانه‌ها کمتر از مقدار طبیعی رسیده و رواناب یا ذخایر منابع به شدت کاهش یافته و علت همه‌ی موارد، بارندگی کمتر از حد طبیعی، تبخیر بیش از حد و کاهش تجمع برف است (روشندل ۱۳۹۱).

پدیده خشکسالی که به کمبود بارش در یک دوره بلند مدت گفته می‌شود به دلیل گستردگی مکانی و داشتن تبعات کوتاه مدت و بلند مدت، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، یکی از مهمترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود. اگرچه امروزه به علت پیشرفت‌های علمی و گسترش ارتباطات و حمل و نقل، بروز آثار خشکسالی به شکل قحطی و مرگ دسته جمعی کمتر بروز می‌کند، اما آثار و تبعات دگر ناشی از آن، همچنان پا بر جاست؛ به طوریکه بروز این پدیده می‌تواند موجبات کاهش رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و افت آب‌های زیرزمینی را به همراه داشته باشد (منیری ۱۳۸۳). ملکی‌نژاد و پورشرعیاتی (۱۳۹۰) در یک تحقیق به مطالعه و بررسی خشکسالی آبخوان مروست پرداختند. بدین منظور سطح آب زیرزمینی را به عنوان داده اصلی انتخاب گردید و سه چاه پی‌زومتری با کمترین، بیشترین و متوسط ترین میزان افت انتخاب شد و سپس با شاخص منابع آب زیرزمینی روند خشکسالی را طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۶۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که به طور متوسط از سال ۱۳۸۰ به بعد روند به سمت خشکسالی بوده و روند و شاخص GRI به طور قابل توجه‌ای کاهش یافته است.

بررسی تأثیر اقلیم و خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد عامل اصلی محدودیت بهره‌برداری از منابع آبی منطقه کمی نزولات جوی است. منبع اصلی تأمین نیاز آبی در مناطق خشک ذخایر آب زیرزمینی است، بهره‌برداری غیر اصولی از این منابع و افت سطح آب زیرزمینی نیز از عوامل محدودیت

در بهره‌برداری در منطقه است و البته کاهش میانگین بارش و خشکسالی‌های اخیر در منطقه مه‌ولات نیز مزید بر علت است که در درجه اول سبب کاهش جریان آب سطحی و سپس هجوم مردم به استحصال آب زیرزمینی شده‌است (نجف‌زاده و همکاران ۱۳۹۴). روتولیس (Rutulis 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. پانیان 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. 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). کشور ایران به علت قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک از نظر منابع آب وضعیت نامطلوب‌تر نسبت به متوسط دنیاست. وقوع خشکسالی‌های متناوب و طولانی و نوسانات زیاد آب و هوایی، کمبود آب بویژه آب سطحی را تشدید می‌کند. بدین ترتیب منابع آب‌های زیرزمینی منبع مهمی جهت تأمین آب مصرفی در بخش‌های مختلف اقتصادی، کشاورزی، اجتماعی و شرب مردم این منطقه می‌باشد. خشکسالی از جمله مخاطرات طبیعی است که منجر به بی‌نظمی در سیستم اکولوژیک و یا نابودی شرایط فیزیکی محیطی آن می‌گردد. 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 پیژومتریک در سطح دشت برای یک دوره

۱۷ ساله (۱۳۸۷-۱۳۷۱) 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. 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.

۲-۲-۲- تأثیر برداشت بیش از حد بر روی کمیت آب زیرزمینی

تندیس و همکاران (۱۳۹۰) خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت مشهد، طی یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۰) را مورد بررسی قرار دادند. برای این کار از اطلاعات چاه‌های اکتشافی و نیز داده‌های بلند مدت ۴۳ حلقه چاه استفاده کردند و به کمک آن به رسم نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت و همچنین هیدروگراف معرف دشت پرداختند. مطالعات نشان داد که سطح آب زیرزمینی در بخش جنوبی دشت مشهد پایین است که بیانگر بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بررسی هیدروگراف واحد دشت نیز نشان می‌دهد که میزان افت در مجموع ۱۵ سال، ۱۲/۵۶ متر و سالیانه ۰/۸۳ متر می‌باشد. لشکری‌پور و همکاران (۱۳۸۷) طی مطالعات خود در دشت کاشمر به این نتیجه رسیدند که در اثر برداشت بیش از حد، سطح آب سالیانه چیزی حدود ۰/۸ متر افت خواهد داشت. رضایی و سرگزی (۱۳۸۶) برداشت بیش از حد مجاز آبخوان آبرفتی گوهرکوه در جنوب باختر زاهدان را دلیل بر کاهش تراز آب زیرزمینی دانستند. آنها در بررسی‌های خود بیان کردند که روند کلی هیدروگراف واحد دشت نزولی بوده و سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت گوهرکوه از خرداد ماه ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ به میزان ۱/۶۳ متر افت داشته است.

در دشت شهرکرد که کشاورزی در آن گسترش قابل توجهی دارد، در ساله‌های اخیر با کاهش بارندگی و به ویژه پمپاژ بی‌رویه دچار افت سطح ایستابی شده‌است. به طوری که بررسی‌ها بر روی نوسانات سطح

ایستابی ۱۹ پیزومتر در یک دوره ۱۰ ساله بیانگر افت سطح ایستابی در بیشتر نقاط دشت بوده است. میزان این افت در نقاط مختلف دشت از ۱/۵ متر تا ۹/۷ متر در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوبی دشت متغیر می‌باشد (درویش‌پور و همکاران ۱۳۹۰). 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. 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 برداشت گردیده است. بیشترین میزان افت در حاشیه شمال شرقی دشت و نیز در مرکز و حاشیه جنوب غربی رخ داده است. این افت عمدتاً در نتیجه بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان و به میزان کمتر کاهش بارندگی طی سالیان اخیر می‌باشد. 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). ابراهیمی و همکاران (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 که نتیجه آن کاهش کمیت آب است، به طوری که متوسط سطح آب حدود ۷/۴ متر بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ کاهش یافته است. داناییان و دهقانی (۱۳۸۴) افت در دشت اردکان یزد را تأثیر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی و افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری دانستند و میزان آن را ۴۲ متر طی ۵۰ سال گذشته اعلام کردند. چای و همکاران (Chai et al., 2004) ارتباط بین فرونشست و افت سطح آب را بررسی

کردند. برای این کار شهر شانگهای که بر روی رسوبات رودخانه یانگ تسه قرار گرفته است را انتخاب کردند، در نهایت به این نتیجه رسیدند که پمپاژ بیش از حد آب زیرزمینی، باعث فشردگی رسوبات کواترنری و در نتیجه نشست زمین به میزان ۲ تا ۳ متر در شانگهای چین شده است. امیری (۱۳۸۴)، در مطالعات خود بیان کرد که دشت کبودر آهنگ و فامنین در استان همدان تا کنون بیش از ۲۱ فروچاله در نزدیکی نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی شهید مفتاح همدان تشخیص داده شده و احتمال آسیب به تأسیسات زیربنایی این نیروگاه وجود دارد دچار فرونشست شده است، شایان ذکر است که در این منطقه آب زیرزمینی بین ۳۰ تا ۵۰ متر افت نموده است.

۲-۳- عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی

۲-۳-۱- اثر سازندهای زمین شناسی و نفوذ آب شور بر کیفیت منابع آب

احمدی و تلخابو (۱۳۹۲) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه دائمی گذارچای با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی ۵۳ نمونه آب زیرزمینی پرداختند. بررسی ها لیتولوژی سنگ های دربرگیرنده نشان داد که گسترش سن های کربناته در شمال و شمال غرب محدوده باعث گردیده که این آب ها نسبت به کانی های از قبیل کلسیت و آراگونیت اشباع بوده که نشان دهنده تأثیر احتمالی لیتولوژی سنگ ها دربرگیرنده بر روی شیمی آب زیرزمینی می باشد.

شوری آب های زیرزمینی در مسیر جریان به واسطه واکنش های شیمیایی با مواد سفره، زمان ماندگاری و اختلاط آب های مختلف افزایش می یابد. آب های زیرزمینی در مناطق تخلیه کیفیتی پایین تر از آب زیرزمینی در مناطق تغذیه دارند که این امر به علت واکنش های بین آب-سنگ و امکان اختلاط با آب شور در طی مسیر جریان می باشد (سبوكی ۱۳۷۵).

در سفره های آب زیرزمینی که در حاشیه کویر، در کنار سازندهای شور کننده (گچ و نمک) حاوی آب شور قرار دارند، احتمال افزایش شوری منابع آب و پیشروی جبهه های آب شور بر اثر تغییر تعادل هیدرولیکی با توجه به پتانسیل آن ها وجود دارد (نجف زاده و همکاران ۱۳۹۴).

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 ژئوپس‌دار 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 در منطقه اشتهارد بیشتر از نوع تبخیری و شامل کانی‌های ژئوپس و هالیت هستند. مهم‌ترین این لایه‌ها پهنه‌های نمکی با وسعت زیاد هستند که در قسمت شمالی منطقه رخنمون دارند و در افزایش املاح آب تأثیر بسزایی داشته‌اند، که از عوامل اصلی کاهش دهنده کیفیت آب در این محدوده می‌باشند (عبادی و سپهوند ۱۳۹۴). منشأ یابی و تعیین علل شوری آب زیرزمینی از جمله اقدامات محققان بوده که مطالعه کلانتری و علیجانی (۱۳۸۷) در دشت عباس در استان خوزستان از آن جمله است. برای ارزیابی کیفی آب زیرزمینی نمونه برداری از ۳۱ حلقه چاه بهره‌برداری عمیق در دوره اردیبهشت و مهر ماه صورت گرفت و جهت تعیین یون‌های عمده آن مورد تجزیه شیمیایی قرار دادند. با توجه به اینکه عوامل مختلفی کیفیت آب زیرزمینی دشت عباس را تحت تأثیر قرار می‌دهند، ولی عمده‌تأثر از لیتولوژی بوده که در معرض شوری قرار دارد. به لحاظ ژئوشیمیایی، مسیر تکاملی در ارتباط با انحلال کانی‌های تبخیری ژئوپس و هالیت می‌باشد که باعث شوری بیش از حد آب‌های زیرزمینی دشت عباس شده است. 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. 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 کناره‌های دشت بیشترین مقادیر هدایت هیدرولیکی را دارا می‌باشد.

ارزیابی نفوذ آب شور خلیج فارس در آبخوان ساحلی عسلویه توسط سجادی و همکاران (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. 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 ژپس 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. آبخوان ساحلی دشت مهاباد در نزدیکی نوار ساحلی دارای تیپ آب کلروسدیک می‌باشد. غلظت و ترکیب یون‌های اصلی نشان دهنده نفوذ آب شور دریاچه ارومیه 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). آنالیز پارامترهای شیمیایی اصلی آب‌های زیرزمینی جنوب شرق غنا نشان دهنده تغییرات شوری در این ناحیه می‌باشد. مؤلفه‌های اصلی برای افزایش شوری در این ناحیه شامل هوازگی 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 (Yidana 2010). ارزیابی هیدروشیمیایی برای مشخص نمودن نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دریاچه مهارلو توسط جهانشاهی و زارع (Jahanshahi & 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. پدیده نفوذ آب شور منجر به تخریب کیفیت آب زیرزمینی می‌شود.

۲-۳-۲- اثر برداشت بیش از حد بر کیفیت آب زیرزمینی

از عوامل تأثیر گذار بر کیفیت آب زیرزمینی در یک پروژه در دشت پینگتونگ تایوان، نتیجه گرفتند که کاهش سطح آب زیرزمینی سبب پیشروی آب شور و افت کیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد تحقیق شده است (Hsu et al., 2007). حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و رواج یافتن آنها در کشور طی دهه‌های اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث نفوذ آب شور به داخل سفره‌های آب شیرین در بسیاری از مناطق کشور شده است (کردوانی ۱۳۷۴).

اصغری‌مقدم و همکاران (۱۳۸۹)، با مطالعه روی آب‌های دشت آذر شهر، به این نتیجه رسیدند که به دلیل کاهش نزولات جوی، تغذیه طبیعی آب زیرزمینی کاهش یافته و سطح آب به طور متوسط افت کرده است و همچنین استخراج بی‌رویه از این آب‌ها باعث تنزیل کیفیت آب زیرزمینی و افزایش شوری گشته است به شکلی که در برخی از نقاط هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در طی ۱ سال گذشته از ۱۰۲۰ به ۱۱۱۰ میکروموس بر سانتی متر رسیده است.

بررسی هیدروشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت اراک در سال‌های ۶۴-۷۸ نشان داد که محدوده مورد مطالعه از یک جهت به دلیل کم بودن میزان تغذیه از طریق جریان‌های سطحی و کمی نزولات جوی از حجم ذخیره کمی برخوردار است. از سوی دیگر در اثر بهره‌برداری زیاد، شدیداً منابع آب زیرزمینی آسیب دیده است به شکلی که موجب تغییر کیفیت آب و سولفات‌شدن تیپ آن شده است و این تغییر و کاهش کیفیت باعث محدودیت در مصرف آب زیرزمینی گردیده است (سیادتی ۱۳۸۵). بررسی نتایج تحقیقات در دشت سیرجان نشان می‌دهد برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت، پیامدهای همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین، از بین رفتن اکو سیستم منطقه و خشک شدن باغات و ... را به دنبال داشته است (عباس‌نژاد و شاهی دشت ۱۳۹۲). تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مه‌ولات در استان خراسان رضوی نشان داد که روند رو به رشد تعداد چاه‌های بهره‌برداری از راه‌های مختلف همچون اراضی و در کنار آن کاهش بارش و خشکسالی‌های اخیر، سبب افت سطح آب زیرزمینی در منطقه شده است که به دنبال آن پیشروی جبهه‌های آب شور از

کویرهای مجاور در جنوب و غرب منطقه مطالعاتی را از طریق مسیل‌ها و کانال‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد و کیفیت آب سفره زیرزمینی کاهش می‌یابد (نجف‌زاده و همکاران ۱۳۹۴). برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد 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. ولی‌پور و همکاران (۱۳۸۶) روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده آنها نشان داد که طی ۴۷ سال گذشته، وسعت اراضی ۹ برابر افزایش یافته است که کشاورزی در منطقه افزایش برداشت آب از منابع زیرزمینی را به همراه داشته و موجب افت سطح آب این ناحیه و نهایتاً افزایش شوری شده است.

۴-۲- اثر پساب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری، صنعتی بر کیفیت آب زیرزمینی

امروزه در بسیاری از کشورهای پیشرفته، از منابع آب زیرزمینی آن‌ها به دلیل آلودگی ناشی از نفوذ فاضلاب‌های خانگی و صنعتی استفاده نمی‌شود. عدم استحصال این آب‌ها و همچنین تغذیه زیاد این آبخوان‌ها از منابع شهری سبب بالا آمدن سطح آب در این شهرها و ایجاد مشکلاتی برای سازه‌های این شهرها گردیده است (دولتی ۱۳۸۹). نمونه‌های برداشت شده از آب‌های زیرزمینی و خاک دشت یزد، نشان‌دهنده تأثیر مستقیم پساب‌های واحدهای صنعت نساجی بر روی آب و خاک این دشت می‌باشد به شکلی که در آب‌های زیرزمینی افزایش TDS، Cl و pH را دارا می‌باشد و در خاک‌ها غلظت عناصر کادمیوم، سرب، مس و کروم بیش از حد معمول بوده و در محدوده بحرانی قرار دارد (رحمانی ۱۳۸۸). مقایسه نتایج آنالیز پارامترهای اصلی نمونه‌های برداشت شده از آب زیرزمینی در پایین‌دست لندفیل تاکستان بیانگر افزایش قابل توجه برخی از آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین بوده است. که دلیل آن نشت شیرابه از لندفیل به محیط و نفوذ به منابع آب زیرزمینی می‌باشد (باغوند و همکاران ۱۳۹۴). زابلی‌زاده و همکارانش (۱۳۹۳) آب‌های زیرزمینی دشت یاسوج را در بین سال‌های آماری ۸۴ تا ۹۲

مورد بررسی قراردادند. نتایج ایشان نشان داد با توجه به افزایش نیترات، سولفات و کلر در دشت، درشتدانه 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.

تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در نواحی تحت کشت ناحیه Chtouka، مراکش، توسط مالکی و همکارانش (Malki *et al.* 2016) مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش جنوبی اطراف BelFaa و نواحی آبیاری در طول رودخانه ماسا غلظت نیترات به بیش از ۵۰ میلی گرم 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.

شمعانیان و همکاران (۱۳۸۴) به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و احتمال آسیب‌پذیری آن به منابع آلودگی در حوضه گرگانرود- قره‌سو در استان گلستان از نرم‌افزار GIS استفاده کردند. بر اساس داده‌های زمین‌شناسی، کاربرد اراضی، توپوگرافی و ترکیب شیمیایی نمونه‌های ۸۴ چاه به این نتیجه رسیدند که یون‌های اصلی مانند مقادیر کلراید و سولفات و فعالیت‌های کشاورزی به ترتیب مهم‌ترین آلاینده‌ها و منابع آلودگی در این حوضه هستند. در مناطق شمالی و شمال غربی منطقه به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی نسبت به منابع آلودگی مانند نفوذ پساب‌های شهری و روستایی، چاه‌های جذبی و فعالیت کشاورزی آسیب‌پذیرتر است.

فصل سوم

روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

در این فصل کلیه کارهایی که جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در آبخوان دشت جاجرم انجام شده است، به طور مختصر ارائه می‌شود. به طور کلی فعالیت‌های صورت گرفته برای انجام این تحقیق را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی نمود:

۱. جمع آوری اطلاعات و داده‌های قدیمی دشت جاجرم در رابطه با کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی از طریق آب منطقه‌ای استان.

۲. تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰۰ جاجرم و کورخورد با استفاده از نرم افزار ArcGIS10.3.

۳. نمونه‌برداری از منابع آب منطقه مورد مطالعه.

۴. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان و روند تغییرات کمی و کیفی

۵. تفسیر منحنی‌ها و گراف‌های ترسیم شده و بررسی آن‌ها.

۳-۲- جمع آوری آمار و داده‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی

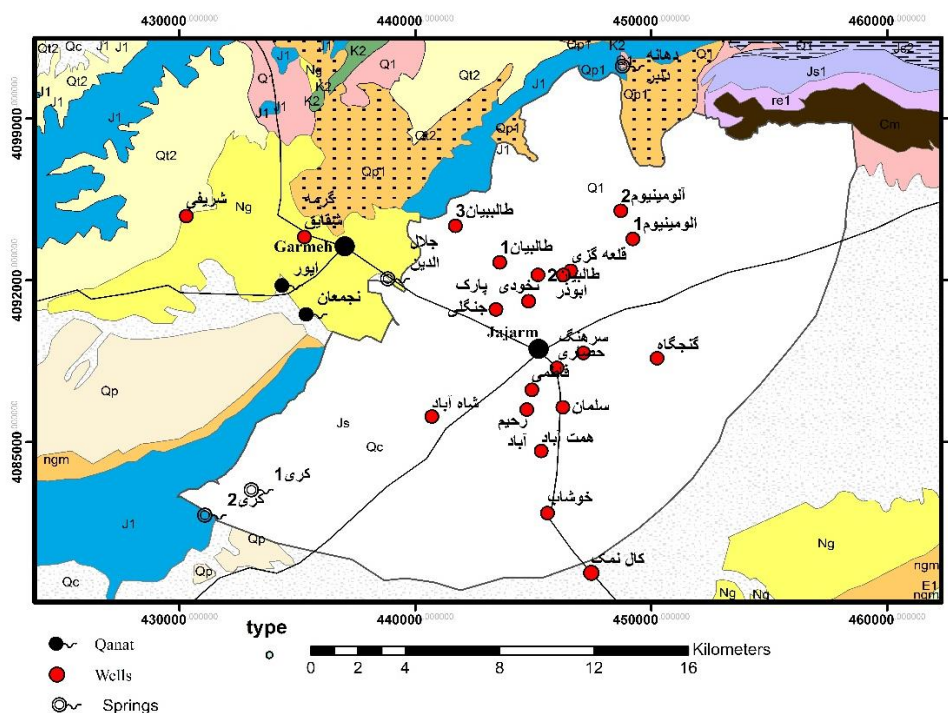
با داشتن داده‌های کیفی و کمی قدیمی می‌توان اطلاعات خوبی را در جهت شناخت تکامل و پویایی سیستم آب زیرزمینی داشت. جمع آوری اطلاعات موجود، اولین گام در بررسی یک آبخوان می‌باشد. به این منظور اطلاعات هیدرشیمی بلند مدت از آنالیز ۱۵ حلقه چاه و داده‌های سطح آب ۱۷ حلقه پیزومتر از سازمان آب منطقه‌ای بجنورد تهیه گردید.

۳-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه

جهت مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی مناطق مختلف دشت، زمین‌شناسی منطقه بایستی دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد که این امر در اکثر موارد به وسیله نقشه‌های زمین‌شناسی صورت می‌گیرد. بدین منظور نقشه زمین‌شناسی دشت جاجرم با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم و کورخود با نرم افزار ArcGIS10.3 تهیه گردید.

۳-۴- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آبخوان آبرفتی موجود در منطقه مورد مطالعه یک دوره بازدید صحرایی و نیز نمونه برداری از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات موجود در منطقه صورت گرفت (شکل ۱-۳). در بازدید صحرایی مختصات جغرافیایی منابع آب نمونه برداری شده توسط دستگاه GPS تعیین شد. در این بازدید تعداد ۲۷ نمونه شامل چشمه، قنات و چاه مورد نمونه برداری قرار گرفت. برخی از خصوصیات آب از جمله هدایت الکتریکی و pH در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شد.



شکل ۳-۱- نقاط نمونه برداری از منابع دشت جاجرم

۳-۴-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری

پارامترهای هیدروشیمیایی هدایت الکتریکی، اسیدیته و دما در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده‌است.

۳-۴-۱-۱- هدایت الکتریکی

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه دیجیتال صحرایی صورت گرفته است. این دستگاه هدایت الکتریکی را با دقت ۱٪ اندازه‌گیری می‌کند. باتوجه به اینکه در محلول‌های آبی، یونها جریان الکتریکی را منتقل می‌نماید، بنابراین EC یک محلول معرف کل مواد محلول (TDS) نمونه می‌باشد. پس از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و ثبت مختصات جغرافیایی آن‌ها، نقشه هدایت الکتریکی آن به روش دستی رسم و با استفاده از نرم افزار ArcGIS10.3 بصورت رقومی درآمده است.

۳-۴-۱-۲- اسیدیته (pH)

pH معیاری از قدرت اسیدی آب می‌باشد. امروزه اندازه‌گیری pH توسط دستگاه‌های دیجیتالی صورت می‌گیرد، قبل از اندازه‌گیری دستگاه بایستی توسط محلول‌های بافر آمونیاکی با pH برابر با ۴،۷،۱۰ کالیبره شود. از دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری، pH می‌باشد که مقدار آن به عواملی از قبیل مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. مقدار اندازه‌گیری شده pH در تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه اندیس اشباع کلسیت و دولومیت و غیره بسیار مؤثر می‌باشد. به همین علت pH نمونه‌ها در محل به وسیله دستگاه pH متر AZ اندازه‌گیری شده است.

۳-۴-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب از قبیل کلر، سدیم، سولفات، منیزیم، بی‌کربنات و کلسیم در آزمایشگاه آب دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شده‌اند. یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر، بی‌کربنات، با روش تیتراسیون مقادیر آن اندازه‌گیری شده است و یون‌های سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شده است، مقادیر سولفات با دستگاه توربیدیتی‌متر اندازه‌گیری شده است. پارامترهای آماری از قبیل درصد اشباع، درصد خطای آزمایش، سختی کل، ضریب تغییرات و نسبت بین یون‌های مختلف از نتایج به دست آمده از آنالیز آزمایشگاه تعیین گردیده‌اند. برای محاسبه این مقادیر و رسم نمودارهای مربوطه از برنامه PHREEQC, Excel و Chemistry استفاده شده است. پس از مشخص شدن میزان یون‌ها، با مشخص بودن مختصات جغرافیایی نقاط، نقشه‌های پراکندگی پارامترهای هیدروشیمیایی (هم‌سولفات، هم‌کلر و ...) بصورت دستی رسم شده و توسط نرم افزار ArcGIS10.3 بصورت رقومی در آمده‌اند.

۳-۵-۲- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

بخش مهمی از مطالعات آبخوان، تحلیل هیدروژئوشیمیایی منطقه می‌باشد. این داده‌ها از ۱۹ حلقه چاه تهیه شده‌اند که مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به منظور تحلیل داده‌ها مراحل ذیل انجام شده‌است:

۳-۵-۱- نقشه کیفی و سری زمانی داده‌های کیفی منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی تغییرات یون‌های اصلی در منطقه و همچنین تغییرات درازمدت این یون‌ها، نقشه‌های هدایت هیدرولیکی، هم‌سولفات و هم‌کلر و ... در زمان‌های مختلف رسم گردید. همچنین سری زمانی طولانی مدت پارامتر EC (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳) در منابع مختلف ترسیم و تفسیر شده است.

۳-۵-۲- رسم نمودارهای کیفی آبخوان

از نمودارهای استیف، شولر، ویلکاکس و پایپر جهت تفسیر سریع و آسان کیفیت آب‌های زیرزمینی همچنین جهت تعیین نوع آب، رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی، مقایسه

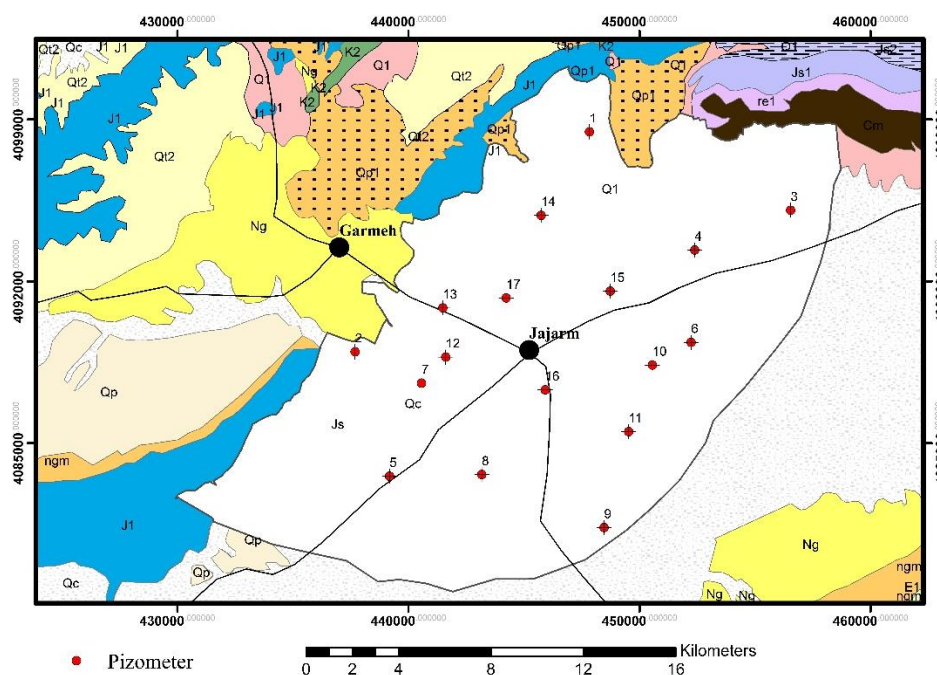
سریع ترکیب شیمیایی، تعیین تیپ، سختی، قابلیت شرب و تعیین استانداردهای کیفیت آب در دشت جاجرم استفاده شده است.

۳-۵-۳- نمودارهای ترکیبی

نمودارهای ترکیبی، به منظور تعیین فرآیندهای تأثیر گذار بر شیمی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله این نمودارها می توان به نمودارهای نسبت یونی، نسبت شاخص اشباع به کاتیون ها و آنیون ها و ... اشاره نمود.

۳-۶- داده های هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه بر پایه اطلاعات موجود صورت گرفته است. این اطلاعات شامل آزمایشات پمپاژ افت پله ای موجود در منطقه و داده های سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت می باشند. شبکه پیزومتری دشت جاجرم شامل ۱۵ پیزومتر می باشد و به منظور بررسی های کمی آبخوان و در دسترس بودن اطلاعات کامل پیزومترها در منطقه، از داده های سطح آب کلیه پیزومترها



شکل ۳-۲: نقشه محل پیزومترهای دشت جاجرم

استفاده شد (شکل ۳-۲). از مهمترین ارزیابی‌های کمی که انجام می‌شود می‌توان به ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل به منظور بررسی جهت جریان عمومی آب زیرزمینی، ترسیم نقشه هم‌افت آبخوان و رسم هیدروگراف واحد به منظور بررسی ارتباط سطح آب زیرزمینی با بارندگی در منطقه، اشاره کرد.

۳-۶-۱- ترسیم سری زمانی تغییرات سطح آب در پیزومترها

به منظور بررسی کمی آبخوان دشت جاجرم، از داده‌های ۱۸ ساله سطح آب زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۴ در ۱۷ پیزومتر استفاده شده‌است (شکل ۳-۲). سری زمانی تغییرات سطح آب و بارش در کلیه پیزومترها و روند کلی آن‌ها بررسی شده‌است.

۳-۶-۲- رسم هیدروگراف واحد دشت

برای رسم هیدروگراف واحد دشت از آمار سال‌های آبی ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۴ در ۱۶ پیزومتر به صورت ماهیانه استفاده شده‌است. هیدروگراف معرف یا واحد دشت، نشان دهنده‌ی میانگین کل تغییرات دشت می‌باشد. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارندگی، میزان بارندگی نیز به صورت میانگین سالانه بر روی نمودار نمایش داده شد.

۳-۶-۳- تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت آبخوان جاجرم

به منظور تعیین جهت عمومی حرکت آب زیرزمینی در سفره آبرفتی منطقه و بررسی مناطق تخلیه و تغذیه، نقشه هم‌پتانسیل دشت تهیه شده‌است. نقشه هم‌پتانسیل در ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS رقومی شده و تهیه گردید. همچنین برای بررسی و مقایسه تغییرات سطح آب در دراز مدت، نقشه هم‌پتانسیل در سه سال مختلف تهیه و با یکدیگر مقایسه شد.

۳-۶-۴- بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت جاجرم

جهت بررسی هرچه دقیق‌تر و روشن‌تر وضعیت آبخوان جاجرم، بیلان اجمالی آن با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده‌است:

$$[Q_{in}+Q_p+Q_R+Q_I+Q_{SW}]-[Q_{out}+Q_{EX}+Q_D+Q_{ET}]=\pm\Delta V \quad \text{فرمول (۳-۱)}$$

Q_{in} : میزان جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان

Q_p : میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوی

Q_R : میزان نفوذ مؤثر حائل از جریان‌های سطحی

Q_I : جریان برگشتی از آبیاری باغات و زمین‌های کشاورزی

Q_{SW} : مقدار آب برگشتی از پساب‌های شهری و روستایی

Q_{out} : میزان جریان‌های خروجی از محدوده بیلان

Q_{EX} : میزان آب تخلیه شده توسط چاه‌ها قنات و چشمه‌ها

Q_D : میزان آب زهکشی شده از سفره آب زیرزمینی

Q_{ET} : مقدار آب تبخیر شده از سفره آب زیرزمینی

$\pm\Delta$: تغییرات حجم ذخیره سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان

فصل چهارم

ارزیابی هیدروژنولوژی و هیدروشیملی آبخوان منطقه مورد

مطالعه

۴-۱- مقدمه

بر اساس مطالعات انجام شده پیشین در این محدوده تغییرات ضخامت رسوبات بین ۲۰ تا ۱۵۰ متر می‌باشد. در قسمت جنوبی- جنوب غربی دشت به دلیل بالا آمدگی سنگ کف ضخامت رسوبات ناچیز بوده و در مناطق شمال شهر جاجرم و شمال شرق دشت به دلیل عملکرد احتمالی گسل‌های موجود ضخامت رسوبات افزایش یافته است. در این فصل با استفاده از اطلاعات آماری آب منطقه‌ای خراسان شمالی طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۴ و همچنین آنالیز نمونه‌های برداشت شده، روند تغییرات کمی و کیفی آبخوان بررسی و نمودارها و نقشه‌های مربوطه ترسیم و تفسیر گردیده است.

ارتفاعات اطراف دشت جاجرم بیشتر در بخش‌های شمالی و غربی دشت آهکی بوده که پتانسیل تغذیه دشت را دارند. اما در بخش‌های جنوبی و شرقی دشت را بیشتر سازندهای مارنی و نفوذ ناپذیر احاطه کرده است. در قسمت جنوبی دشت نیز یک رودخانه شور در حال جریان می‌باشد، به دلیل وجود این رودخانه و کاهش کیفیت آب این بخش‌ها تمرکز چاه‌های پمپاژ بیشتر در بخش‌های مرکزی و شمالی دشت می‌باشد که حدود ۱۰۹ حلقه چاه در حال پمپاژ از دشت می‌باشد.

۴-۲- هیدروژئولوژی آبخوان دشت جاجرم

در این قسمت از فصل با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل، زون‌بندی دشت بر اساس افت، رسم و تفسیر هیدروگراف واحد، محاسبه داده‌های آزمون پمپاژ و بدست آوردن خصوصیات هیدرولیکی آبخوان به بررسی و ارزیابی هیدروژئولوژیکی دشت جاجرم پرداخته شده است.

۴-۲-۱- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه

نقشه هم‌پتانسیل سطح ایستابی آب زیرزمینی علاوه بر نمایش سطح آب زیرزمینی قابلیت‌های دیگری دارد که از آن به عنوان شاخص‌های اصلی برای بدست آوردن هیدروژئولوژی عمومی یک منطقه

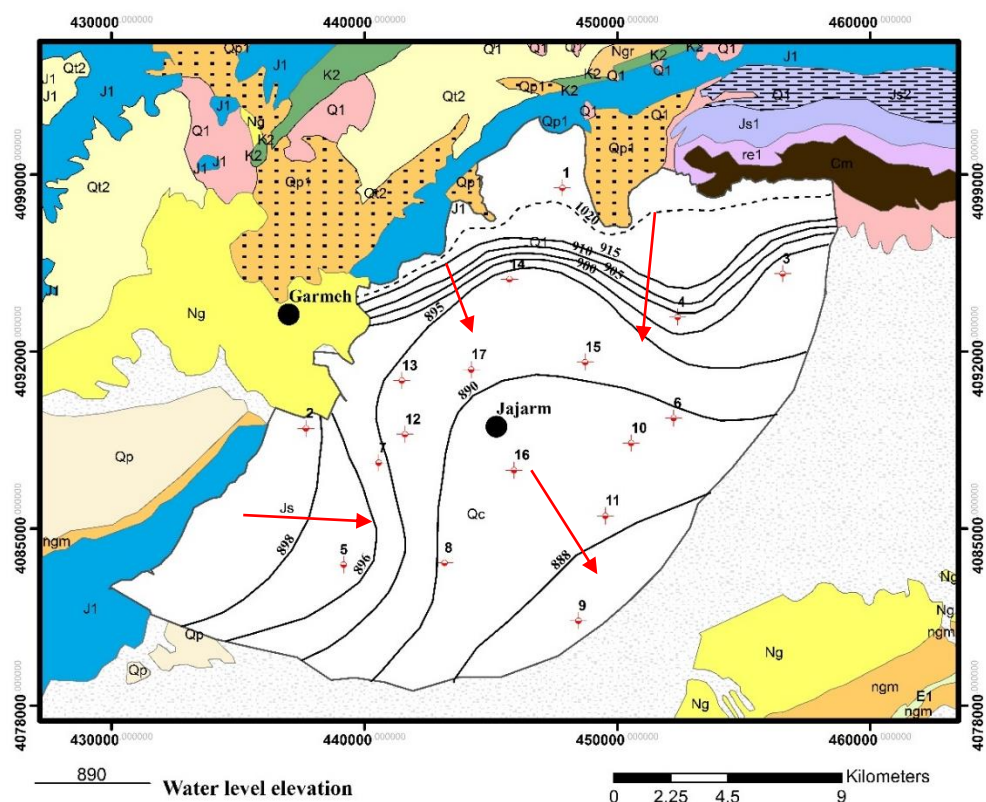
استفاده می‌شود. تعیین جهت جریان آب زیرزمینی، محاسبه شیب هیدرولیکی، مشخص کردن محل تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و وضعیت تبادل آب زیرزمینی با منابع آب سطحی و تشکیلات زمین‌شناسی اطراف دشت از جمله‌ی آنها است. بدین منظور اطلاعات تغییرات سطح آب زیرزمینی مربوط به پیزومترهای موجود منطقه در یک دوره ۱۷ ساله از اداره آب منطقه‌ای خراسان شمالی گردآوری شد. در این دشت تعداد ۱۷ چاه پیزومتری وجود دارد که مختصات آنها در جدول (۱-۴) و موقعیت آنها در شکل (۱-۴) ارائه شده است.

جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی زمان‌های مختلف از اطلاعات تراز سطح آب در پیزومترهای دشت در سه تاریخ مختلف خرداد ماه ۱۳۸۰، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ استفاده گردیده است که بصورت سه نقشه هم‌پتانسیل ترسیم و مقایسه شده است.

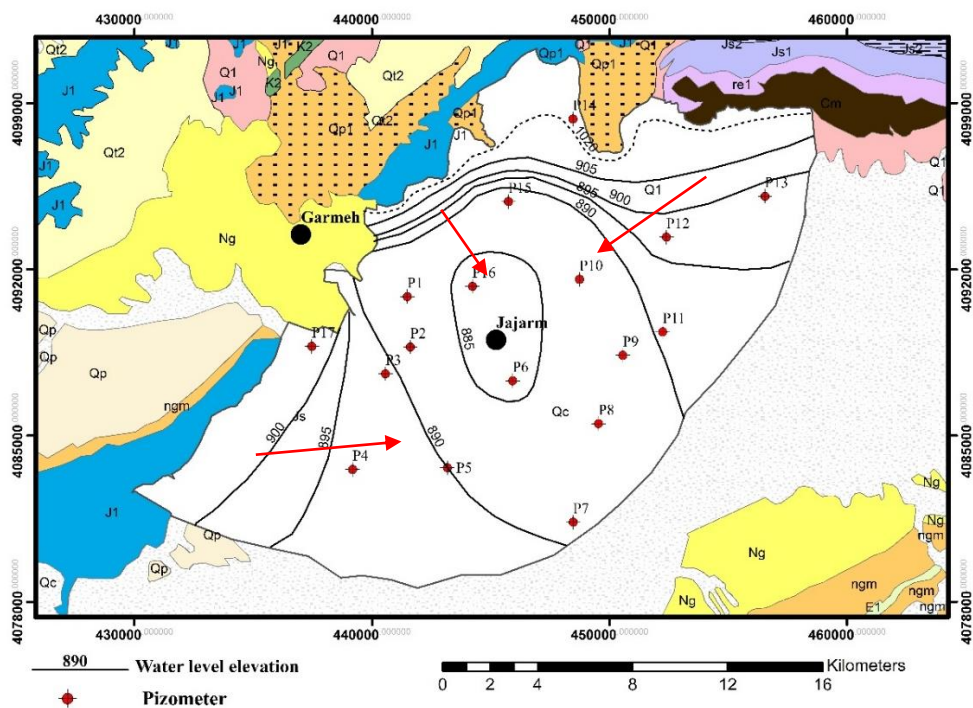
نقشه‌های مذکور در شکل‌های (۱-۴)، (۲-۴) و (۳-۴) قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان جاجرم، بالاترین تراز آب زیرزمینی مربوط به قسمت‌های شمالی دشت و پایین‌ترین تراز آب زیرزمینی مربوط به نواحی جنوبی دشت می‌باشد. به طوری که جهت جریان آب زیرزمینی از اطراف به سمت مرکز دشت که محل تجمع چاه‌ها نیز می‌باشد، است.

جدول ۴-۱: مختصات و ارتفاع سطح ایستابی در پیزومترها در خردادماه ۱۳۸۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۴

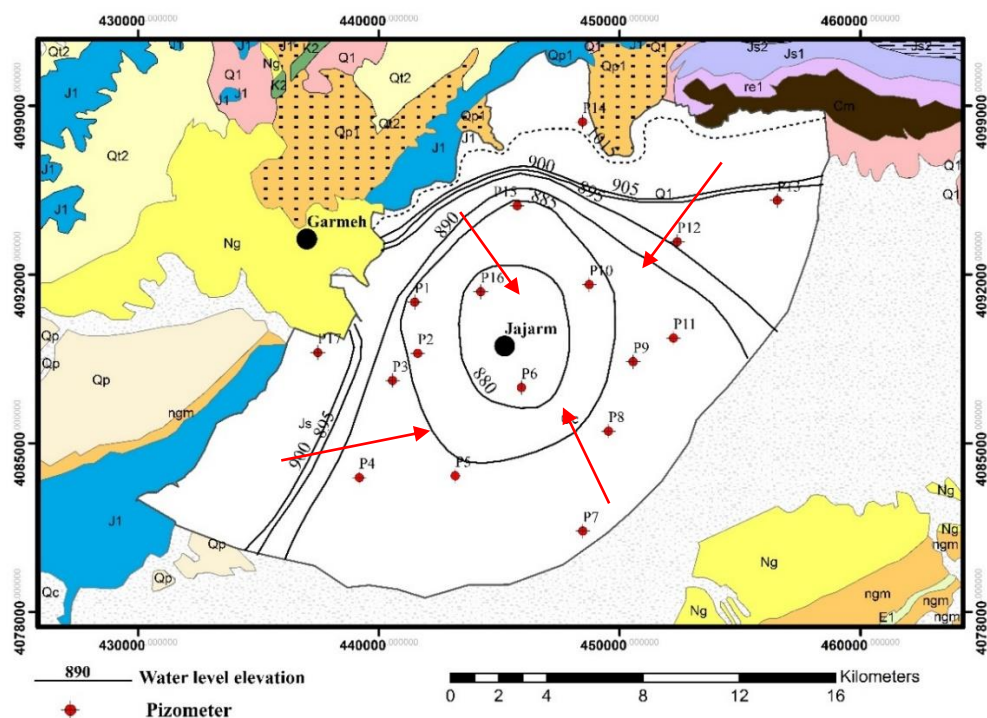
علامت اختصاری	نام محل	UTM Y	UTM X	تراز آب خرداد ۱۳۸۰ (متر)	تراز آب خرداد ۱۳۸۷ (متر)	تراز آب خرداد ۱۳۹۴ (متر)	مقدار افت ۱۸ ساله (متر)
P1	بیمارستان	۴۴۱۴۸۳	۴۰۹۰۸۵۳	۸۹۴/۵	۸۸۸/۹	۸۸۴/۶	۱۲/۵۶
P2	حجت آباد	۴۴۱۶۱۰	۴۰۸۸۷۳۰	۸۹۴/۶	۸۸۹/۵	۸۴۴/۶	۱۱/۸۱
P3	شاه آباد	۴۴۰۵۶۵	۴۰۸۷۶۰۴	۸۹۶	۸۹۱/۶	۸۸۷/۹	۱۰/۲۵
P4	جاده شاهرود	۴۳۹۱۸۱	۴۰۸۳۵۷۶	۸۹۶/۵	۸۹۴/۱	۸۸۷/۴	۴/۷۴
P5	چاه مشهدی	۴۴۳۱۷۲	۴۰۸۳۶۴۸	۸۹۴	۸۹۰	۸۸۷/۴	۷/۷۴
P6	بعد امامزاده	۴۴۵۹۲۰	۴۰۸۷۳۱۱	۸۹۱/۳	۸۸۴/۴	۸۸۱/۲	۱۲/۶۱
P7	همت آباد	۴۴۸۴۶۷	۴۰۸۱۳۵۷	۸۸۸/۸	۸۸۸	۸۸۷	۲/۰۶
P8	حصاری	۴۴۹۵۳۳	۴۰۸۵۵۰۵	۸۹۱/۶	۸۸۸/۱	۸۸۵/۴	۶/۸۸
P9	سید آباد	۴۵۰۵۵۸	۴۰۸۸۳۸۲	۸۹۰/۵	۸۸۷/۸	۸۸۵/۹	۵/۷۶
P10	راه آهن	۴۴۸۷۳۲	۴۰۹۱۵۸۱	۸۹۳/۹	۸۸۶/۴	۸۸۲/۶	۱۴/۳۶
P11	فرودگاه	۴۵۲۲۳۳	۴۰۸۹۳۶۷	۸۹۲/۴	۸۹۱/۱	۸۸۹/۵	۳/۴۱
P12	سنخواست ۱	۴۵۲۳۸۹	۴۰۹۳۳۵۸	۹۰۰/۷	۸۹۹/۷	۸۹۵/۷	۶/۰۵
P13	سنخواست ۲	۴۵۶۵۴۰	۴۰۹۵۰۷۵	۸۹۹/۳	۸۹۸/۷	۸۹۷/۹	۱/۷۶
P14	معدن آهک	۴۴۸۴۵۷	۴۰۹۸۳۳۰	۱۰۲۰/۸	۱۰۲۰/۹	۱۰۱۸/۵	۲/۸۶
P15	یوسف آباد	۴۴۵۷۴۲	۴۰۹۴۸۵۷	۸۹۴/۳	۸۸۹/۱	۸۸۴/۶	۱۲/۷۶
P16	منابع طبیعی	۴۴۴۲۲۶	۴۰۹۱۲۸۶	۸۹۱/۶	۸۸۳/۴	۳۸۷۸	۱۷/۳۱
P17	دوراهی ایور	۴۳۷۴۶۴	۴۰۸۸۷۵۷	۹۸۷/۷	۹۷۸/۷	۹۷۷	۱۵/۷



شکل ۴-۱: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان جاجرم خرداد ماه ۱۳۸۰



شکل ۴-۲: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان جاجرم خرداد ماه ۱۳۸۷



شکل ۴-۳: نقشه هم‌پتانسل سطح آب زیرزمینی آبخوان جاجرم خرداد ماه ۱۳۹۴

شیب توپوگرافی دشت جاجرم روند شمالی غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی دارد، این شیب با جریان‌های سطحی و جریانات زیرزمینی آب همسو می‌باشد. آبخوان دشت جاجرم عمدتاً توسط جبهه‌های مهم از ارتفاعات موجود در بخش‌های شمالی و غربی دشت تغذیه می‌گردد. بیشترین تغذیه از دو جریان آب زیرزمینی ورودی از سمت ارتفاعات شمال و ورودی آب زیرزمینی از زیر حوضه کفترک-ایور که در بخش غربی دشت که به وسیله ارتفاعات زیر کمر از محدوده اصلی جدا گردیده است، که این می‌تواند به دلیل وجود سازندهای آهکی و کنگلومرایی در این بخش‌ها باشد. شیب جریان نیز در دو بخش شمال و غرب آبخوان در مجاورت محل ورودی آب زیرزمینی بسیار زیاد است و به تدریج با نزدیک شدن به مرکز دشت از آن کاسته شده و در نواحی جنوبی شیب جریان بسیار کم است. شیب هیدرولیکی در مرز ورودی آب زیرزمینی شمالی $0/033$ است. مرز ورودی غربی نیز دارای شیب هیدرولیکی $0/03$ می‌باشد. کمترین مقدار شیب هیدرولیکی در مرکز دشت و جنوب دشت است.

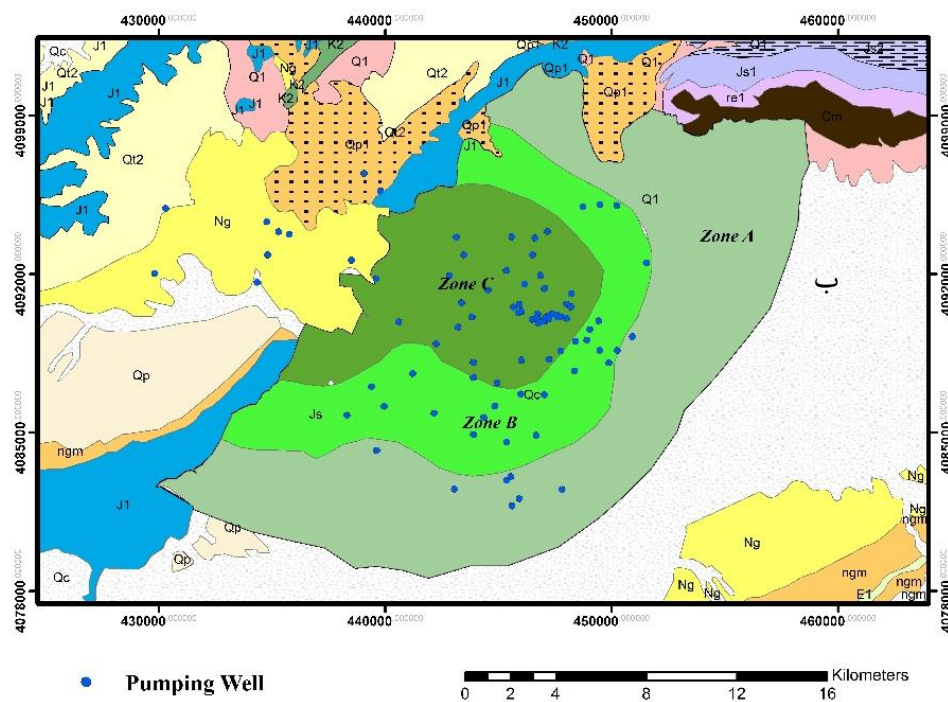
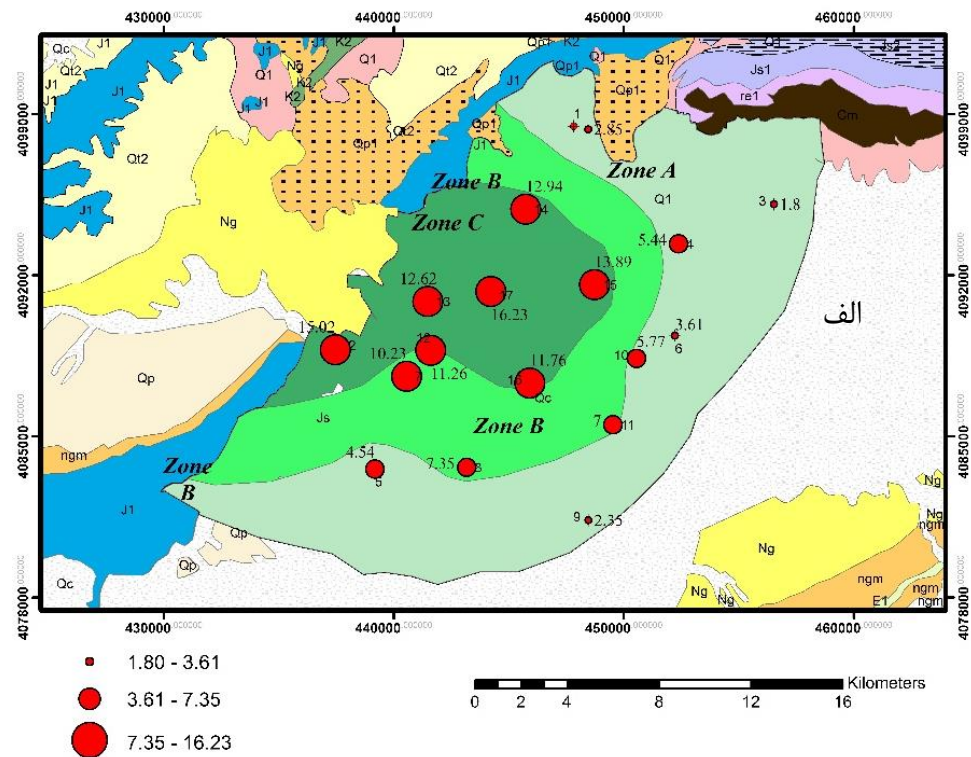
مقایسه نقشه‌های هم‌پتانسیل در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد تراز آب زیرزمینی طی دوره ۱۷ ساله، در قسمت مرکزی آبخوان در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۷۶ پایین افتاده است. بنابراین افت، بیشتر در این منطقه وجود دارد که علت آن افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری مجاز و غیر مجاز و برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشد.

با مقایسه دو نقشه هم‌پتانسیل در دو زمان جدید و قدیم مشاهده می‌شود که با گذشت زمان و تشکیل مخروط افت بیشتر در اثر ازدیاد چاه‌ها (Well field)، خطوط ایزوپتانسیل به شکل دایره در آمده که در آینده باعث شکل‌گیری دوایر بسته بیشتری در قسمت مرکزی می‌شود. این حالت باعث تغییر در جهت جریان آب زیرزمینی شده است.

گرادینان هیدرولیکی در قسمت مرکزی دشت در سال ۱۳۹۴ نسبت به ۱۳۸۰ به مقدار زیادی افزایش یافته است که حاکی از افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت جاجرم می‌باشد. این مسأله باعث بهم خوردن روند طبیعی جریان آب در آبخوان شده و در نتیجه باعث هجوم آب شور از بخش جنوب شرقی و مناطق کفه‌های نمکی به سمت قسمت مرکزی دشت شده است.

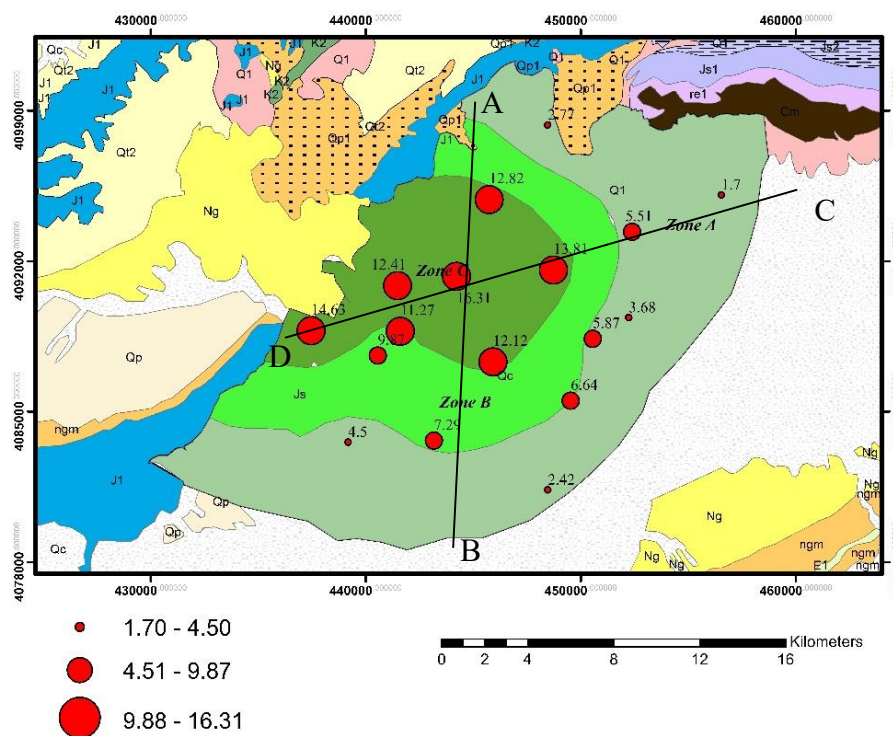
۴-۲-۲- ارزیابی دشت بر اساس افت طولانی مدت

با استفاده از داده‌های آماری بلند مدت تغییرات سطح آب زیرزمینی در فروردین ماه ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۳ و بهمن ماه ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۳، دشت جاجرم بر اساس میزان افت ۱۷ ساله، به سه زون A، B و C تقسیم شده است (شکل‌های ۴-۴ و ۵-۴). لازم به ذکر است که این زون‌بندی فقط جنبه مقایسه‌ای دارد، در یک دشت و آبخوان نمی‌توان به طور دقیق این زون‌بندی را انجام داد. تغییرات سطح ایستابی در بهمن ماه ناچیز و در فروردین ماه به دلیل شروع برداشت و پمپاژ، افزایش می‌یابد: بنابراین از این دو تاریخ برای مقایسه و تفسیر نقشه‌ها استفاده شده است. با توجه به بررسی انجام شده منطقه به سه زون عمده تقسیم بندی شده است به طوری که زون A کمترین و زون C بیشترین میزان افت را دارد. در قسمت-های شمالی زون A به دلیل قرار گیری در منطقه تغذیه مقدار افت در این قسمت از دشت کم می‌باشد، که مقدار متوسط افت در این قسمت ۲/۷ متر می‌باشد.



شکل ۴-۴: الف) مقدار افت ب) موقعیت چاه‌های پمپاژ در نقشه زون بندی افت

در این زون‌بندی چاه‌های بهره‌برداری به نسبت کم بوده و بهره‌برداری از این چاه‌ها به دلیل قرارگیری در قسمت جنوبی دشت و نامناسب بودن کیفیت آب در آن ناحیه به نسبت سایر قسمت‌های دشت کم است. زون C، با مقدار متوسط افت ۱۱/۷۹ متر در قسمت مرکز دشت متمایل به حاشیه غربی است که این ناحیه در حوالی شهر جاجرم واقع شده است. دلایل اصلی افت در این ناحیه را تمرکز بالاتر چاه‌ها به نسبت زون A بهره‌برداری و پمپاژ بیشتر، در ادامه تغذیه کمتر را می‌توان نام برد. زون B نیز متوسط افت را داشته و در حدود ۴ متر بوده است که بیشتر در بخش‌های مرکزی دشت قرار گرفته است، تمرکز چاه‌ها در این زون نسبت به زون A بیشتر می‌باشد.

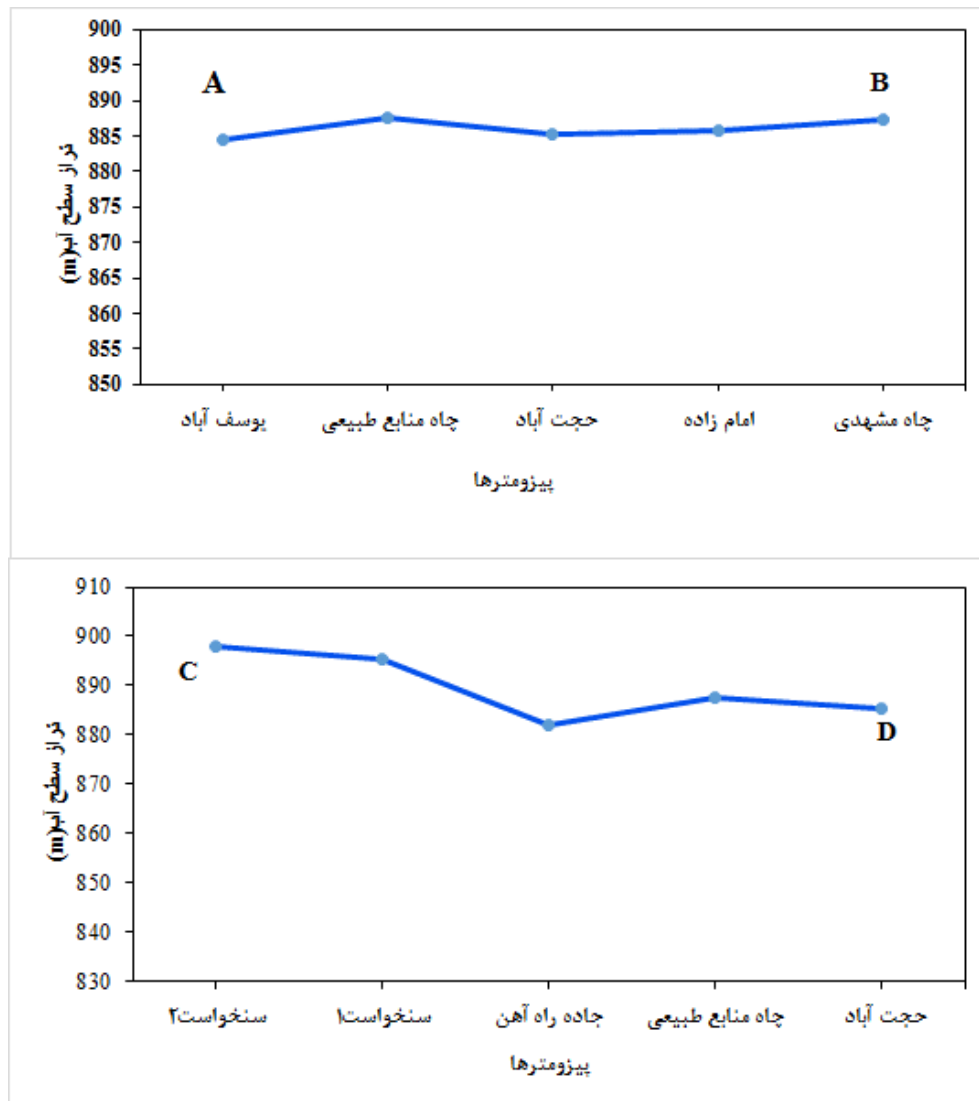


شکل ۴-۵: میزان افت سطح آب در پیزومترهای موجود و مقاطع عرضی سطح آب در دشت جاجرم در فروردین ماه

۱۳۷۷ تا ۱۳۹۳

برای مشخص شدن تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی دو پروفیل طولی رسم شد، پروفیل اول جهت جریان آب زیرزمینی از منطقه تغذیه به سمت جنوب دشت و پروفیل دوم پروفیل شرقی غربی و تقریباً

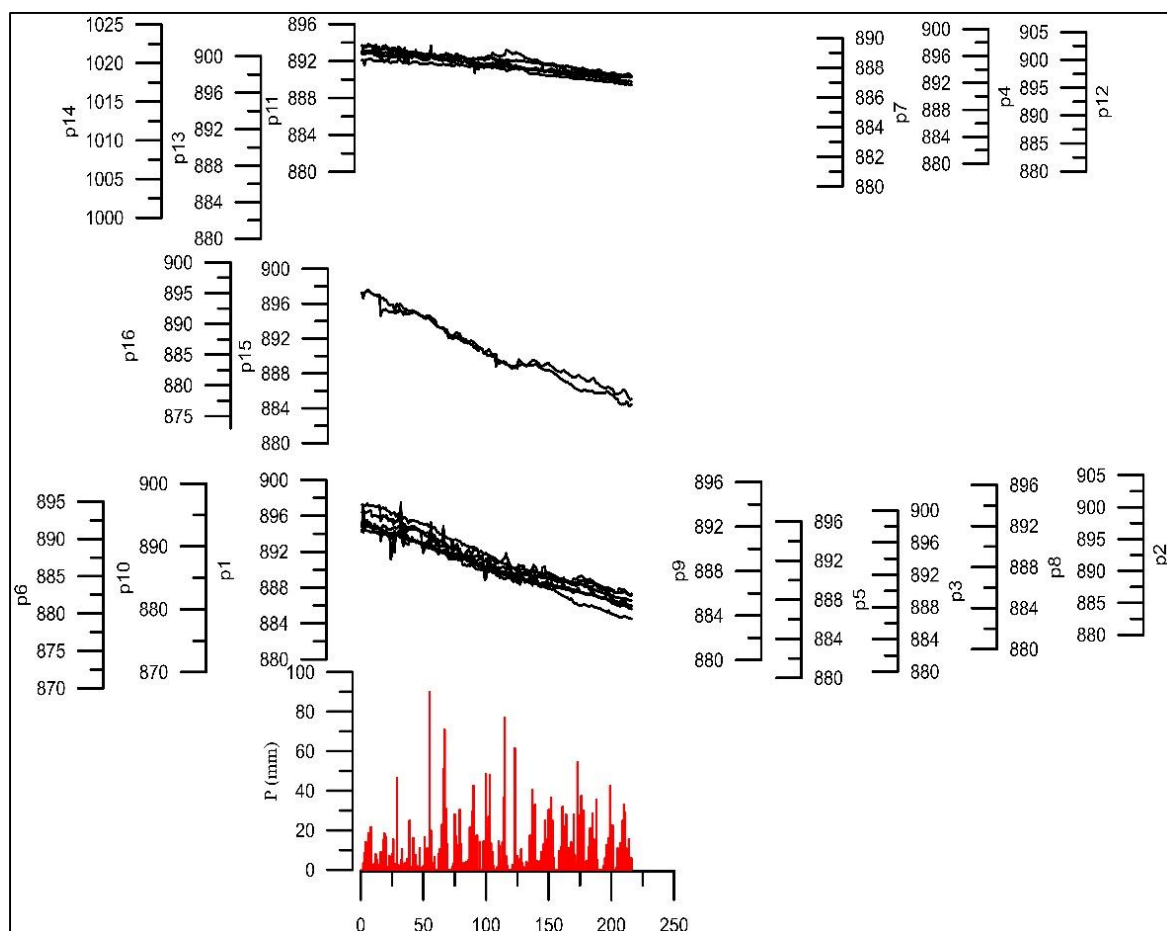
عمود بر پروفیل اول رسم شد (شکل ۴-۵). در شکل (۴-۶) تغییرات مکانی تراز سطح ایستابی دشت در دو پروفیل مذکور رسم شده است که نشان دهنده جهت عمومی آب زیرزمینی از سمت شمال به سمت جنوب دشت می باشد.



شکل ۴-۶: تغییرات مکانی تراز سطح ایستابی در دشت جاجرم

پیزومترهای دشت جاجرم بر اساس نوع رفتار و تغییرات سطح تراز آب در آن‌ها در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۳ به گروه‌های مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۴-۷). تمامی پیزومترهای دشت به دلیل وجود بیلان منفی و تغذیه کم روند نزولی دارند اما رفتار آن‌ها نسبت به هم متفاوت است.

پیزومترهای ۴، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ دارای روند نزولی با شیب کم هستند، پیزومترهای این گروه در بخش‌های شمالی و جنوبی واقع شده‌اند. پیزومترهای بخش جنوبی به دلیل کاهش کیفیت آب دشت و بنابراین کاهش برداشت روند نزولی کمی دارند، اما در پیزومترهای شمالی دشت که در زون تغذیه قرار گرفته‌اند نیز به دلیل وجود تغذیه و کاهش برداشت روند نزولی کمی را نشان می‌دهند. بنابراین این پیزومترها در زون با افت کم قرار گرفته‌اند و تعداد چاهای پمپاژ کم بوده و کیفیت آب بدلیل نفوذ آب شور از جبهه شرقی نامناسب می‌باشد.



شکل ۴-۷: گروه‌بندی پیزومترها بر اساس رفتار سری زمانی تغییرات تراز سطح آب بر حسب متر از سطح دریا

دو پیزومتر ۱۵ و ۱۶ دارای شیب تند کاهش سطح آب هستند که دلایل آن را می‌توان به نزدیک بودن به ناحیه کشاورزی، تراکم بالای چاه‌های بهره‌برداری و دانست. در دیگر پیزومترهای دشت جاجرمد دارای

رفتار مشابه به دو پیزومتر قبل را دارند که به نسبت شیب کاهش سطح آب در آن‌ها کم‌تر است، ولی میزان افت سطح آب در آن‌ها به ۱۷ متر نیز می‌رسد. افت زیاد در این پیزومترها نیز می‌تواند بدلیل وجود برداشت زیاد از طریق چاههای پمپاژ باشد.

۴-۲-۳- هیدروگراف واحد دشت جاجرم

با توجه به عوامل مختلفی همچون تغذیه، تخلیه، برداشت در زمان‌های متفاوت، سطح آب زیرزمینی می‌تواند تغییراتی داشته باشد. استفاده از هیدروگراف واحد مرسوم‌ترین روش ارزیابی تغییرات دراز مدت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌ها می‌باشد. اگر متوسط سطح آب پیزومتر حالت نزولی داشته باشد، نشان دهنده بیلان منفی در دشت است. نوسانات سطح آب زیرزمینی تابع عوامل مختلفی می‌باشد که این عوامل هم در کوتاه مدت و هم در بلند مدت بر سطح آب زیرزمینی تاثیرگذار می‌باشد و از این عوامل می‌توان مواردی همچون تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و تبخیر اشاره نمود. به طور کلی میزان بارندگی و تغییرات آن یکی از مهمترین عوامل کنترل کننده سطح آب زیرزمینی می‌باشند. با افزایش میزان بارندگی حجم آب بیشتری وارد آبخوان‌ها شده و در نتیجه تغذیه افزایش می‌یابد، که این عوامل در واقع اثر خود را به صورت افزایش دبی چشمه و قنوات و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی نشان دهند. به منظور ارزیابی تغییرات بارندگی و نقش آن در تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه، ارتفاع متوسط سطح آب زیرزمینی دشت نسبت به بارندگی در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۴ بررسی شده است. برای بدست آوردن افت متوسط سالانه ابتدا سطح دشت بر اساس پیزومترهای موجود در آن تیسن‌بندی شده و مساحت چند ضلعی‌ها تیسن در مقدار افت متوسط پیزومتر مربوطه ضرب شده و در نهایت مقدار متوسط افت در سطح دشت به روش میانگین‌گیری وزنی بدست آمده است. شکل (۴-۸) نقشه تیسن-بندی دشت جاجرم را نشان می‌دهد. با استفاده از فرمول (۴-۱) تراز سطح آب منطقه در زمان‌های مختلف بدست می‌آید.

فرمول (۴-۱):

$$H_1 = \frac{a_1(h_1)}{A} + \frac{a_2(h_2)}{A} + \dots$$

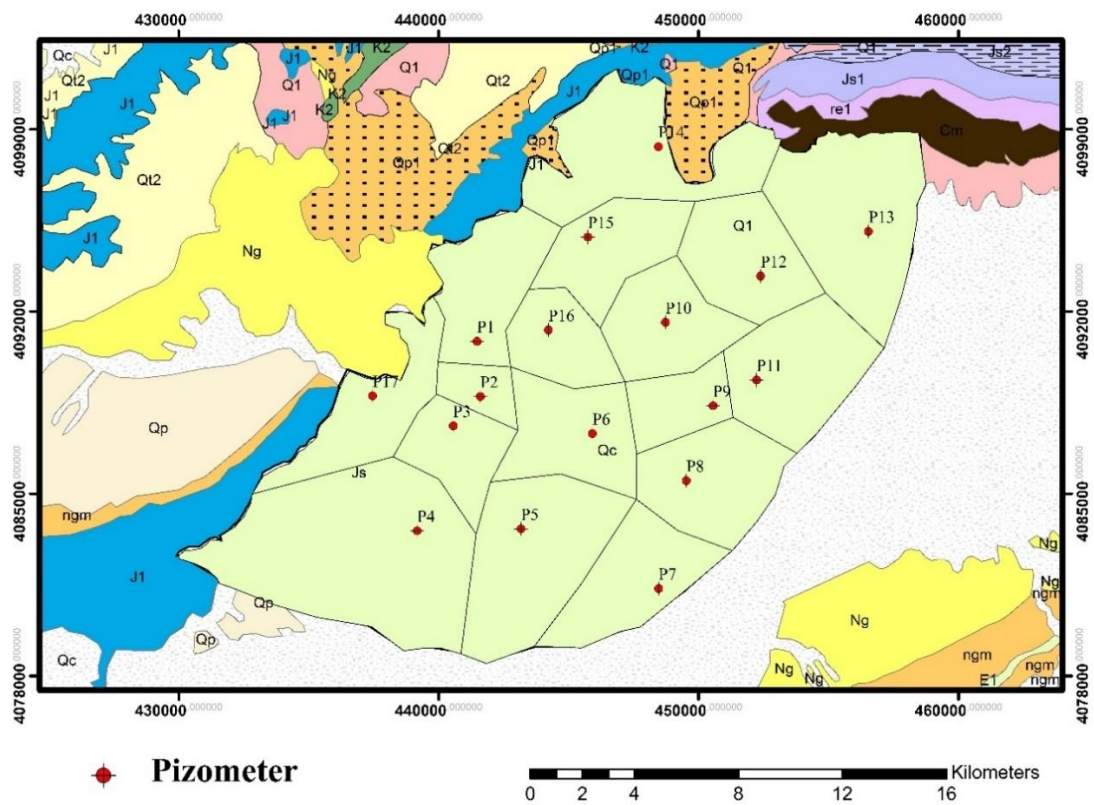
H_1 : سطح متوسط آب در زمان t_1

h : تراز آب در چاه در زمان t_1

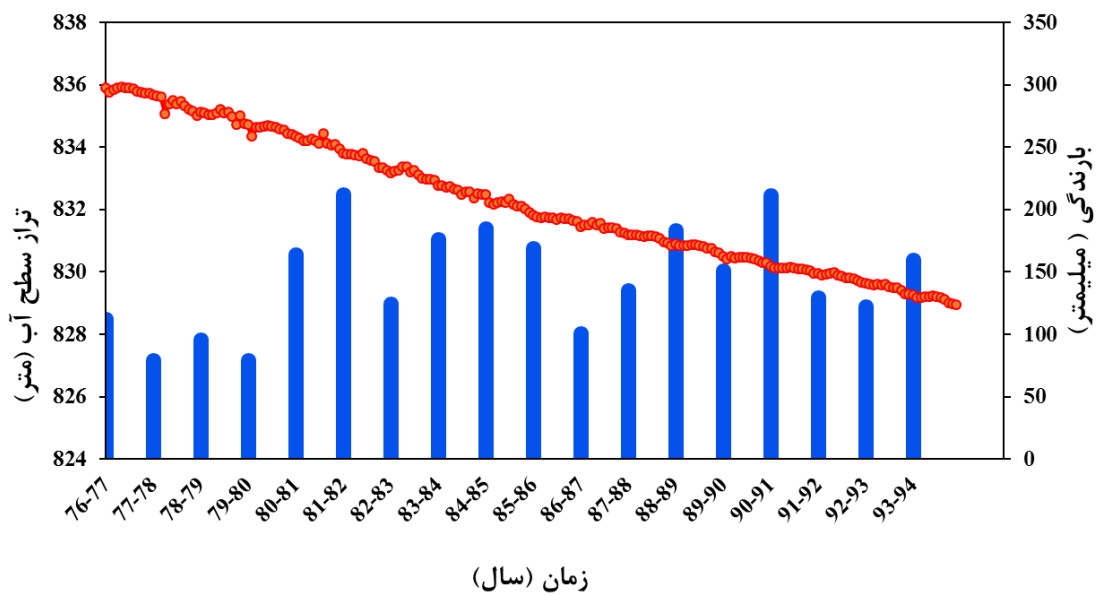
a : مساحت پلیگون مربوط به پیزومتر

A : مساحت کل پلیگون ها

شکل (۴-۹) هیدروگراف واحد دشت را برای یک دوره ۱۷ ساله (سال‌های آبی ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲) نشان می‌دهد. با توجه به هیدروگراف واحد ترسیم شده، تغییرات سطح ایستابی در این منطقه روند نزولی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که متوسط سطح آب زیرزمینی از ۸۳۶ متر در سال ۱۳۷۶ به ۸۲۹ متر در سال ۱۳۹۴ تغییر کرده است. طی این دوره ۱۷ ساله سطح آب زیرزمینی ۷ متر افت را نشان می‌دهد. با توجه با افزایش بارندگی از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۸۶ سطح آب زیرزمینی روندی نزولی پیدا کرده است. این دلیلی بر افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی و عدم تأثیر زیاد بارندگی بر سطح آب زیرزمینی این دشت، می‌باشد. بطور کلی بیشترین افت در بخش مرکزی دشت و در اطراف شهر جاجریم می‌باشد. اما در بخش شرقی، جنوبی و غربی دشت به دلیل عدم وجود شرایط محیطی برای کشاورزی و عدم برداشت زیاده‌تر، میزان افت کم است.



شکل ۴-۸: تیسن بندی آبخوان دشت جاجرم



شکل ۴-۹: هیدروگراف واحد دشت جاجرم

۴-۲-۴- بررسی وضعیت بیلان منطقه مورد مطالعه

جهت بررسی دشت جاجرم از لحاظ بیلان منطقه‌ای جدول (۴-۲) ارائه شده است. با توجه به جدول مربوطه، میانگین تغییرات سطح ایستابی و تغییرات حجمی آبخوان مهرماه ۱۳۷۶ تا مهرماه ۱۳۹۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که متوسط تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه حدود ۰/۳۸ متر و مجموع افت سطح ایستابی در این دوره آماری حدود ۶/۶۱ متر می‌باشد. با توجه به آمار بدست آمده از دشت جاجرم هرساله به طور متوسط ۳۸ سانتی متر افت در دشت رخ می‌دهد که این میزان افت رقم بسیار بالایی بوده و گویای این مطلب است که بیلان دشت منفی و حجم ذخیره آبخوان در حال کاهش است.

بطور کلی فرمول بیلان آب زیرزمینی شامل عوامل تغذیه، تخلیه و تغییرات ذخیره می‌باشد و شکل کلی فرمول بیلان آب زیرزمینی دشت جاجرم بصورت زیر می‌باشد.

$$[Q_{in}+Q_p+Q_R+Q_I]-[Q_{out}+Q_{EX}+Q_D+Q_{ET}]=\pm\Delta V \quad \text{فرمول (۴-۲):}$$

Q_{in} : میزان جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان

Q_p : میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوی

Q_R : میزان نفوذ مؤثر حائل از جریان‌های سطحی

Q_I : جریان برگشتی از آبیاری باغات و زمین‌های کشاورزی

Q_{out} : میزان جریان‌های خروجی از محدوده بیلان

Q_{EX} : میزان آب تخلیه شده توسط چاه‌ها قنات و چشمه‌ها

Q_D : میزان آب زهکشی شده از سفره آب زیرزمینی

Q_{ET} : مقدار آب تبخیر شده از سفره آب زیرزمینی

$\pm\Delta$: تغییرات حجم ذخیره سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان

۴-۲-۴-۱- محاسبه عوامل تغذیه

میزان جریان‌های ورودی به محدوده بیلان

برای محاسبه این عوامل از داده‌های جدول (۴-۲) استفاده شده است، در این جدول ۲ مقطع ورودی در نظر گرفته شده و برای محاسبه میزان آب ورودی از هر مقطع از رابطه دارسی $Q=I.T.L$ استفاده شده است و کل جریان ورودی آب به آبخوان از این طریق ۳/۷۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌شود.

جدول ۴-۲: مقاطع ورودی جریان آب زیرزمینی به محدوده بیلان

شماره مقطع	گرادیان هیدرولیکی	عرض مقطع (متر)	قابلیت انتقال (m^2/d)	جریان ورودی در روز (مترمکعب)	جریان ورودی در سال (میلیون مترمکعب)
۱	۰/۰۳۳	۵۷۴۰	۴۰	۵۶۸۰	۲/۷۶
۲	۰/۰۳	۲۱۵۰	۴۲	۲۷۲۰	۰/۹۸

میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوی (Q_p)

برای محاسبه حجم آب نفوذ یافته از ریزش‌های جوی از فرمول ذیل استفاده شده است.

$$I=A.P_b.C \quad \text{فرمول (۳-۴):}$$

I : مقدار آب نفوذ یافته حاصل از بارش

A : مساحت دشت جاجریم

P_b : مقدار بارش جوی دوره زمانی بیلان ۱۴۲ میلی‌متر

C : ضریب نفوذ ۳٪ در نظر گرفته شده است

در محدوده زمانی بیلان مقدار آب نفوذ یافته از ریزش‌های جوی ۱/۴۹ میلیون مترمکعب محاسبه گردیده است.

میزان نفوذ حاصل از آب برگشتی (Q_i)

برای محاسبه مقدار آب برگشتی ناشی از این برداشت برای مصارف کشاورزی با توجه به جنس و نوع خاک ضریب نفوذ $0/1$ و برای مصارف شرب و غیره ضریب نفوذ $0/45$ محاسبه گردیده است. با توجه به این اطلاعات میزان $1/14$ میلیون مترمکعب آب برگشتی به سفره آب زیرزمینی را می‌توان به عنوان تغذیه سفره آب زیرزمینی در نظر گرفت.

میزان نفوذ مؤثر حاصل از جریانهای سطحی (Q_R)

بطور کلی جریانهای سطحی در محدوده شامل جریان رود کال شور، رواناب کوهستان و جریان چشمه و قنات می‌باشد که در محدوده میزان آب ورودی به محدوده از طریق چشمه و قنات به میزان قابل توجهی کم می‌باشد که تمام آن مقدار برای مصارف زراعی استفاده می‌شود و با احتساب میزان تغذیه از برگشت این آب‌ها به سفره می‌توان از آن چشم پوشی کرد.

نفوذ رواناب کوهستان (Q_R): برای محاسبه رواناب کوهستان به ترتیب زیر عمل می‌شود:

محاسبه مساحت ارتفاعات حاشیه دشت که در حوضه قرار دارند (A)

ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در منطقه مذکور بر حسب متر (P)

ضریب رواناب (C)

$$Q_R = A.P.C \quad \text{فرمول (۴-۴):}$$

برای محاسبه مقدار حجم آب نفوذ یافته از رواناب کوهستان حجم رواناب حاصل که وارد دشت می‌شود را در درصد نفوذ دشت (10%) بر این اساس مقدار رواناب کوهستان $0/28$ میلیون مترمکعب محاسبه گردیده است.

۴-۲-۲- محاسبه عوامل تخلیه

میزان جریان‌های خروجی از محدوده بیلان

میزان جریان خروجی محدوده بیلان با توجه به نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی صفر در نظر گرفته شده است. سفره آب زیرزمینی دشت جاجرم با توجه به شواهد صحرایی فاقد هرگونه زهکش می‌باشد.

میزان آب استخراج شده توسط چاه‌های بهره‌برداری

با استفاده از اطلاعات مربوط به چاه‌ها و قنات در دوره بیلان میزان ۱۲/۲ میلیون مترمکعب آب از سفره آب زیرزمینی دشت جاجرم استحصال شده است. که از این میزان ۹۷ درصد برای مصارف کشاورزی و ۳ درصد باقی‌مانده برای مصارف شرب و غیره استفاده می‌شود.

میزان تبخیر و تعرق از سفره آب زیرزمینی (Q_{ET})

تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عمق سطح آب زیرزمینی، نوع و بافت خاک، درجه حرارت خاک، درجه حرارت محیط، شدت باد، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح آب بستگی دارد. عمق سطح آب عامل اصلی است که هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر باشد مقدار تبخیر از سطح آب زیرزمینی بیشتر است. بطور کلی تبخیر و تعرق از سطح آب زیرزمینی در عمق کمتر از ۵ متر صورت می‌گیرد که با توجه به نقشه هم‌پتانسیل عمق سطح ایستابی بیشتر از ۵ متر بوده و تبخیر و تعرق در محدوده صفر در نظر گرفته می‌شود.

در دوره زمانی بیلان و محاسبه اجزای مختلف معادله بیلان مقادیر تغییرات حجم ذخیره مخزن دشت جاجرم ۵/۶- میلیون مترمکعب می‌باشد.

جدول ۴-۳: نتایج بیلان آب زیرزمینی دشت جاجرم

پارامتر بیلان	تغذیه MCM	تخلیه MCM
	۳/۷۵	ورودی آب زیرزمینی
	۱/۴	تغذیه از بارندگی
	۰/۲۸	تغذیه از جریانات سطحی
	۱/۲۵	تغذیه از آب برگشتی شرب و کشاورزی
۰	۰	خروجی زیرزمینی
۱۲/۲		خروجی ناشی از برداشت منابع آب زیرزمینی
۱۲/۲	۶/۷۸	مجموع
-۵/۴۱		تغییرات حجم مخزن

محاسبه تغییرات حجم مخزن

سفره آب زیرزمینی دشت جاجرم با مساحتی برابر با ۳۵۱/۲ کیلومتر مربع و ضریب ذخیره ۰/۰۴ هرساله به طور متوسط حدود ۵/۴ میلیون مترمکعب کاهش ذخیره را نشان می‌دهد و طی این دوره آماری مقدار کل کاهش ذخیره آبخوان طبق فرمول زیر، حدود ۹۲/۲ میلیون مترمکعب برآورد شده است (فرمول ۵-۲).

$$V_w = \Delta h \cdot A \cdot S_y \quad \text{فرمول (۴-۵):}$$

در معادله فوق، S_y آبدهی ویژه، V_w حجم آب تخلیه شده از آبخوان بر حسب میلیون مترمکعب، A مساحت آبخوان بر حسب کیلومترمربع، Δh متوسط افت سالانه دشت بر حسب متر می‌باشد. در تمام دوره بلند مدت محاسباتی افت سطح آب و کاهش ذخیره آبخوان به‌خاطر برداشت بیش از حد، رخ داده است.

جدول ۴-۴: بررسی وضعیت بیلان آبخوان جاجرم در یک دوره ۱۷ ساله

سال آبی	Δh (m)	V_w (m ³)
۷۶-۷۷	-۰/۲۳	-۳۲۳۱۰۴۰
۷۷-۷۸	-۰/۵۲	-۷۳۰۴۹۶۰
۷۸-۷۹	-۰/۴۲	-۵۹۰۰۱۶۰
۷۹-۸۰	-۰/۳۷	-۵۱۹۷۷۶۰
۸۰-۸۱	-۰/۵۶	-۷۸۶۶۸۸۰
۸۱-۸۲	-۰/۶۴	-۸۹۹۰۷۲۰
۸۲-۸۳	-۰/۳۸	-۵۳۳۸۴۰
۸۳-۸۴	-۰/۳	-۴۲۱۴۴۰۰
۸۴-۸۵	-۰/۶۷	-۹۴۱۲۱۶۰
۸۵-۸۶	-۰/۳۸	-۵۳۳۸۲۴۰
۸۶-۸۷	-۰/۲۳	-۳۲۳۱۰۴۰
۸۷-۸۸	-۰/۲۹	-۴۰۷۳۹۲۰
۸۸-۸۹	-۰/۴۱	-۵۷۵۹۶۸۰
۸۹-۹۰	-۰/۳۲	-۴۴۹۵۳۶۰
۹۰-۹۱	-۰/۲۳	-۳۲۳۱۰۴۰
۹۱-۹۲	-۰/۳۱	-۴۳۵۴۸۸۰
۹۲-۹۳	-۰/۳۶	-۵۰۵۷۲۸۰
مجموع	-۶/۶۲	-۹۲۹۹۷۷۶۰

۴-۲-۵- ارزیابی نتایج آزمون پمپاژ در دشت جاجرم

آزمایش تعیین آبدهی چاه یا آزمایش پمپاژ برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی سفره آبدار جهت مطالعه وضعیت آب‌های زیرزمینی یک منطقه و یا برای تعیین مقدار آبدهی و افت سطح آب در یک چاه انجام می‌شود.

یکی از اهداف اصلی آزمایش پمپاژ تعیین ظرفیت مخصوص چاه یا نسبت آبدهی (Q) به مقدار افت سطح آب (S) جهت انتخاب پمپ و متعلقات مربوطه برای برآورد میزان هزینه‌های لازم برای تجهیز چاه می‌باشد. ضمناً در نتیجه عمل پمپاژ مواد ریزدانه باقیمانده در مراحل حفاری و توسعه، از چاه خارج شده و توسعه طبیعی و برقراری ارتباط آبی سفره با چاه فراهم می‌شود. ظرفیت مخصوص معرف قدرت آبدهی چاه می‌باشد که بدون نیاز به وجود چاه‌های مشاهده‌ای نیز صورت می‌گیرد. در حالی که برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی سفره وجود چاه‌های مشاهده‌ای یا چاه‌های پی‌زومتر با فواصل معین نسبت به چاه اصلی در حال آزمایش الزامی است.

۴-۲-۵-۱- آبدهی ویژه Specific Yield و ضریب ذخیره Storage Coefficient

ضریب ذخیره یا گنجایش (S) و آبدهی ویژه (Sy) حجم آبی است که سفره آب می‌تواند در واحد سطح آبخوان به ازای تغییر مقدار یک واحد فشار در خود جای دهد یا خارج کند. ضریب ذخیره در سفره‌های محبوس تابع قابلیت ارتجاع مواد سازنده سفره و آب است و بین 10^{-4} تا 10^{-6} متغیر است. آبدهی ویژه در سفره‌های آزاد عملاً برابر تخلخل مؤثر می‌باشد.

برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش‌های آبرفتی از روش‌های مرسوم تایس (Theis, 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob, 1946) استفاده می‌شود.

در شکل (۴-۱۰) محل چاه‌های که در آن آزمون پمپاژ انجام شده است نمایش داده شده است، در شکل‌های (۴-۱۱ و ۴-۱۳) لاگ حفاری دو رسم شده است که بر اساس نمونه‌برداری از آب آن‌ها در

عمق‌های مختلف نمودار هدایت الکتریکی و سختی کل در مقابل عمق رسم شده است. روند منحنی سختی از منحنی هدایت الکتریکی تبعیت می‌کند.

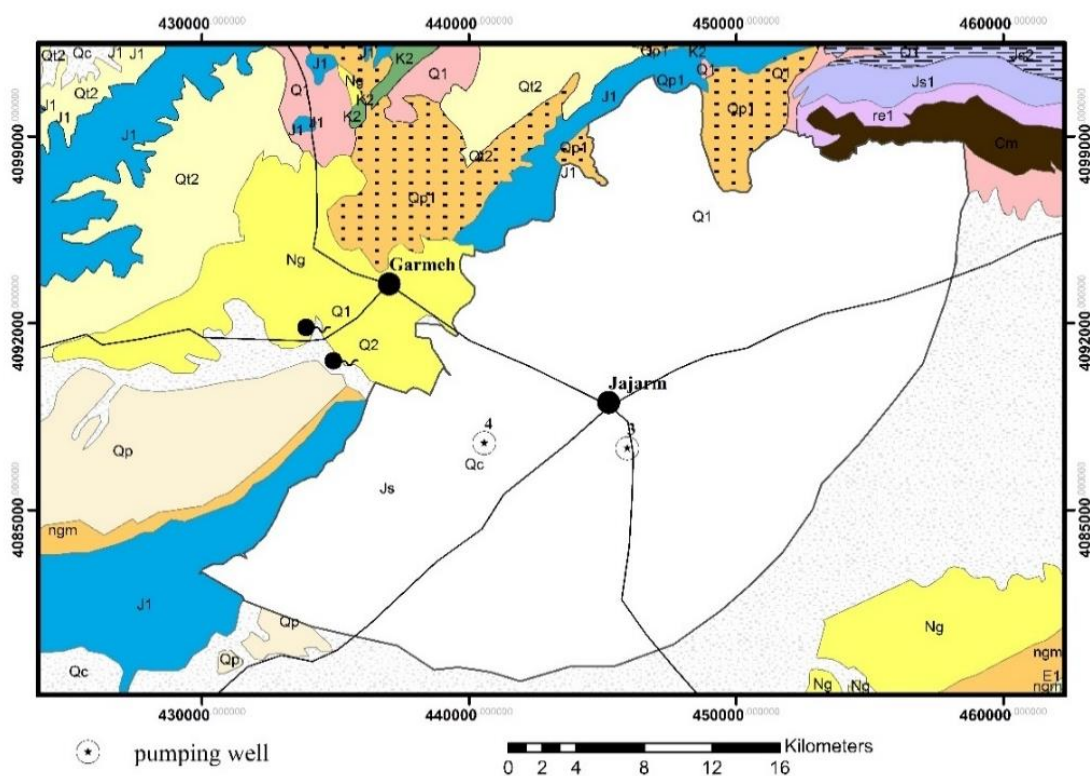
بر اساس داده‌های آزمون پمپاژ مقادیر ضریب آبگذری و ضریب ذخیره سفره محاسبه شده است (شکل ۴-۱۵)، (۴-۱۶)، (۴-۱۷) و (۴-۱۸) و داده‌های آزمون پمپاژ در پیوست شماره (۱) آورده شده است. جهت محاسبه‌ی دقیق‌تر آبدهی ویژه (Sy)، لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان آبرفتی جاجرم، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور لاگ حفاری تعداد ۲ حلقه چاه اکتشافی موجود در آبخوان، پس از تعیین دانه‌بندی، طبق جدول (۴-۴)، مقادیر آبدهی ویژه آنها تخمین زده شده است. مقادیر لاگ چاه‌های مورد بررسی در شکل (۴-۱۱) و (۴-۱۲) مقادیر تخمینی آبدهی ویژه در محل آن‌ها در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

جدول ۴-۵: تخمین آبدهی ویژه صحرایی بافت‌های غالب رسوبات (کرمی ۱۳۸۹ - کرمی ۱۳۹۱)

آبدهی ویژه (%)	بافت غالب رسوبات
۱۰	گراول
۸	ماسه
۶	ماسه و رس
۴	رسوبات مختلط
۲	رس

جدول ۴-۶: بافت غالب رسوبات و آبدهی ویژه (٪)

نام چاه	بافت غالب	آبدهی ویژه (S _y)
امام زاده (۳)	ماسه رس	۵٪
شاه آباد به ایور (۴)	ماسه رس	۵٪



شکل ۴-۱۰: محل چاه‌های پمپاژ در دشت جاجرم

لوگ حفاري چاه اکتشافی ابرفتی شماره سه جاجرم
 تاریخ شروع حفاري ۱۳۸۷/۸/۲ - خاتمه حفاري ۱۳۸۷/۹/۴ - ۴۰۸۷۴۰۹ - ۴۴۵۹۲۲ U.T.M:

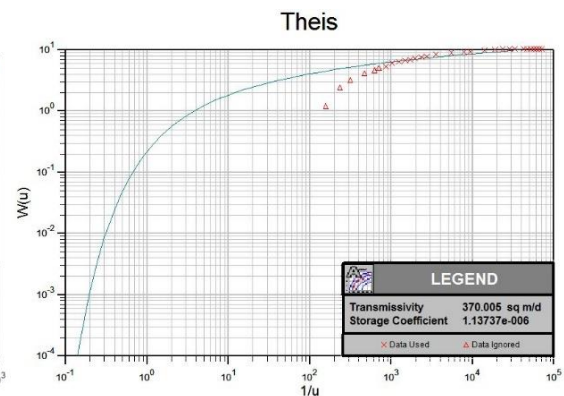
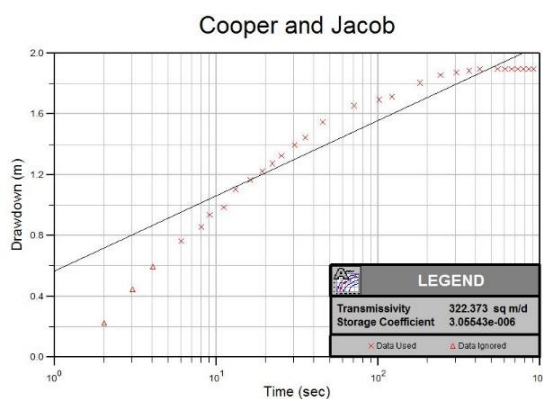
شرح لایه بندي	قلمر چاه	صق متر	لایه بندي
	۲۲"		
ماسه ریز - متوسط - خاک رس مترکم	۱۹"	۱۸	
تسبیث مسلوي	۱۴"	۲۴	
ماسه ریز - خاک رس مترکم	S.W.	۳۱	
رس < ماسه	S.W. - اولیه	۳۷	
شن همراه با خاک رس		۴۸	
رس < شن		۵۱	
ماسه متوسط - خاک رس مترکم		۵۵	
شن همراه با خاک رس		۶۱	
ماسه - شن - خاک رس		۶۷	
تسبیث مسلوي		۷۸	
شن ریز همراه با خاک رس مترکم		۸۵	
ماسه ریز - متوسط - شن همراه با خاک رس مترکم		۹۵	
ماسه < رس		۱۰۱	
تسبیث مسلوي		۱۰۸	
خاک رس همراه با ماسه ریز مترکم		۱۰۹	
رس < ماسه			

شکل ۴-۱۱: لاگ حفاری چاه شماره (۳)

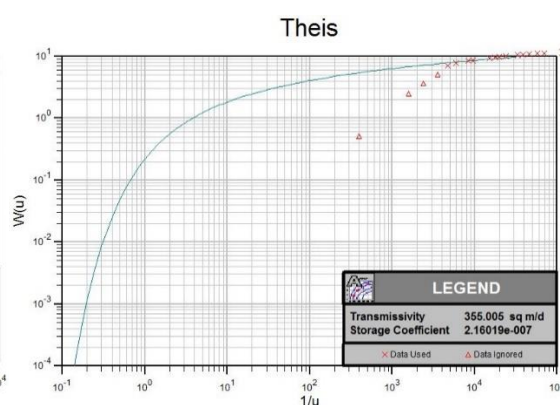
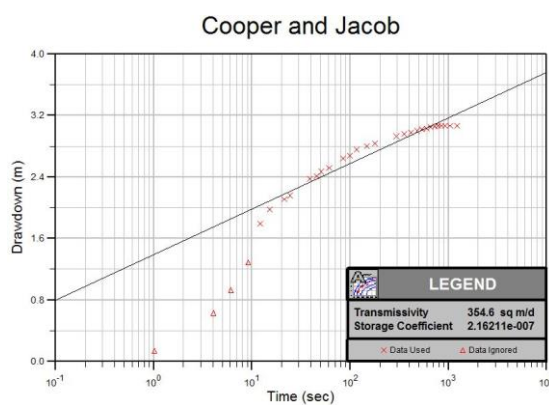
لوگ حفاري چاه اکتشافی برقعی شماره چهار جاجرم
 تاریخ شروع حفاري ۱۳۸۷/۹/۴ - خاتمه حفاري ۱۳۸۷/۱۰/۱۴ - U.T.M: ۴۴۰۵۶۸ - ۴۰۸۷۵۱۳

شرح لایه بندی	قطر چاه	عمق متر	لایه بندی
	۱۴"		
ماسه ریز و متوسط همراه با رس		۶	
ماسه ریز همراه با رس	۳۳"	۱۵	
شن - ماسه - سیلت - رس		۳۳	
ماسه همراه با شن و رس فشرده		۴۵	
ماسه ریز و متوسط همراه با شن و رس فشرده - تخلخل کم	S.W.	۵۲	
ماسه < شن < رس		۷۸	
ماسه متوسط همراه با شن متوسط با خاک رس - تخلخل زیاد		۱۰۵	
ماسه ریز و خاک رس با تراکم زیاد به نسبت های مساوی		۱۳۸	
رس با چسبندگی زیاد		۱۴۰	

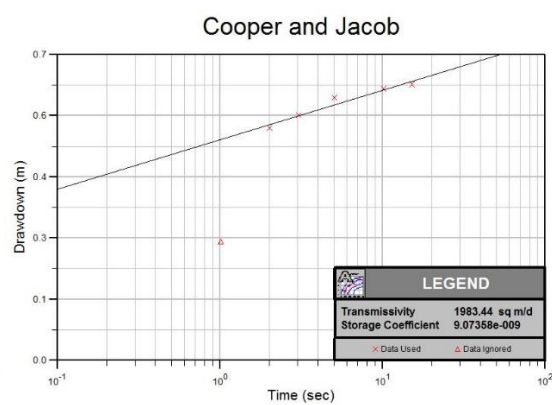
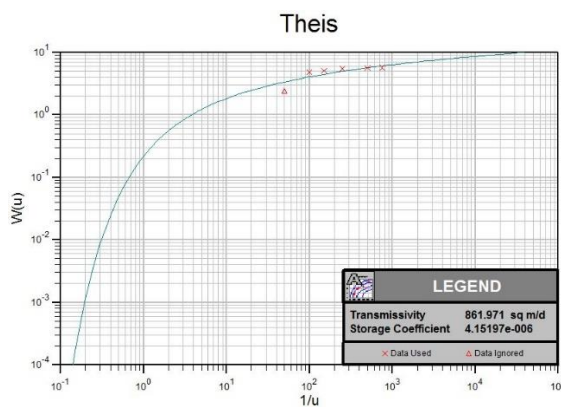
شکل ۴-۱۲: لاگ حفاری چاه شماره (۴)



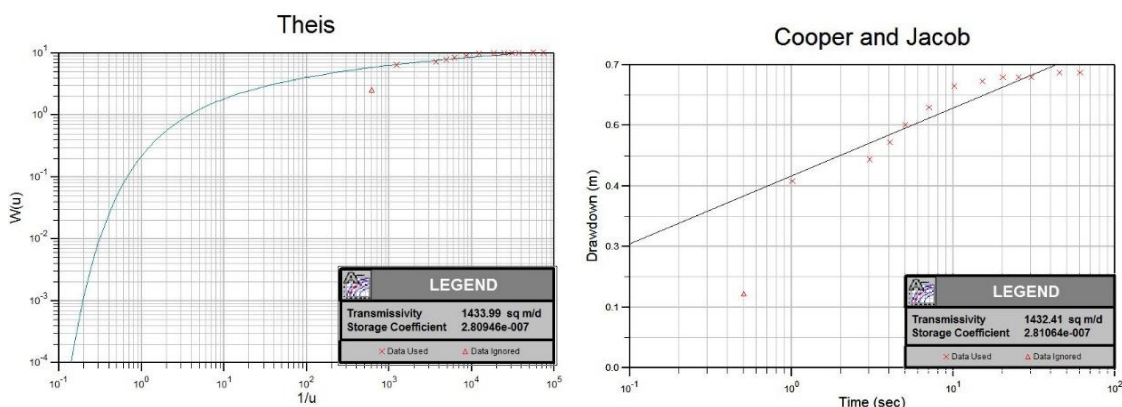
شکل ۴-۱۳: نمودار Theis و Coope & Jacob مرحله اول چاه شماره (۳)



شکل ۴-۱۴: نمودار Theis و Cooper & Jacob مرحله دوم چاه شماره (۳)



شکل ۴-۱۵: نمودار Theis و Cooper & Jacob مرحله اول چاه شماره (۴)



شکل ۴-۱۶: نمودار Theis و Cooper & Jacob مرحله دوم چاه شماره (۴)

جدول ۴-۷: مقادیر قابلیت انتقال بدست آمده از آزمون پمپاژ در منطقه مورد مطالعه

چاه‌های پمپاژ	مرحله پمپاژ	روش تایس	روش کوپر و ژاکوب
		قابلیت انتقال (m ² /day)	قابلیت انتقال (m ² /day)
شماره ۳	مرحله اول	۳۷۰	۳۲۰
شماره ۳	مرحله دوم	۳۶۰	۳۵۰
شماره ۴	مرحله اول	۸۶۰	۱۹۸۰
شماره ۴	مرحله دوم	۱۴۳۰	۱۴۳۰

۴-۳- هیدروشیمی آبخوان دشت جاجرم

در عصر حاضر با پیشرفت صنایع و افزایش قابل توجه جمعیت بشری و عدم رعایت استانداردهای زیست محیطی، خطرات زیادی از لحاظ آلودگی منابع آبی وجود دارد. اما متأسفانه بیشتر منابع آب از لحاظ کمی مورد مطالعه قرار گرفته و مطالعات کیفی آب به دست فراموشی سپرده شده است. بدلیل برداشت زیاد از منابع آب زیرزمینی در جهت تامین مصارف مختلف، علاوه بر کاهش ذخیره مخزن، با کاهش

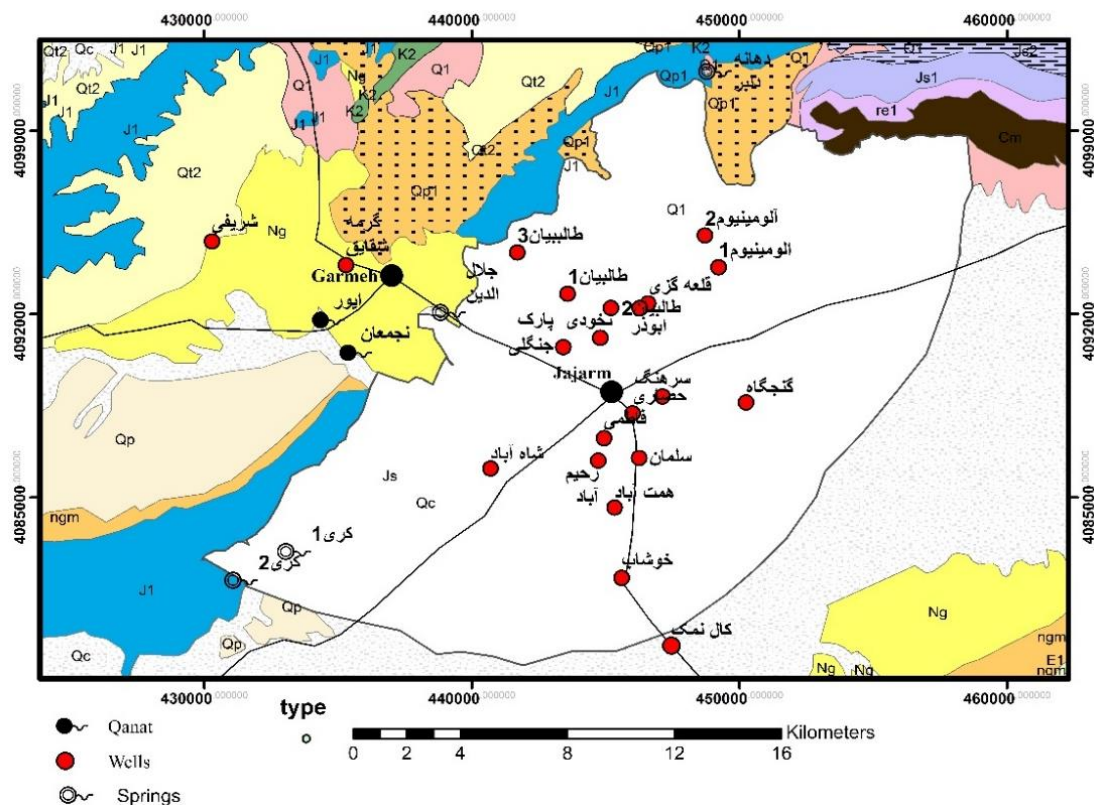
کیفیت به دلایل مختلف روبرو شده‌اند. بنابراین با توجه به نیاز آبی زیاد در آینده، مدیریت این مخازن زیرزمینی حائز اهمیت می‌باشد. بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آب بعنوان اولین مرحله در جهت مدیریت دشت اهمیت دارد. با بررسی انجام شده مشخص گردید که دشت جاجرم به دلیل مجاورت با سازندهای تبخیری و کفه‌های نمکی، در معرض خطر کاهش کیفیت آب دشت می‌باشد. از آنجا که آب زیرزمینی به عنوان اصلی‌ترین منبع ذخیره آب شیرین مورد توجه و استفاده ساکنین دشت است، تعیین خصوصیات کیفی آن جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین ارزیابی پارامترهای مؤثر بر تغییر کیفیت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. به منظور بررسی خصوصیات کیفی آبخوان شاخص‌های همچون دمای آب، اسیدیته و هدایت الکتریکی در محل نمونه برداری و مقدار یون‌های اصلی در محل آزمایشگاه اندازه گیری شده است. همچنین نقشه‌ها و نمودارهای هیدروژئوشیمیایی شامل نقشه هدایت الکتریکی، نقشه یون‌های اصلی (مانند کلر، سولفات، بی‌کربنات، سدیم، کلسیم و منیزیم)، نمودار پایپر، استیف، شولر و ویلکاکس، نقشه‌های شاخص‌های اشباع (مانند هالیت، دولومیت، کلسیت) و نمودارهای ترکیبی بر اساس نتایج هیدروژئوشیمی حاصله از چاه‌های انتخابی تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۴-۳-۱- جمع آوری داده‌های هیدرووشیمیایی

جهت بررسی خصوصیات هیدرووشیمیایی دشت جاجرم، تعداد ۲۷ نمونه از منابع آب مختلف شامل چاه، قنات، چشمه و رودخانه آب شور واقع در جنوب دشت در تاریخ آبان‌ماه ۱۳۹۵ برداشت شده و برای تعیین غلظت یون‌های اصلی به آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود ارسال گردید. مقادیر EC و pH در هنگام نمونه برداری اندازه گیری شده است. برای تفسیر نتایج هیدرووشیمیایی، از نقشه‌ها، گرافها و نسبتهای یونی مختلف استفاده شده است. شکل (۴-۱۹) موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. نتایج بررسی‌های شیمیایی چاه‌ها در سال ۹۵ در جدول‌های (۴-۵) ارائه شده‌است. همچنین جهت بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت از نتایج آنالیز انجام شده در زمان‌های قبل توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی نیز استفاده شده است.

جدول ۴-۸: نتایج آنالیز کیفی منابع آب دشت جارجرم آبان ماه ۱۳۹۵

درصد خطا	جمع	غلظت آنیون‌ها			جمع کاتیون ها	غلظت کاتیون‌ها				EC µm/Cm	pH	مختصات		شماره چاه
	آنیون‌ها	meq/l				meq/L						X utm	Y utm	
		HCO3	Cl	SO4		Ca2+	Mg2+	Na+	K+					
3.12	19.70	2.4004	11.9	5.401	18.5	3.618	4.88	9.93	0.079	1329	7.54	430295	4094770	W1
5.57	18.44	2.4004	10.7	5.341	16.5	3.015	4.27	9.139	0.072	973	7.85	434213	4091845	Q1
12.93	63.73	3.9006	34.986	24.84	49.1	11.3	13.7	24	0.136	4100	7.28	435238	4090596	Q2
8.83	41.10	4.0007	25.5	11.6	34.4	6.633	8.743	17.1	1.955	2600	7.76	439146	4092063	S1
1.09	22.44	3.5006	12.1	6.844	22.9	6.231	5.795	10.8	0.115	1257	7.73	443578	4092770	W2
4.74	27.25	3.5006	14	9.75	24.8	4.623	9.4	10.67	0.09	1716	7.83	445200	4092228	W3
9.63	37.57	3.4006	21.4	12.77	31.0	5.628	6.405	18.8	0.136	1257	7.71	441700	4094350	W4
5.18	35.09	3.5006	18.1	13.49	31.6	6.4	11.1	14.03	0.095	2220	7.8	444802	4091088	W5
8.01	36.62	2.7004	24.5	9.42	31.2	7.5	10.2	13.37	0.121	2190	8.03	446590	4092404	W6
9.01	34.42	4.4007	13.2	16.81	28.7	6.533	6.608	15.45	0.131	2710	7.66	446010	4088203	W7
6.63	33.88	3.5006	20.6	9.78	29.7	6.3	10.2	13.02	0.144	2070	7.15	444943	4087255	W8
12.37	69.18	4.3007	41.5	23.38	54.0	12.7	16.8	24.3	0.151	3440	7.59	446253	4086503	W9
8.34	40.92	4.3007	27.4	9.219	34.6	5.7	10.8	18	0.118	2180	7.75	445335	4084610	W10
8.43	26.98	3.3005	17.2	6.483	22.8	5.025	5.795	11.87	0.1	1560	7.96	444725	4086400	W11
9.28	816.39	3.5006	527	285.9	677.8	34.57	134.6	505.8	2.807	63000	7.77	447459	4079338	R
6.18	72.53	3.7006	65	3.828	64.1	11.5	19	33.4	0.182	5480	7.73	440700	4086100	W12
5.16	6.61	1.8003	3.3	1.513	7.3	1.206	4.677	1.42	0.03	401	8.09	433362	4082935	S2
3.71	4.88	2.2004	1.5	1.182	4.5	1.3	1.4	1.81	0.023	325	7.5	431393	4081837	S3
4.9	24.67	3.1005	9.3	12.27	22.4	6.03	6.71	9.5	0.121	1258	7.7	435298	4093871	W13
2.15	26.87	4.0007	15.6	7.265	25.7	7.4	7.1	11.13	0.108	1541	7.67	443417	4090733	W14
5.61	42.18	4.8008	25	12.38	37.7	8	10.5	19.07	0.123	2600	7.77	445600	4081925	W15
18.38	66.50	3.2005	40	23.3	45.8	10.8	17.2	17.68	0.167	3860	7.6	447125	4088850	W16
18.72	95.36	3.3005	62.8	29.26	65.3	16.1	19	30	0.19	4800	7.58	450248	4088621	W17
9.93	32.22	3.0005	17.7	11.52	26.4	5.628	8.032	12.62	0.121	1746	7.6	446275	4092225	W18
1.42	6.65	3.0005	2.1	1.553	6.8	2.8	1.8	2.22	0.025	401	7.92	449099	4101264	W19
7.06	29.38	2.5004	20.2	6.684	25.5	7.94	7.93	9.552	0.085	1655	7.68	449220	4093781	W20
8.78	16.35	4.1007	6.9	5.351	13.7	4.6	2.4	6.639	0.074	980	7.7	448712	4094999	W21



شکل ۴-۱۷: نقاط و منابع مختلف نمونه برداری آب زیرزمینی از دشت جاجرم

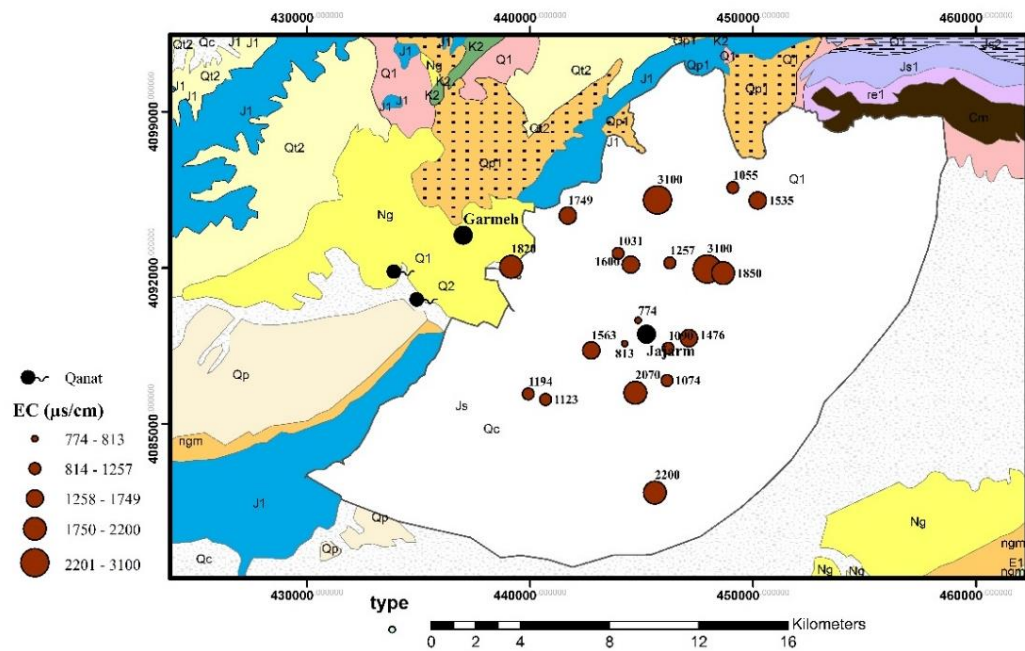
۴-۳-۲- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

با بررسی تغییرات این شاخص، می‌توان به تغییرات غلظت یون‌ها در مسیر حرکت جریان پی برد. عوامل بسیاری از جمله مقدار بارندگی، میزان بهره‌برداری و تخلیه از آبخوان، جنس واحدهای زمین‌شناسی آبخوان و سازندهای همجوار، زمان ماندگاری آب، سرعت حرکت آب زیرزمینی، زهاب کشاورزی، ورود فاضلاب و نفوذ آب شور بر روی مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تأثیر گذار می‌باشند. جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی هدایت الکتریکی در محدوده مورد مطالعه، نقشه پراکندگی مقادیر هدایت الکتریکی برای سه زمان متفاوت در طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ با استفاده از داده‌های چاه‌های بهره‌برداری ترسیم گردید. شکل‌های (۴-۲۰)، (۴-۲۱) و (۴-۲۲) به ترتیب برای خردادماه ۱۳۸۵، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ ترسیم شده است. همانطور که قبلاً بیان شده است، دشت جاجرم از طریق دو جبهه اصلی ورودی

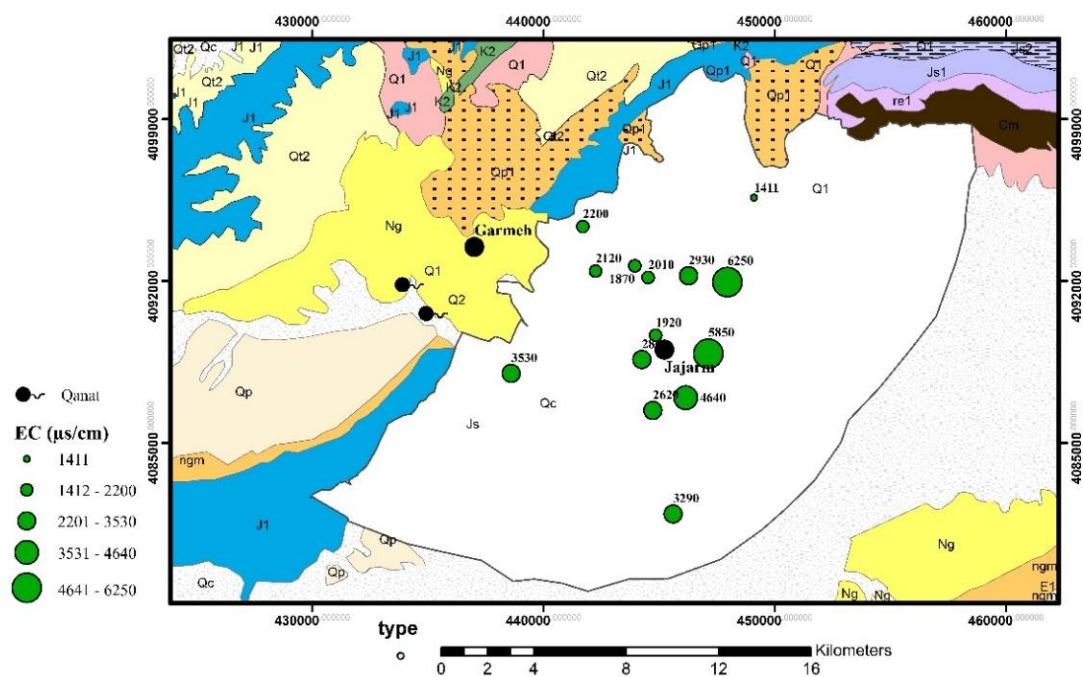
آب زیرزمینی از شمال و سمت ارتفاعات زیر کمر و خروجی حوضه سنخواست در شمال شرق و جبهه بعدی از سمت غرب دشت از خروجی دشت گرمه و کفترک و ارتفاعات زیر کمر در غرب تغذیه می‌گردد و در نهایت به سمت مرکز و جنوب دشت جریان می‌یابد. با توجه به نقشه‌های پراکندگی هدایت الکتریکی، تغییرات هدایت الکتریکی تقریباً با جهت آب زیرزمینی یکی می‌باشد، به طوری که در جبهه ورودی از سمت شمال و ارتفاعات دشت کمترین مقدار EC بوده و در حال حاضر حدود ۱۹۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. در جبهه ورودی غربی در حال حاضر حدود ۱۱۸۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌رسد، همان‌طور که در نقشه‌ها مشاهده می‌شود میزان هدایت الکتریکی در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی از بیشترین مقدار برخوردار می‌باشد. هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی از سمت جبهه شمالی به سمت مرکز دشت رو به افزایش است که روند عمومی در آب زیرزمینی است. اما از سمت جنوب به سمت مرکز دشت مقدار هدایت الکتریکی رو به کاهش است که نشان دهنده نفوذ آب شور، و یا یک منبعی که باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود، است. دلیل نفوذ آب شور را وجود گرادیان هیدرولیکی می‌باشد، که باعث حرکت آب شور در جهت خلاف شیب هیدرولیکی است که، بهره‌برداری و پمپاژ بیش از حد در آبخوان باعث به وجود آمدن این پدیده شده است.

باتوجه به تغییرات بلند مدت هدایت الکتریکی در دشت و کاهش کیفیت آن در بلند مدت، هیچ توجه‌ای به این پدیده نشده و مقدار برداشت کاهش نیافته است. بطور کلی مقدار EC در مرکز دشت اطراف جاجرم بین ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ ($\mu\text{s}/\text{cm}$) متغیر می‌باشد که البته با فاصله گرفتن از مرکز دشت به سمت جنوب و شمال شرق دشت مقدار EC تا حدود $10000 \mu\text{s}/\text{cm}$ نیز رسیده است. رودخانه آب شور با هدایت الکتریکی برابر با $63000 \mu\text{s}/\text{cm}$ واقع در جنوب قبلاً محل تخلیه آب زیرزمینی بوده و نیز نقش گیرنده را داشته است ولی با افزایش برداشت روند تغییر کرده و نقش دهنده را پیدا کرده است و باعث کاهش کیفیت آب در این مناطق شده است. در شمال دشت نیز کیفیت تغییر کرده که به دلیل وجود

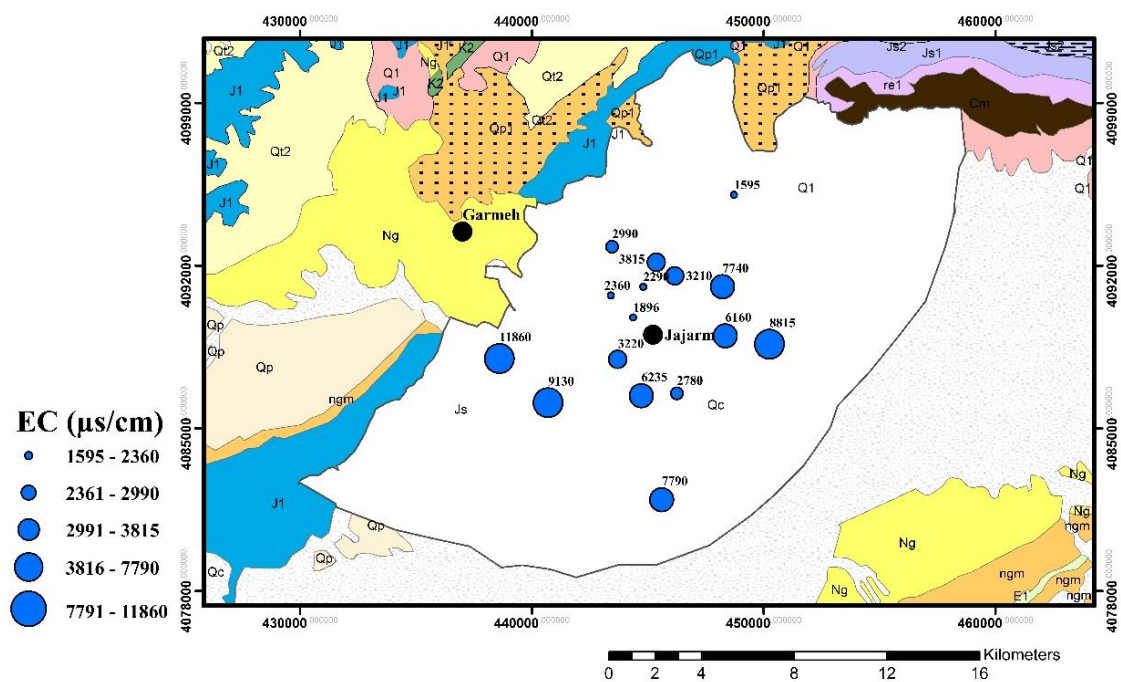
سازند مارنی و ژپسی می‌باشد، وجود یک قنات شور با هدایت الکتریکی $4100 \mu\text{s/cm}$ نیز گواه بر این می‌باشد.



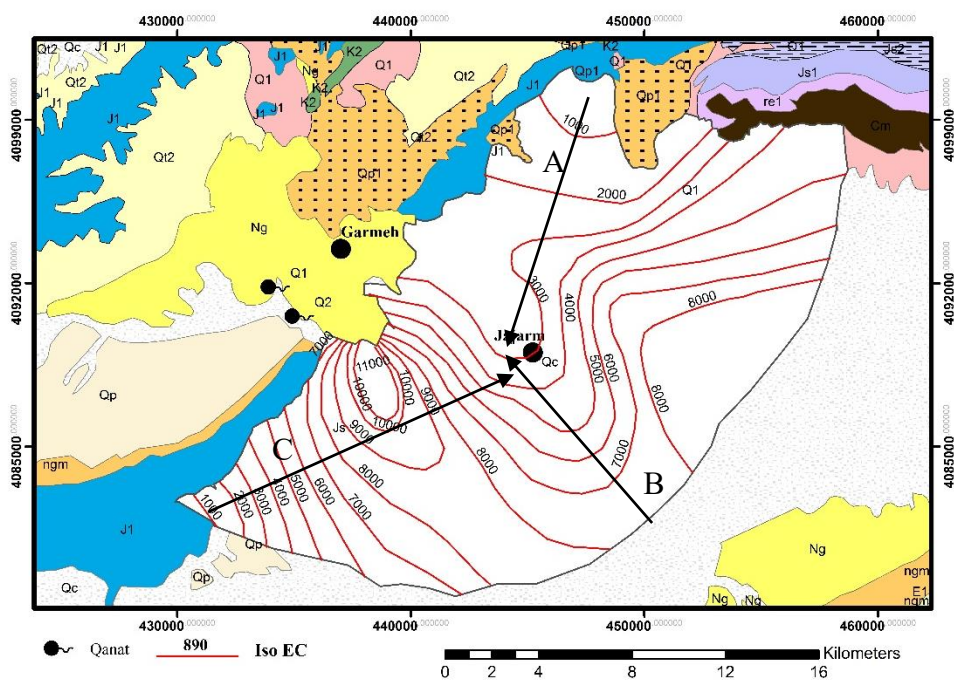
شکل ۴-۱۸: پراکندگی نقاط و دسته بندی مقادیر هدایت الکتریکی در نمونه‌های دشت جاجرم شهریورماه ۱۳۸۱



شکل ۴-۱۹: پراکندگی نقاط و دسته بندی مقادیر هدایت الکتریکی در نمونه‌های دشت جاجرم شهریورماه ۱۳۸۸

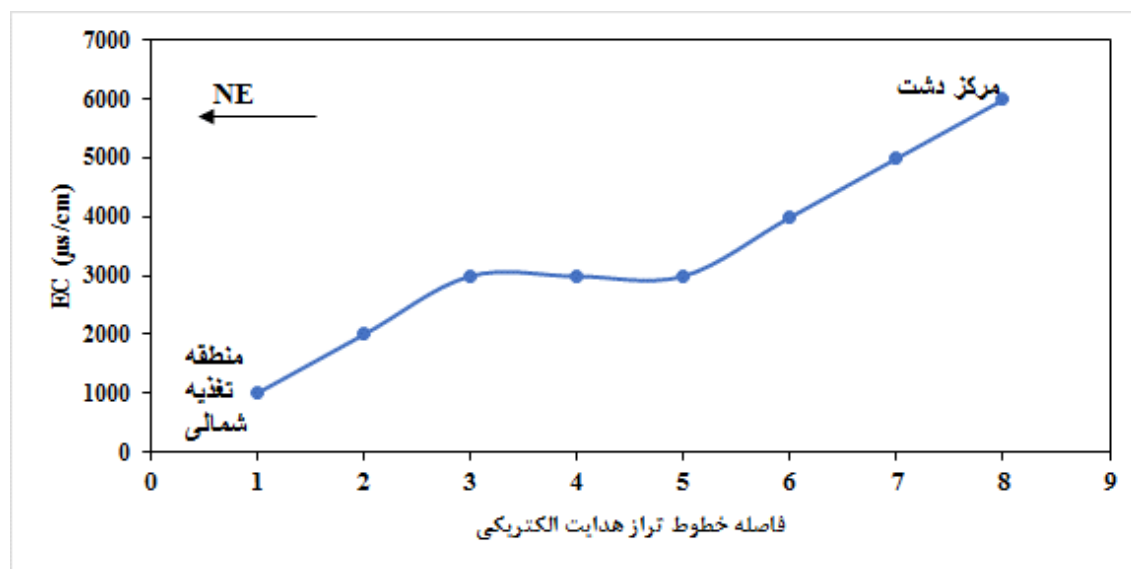


شکل ۴-۲۰: پراکندگی نقاط و دسته بندی مقادیر هدایت الکتریکی در نمونه های دشت جاجرم شهریورماه ۱۳۹۴

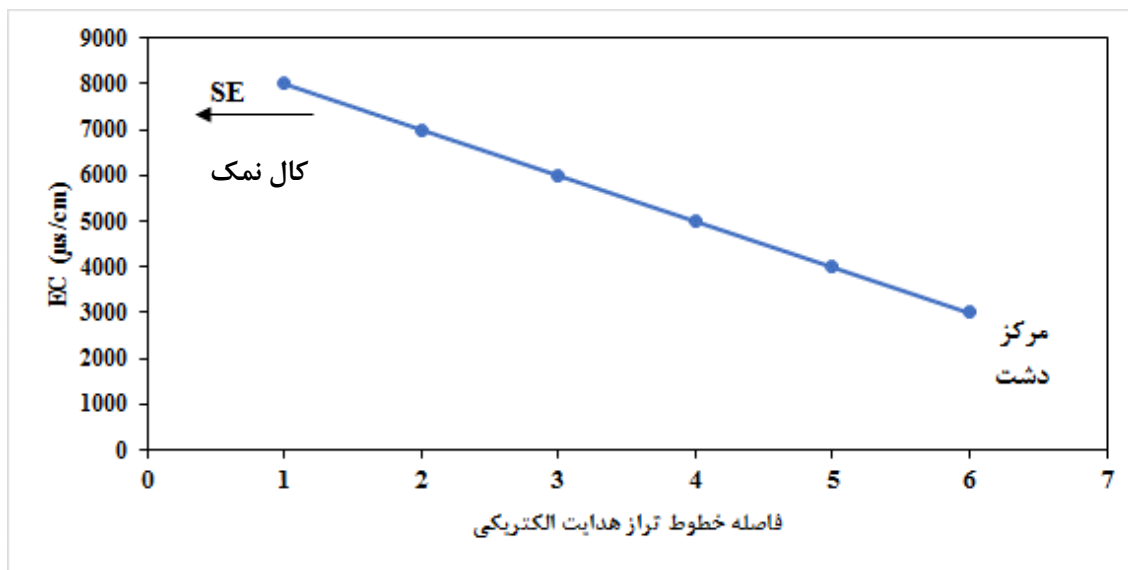


شکل ۴-۲۱: تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در دشت جاجرم در آبان ماه ۱۳۹۵ (مقدار بر اساس $\mu\text{mhos/cm}$)

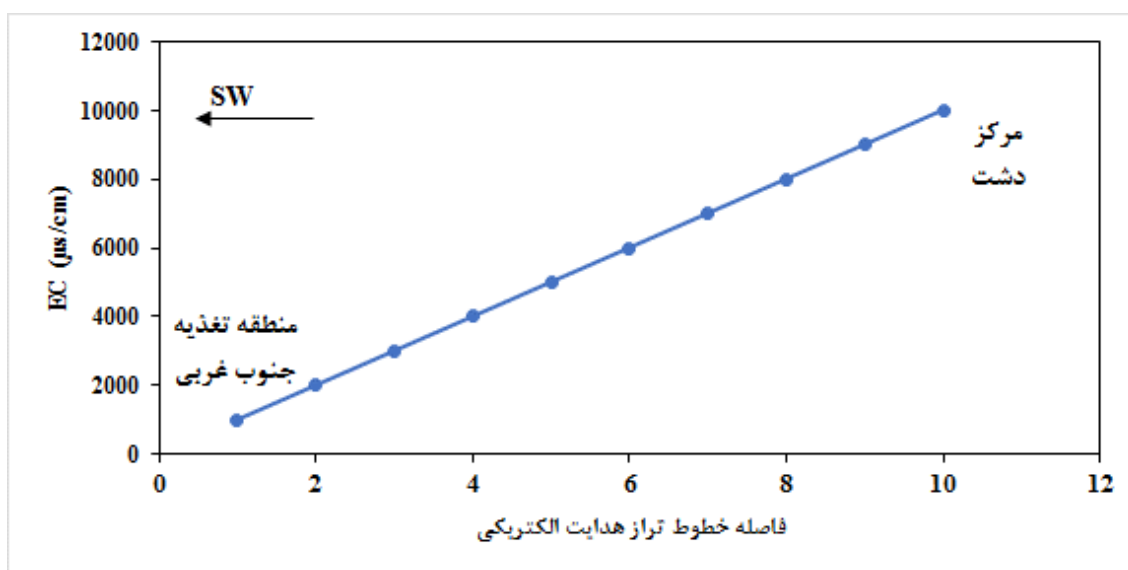
به منظور تعیین تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در دشت جاجرم، سه پروفیل طولی از تغییرات هدایت الکتریکی با توجه به جهت آب زیرزمینی (شکل ۴-۲۳) ترسیم و در شکل‌های (۴-۱۸، ۴-۱۹ و ۴-۲۰) ارائه شده است. پروفیل اول در مسیر جریان از سمت جبهه شیرین شمالی به سمت مرکز دشت ترسیم شده است. در امتداد این پروفیل، مقدار شوری در جهت جریان بطور طبیعی زیاد شده است. اما به دلیل نفوذ جبهه شور که از سمت جنوب شرق وارد دشت می‌شود، روند افزایش هدایت الکتریکی در این پروفیل شدیدتر شده است. پروفیل سوم که از سمت جنوب غرب به سمت مرکز دشت رسم شده است همانند پروفیل شماره (۱) روند افزایشی را نشان می‌دهد. پروفیل دوم که از جهت جنوب شرقی به سمت مرکز دشت رسم شده است همانطوری که در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است روند کاهشی را نشان می‌دهد که هرچه از سمت جنوب شرق به سمت مرکز دشت نزدیک‌تر می‌شویم میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد که نشان دهنده نفوذ آب شور از سمت جنوب شرق به آبخوان است.



شکل ۴-۲۲: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی مقطع شمال شرقی - مرکز دشت (A)



شکل ۴-۲۳: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی مقطع جنوب شرقی - شمال غربی (B)

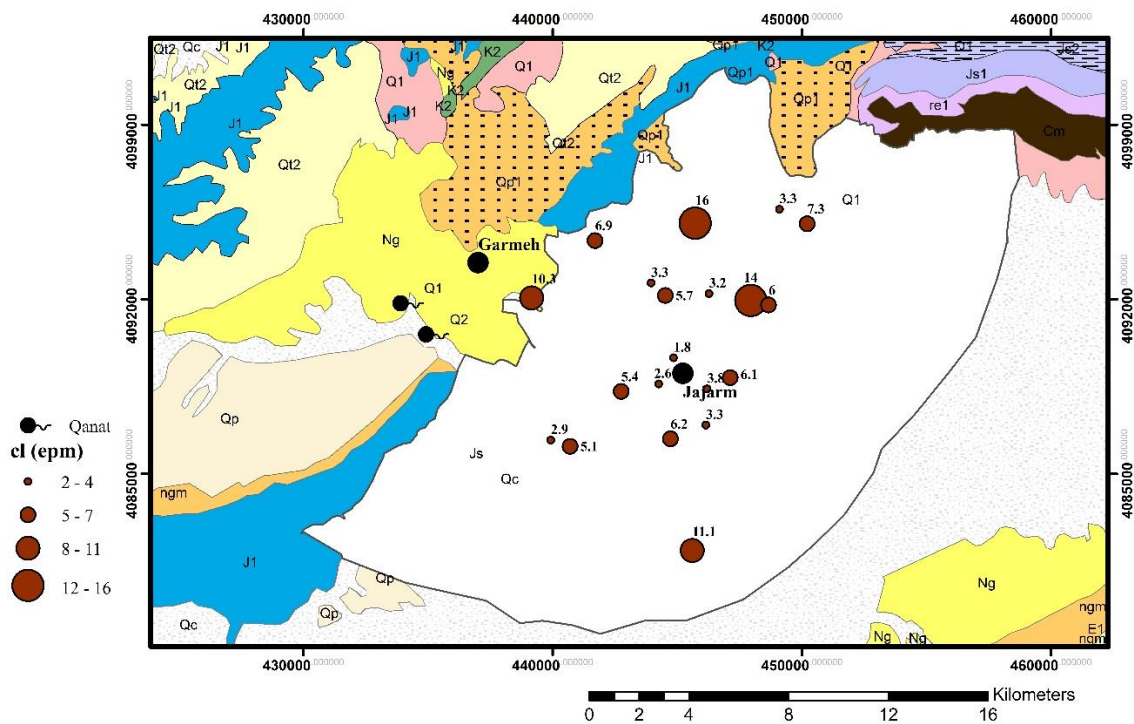


شکل ۴-۲۴: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی مقطع جنوب غربی - شمال شرقی (C)

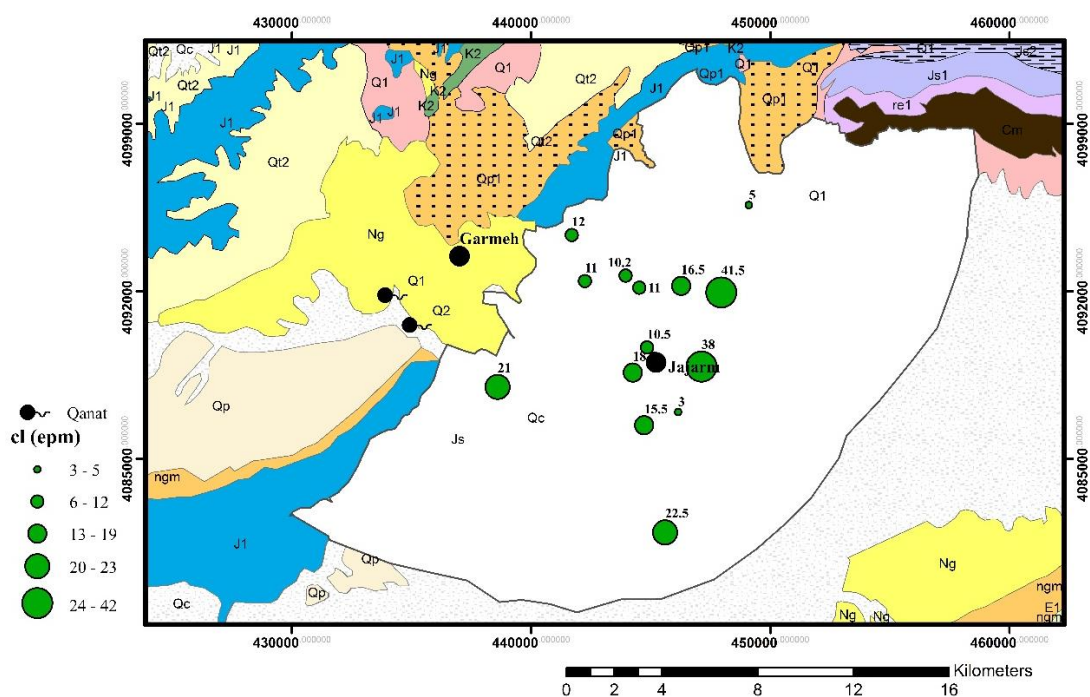
۴-۳-۳- بررسی تغییرات یون کلر

کیفیت آب زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان موجود در منطقه مورد مطالعه متفاوت است. بدین جهت برای بررسی کیفیت، میزان املاح محلول و نیز وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نقشه تغییرات مکانی یون کلر شکل‌های (۴-۲۷)، (۴-۲۸) و (۴-۲۹) برای سه دوره زمانی متفاوت رسم و مورد بررسی قرار گرفت.

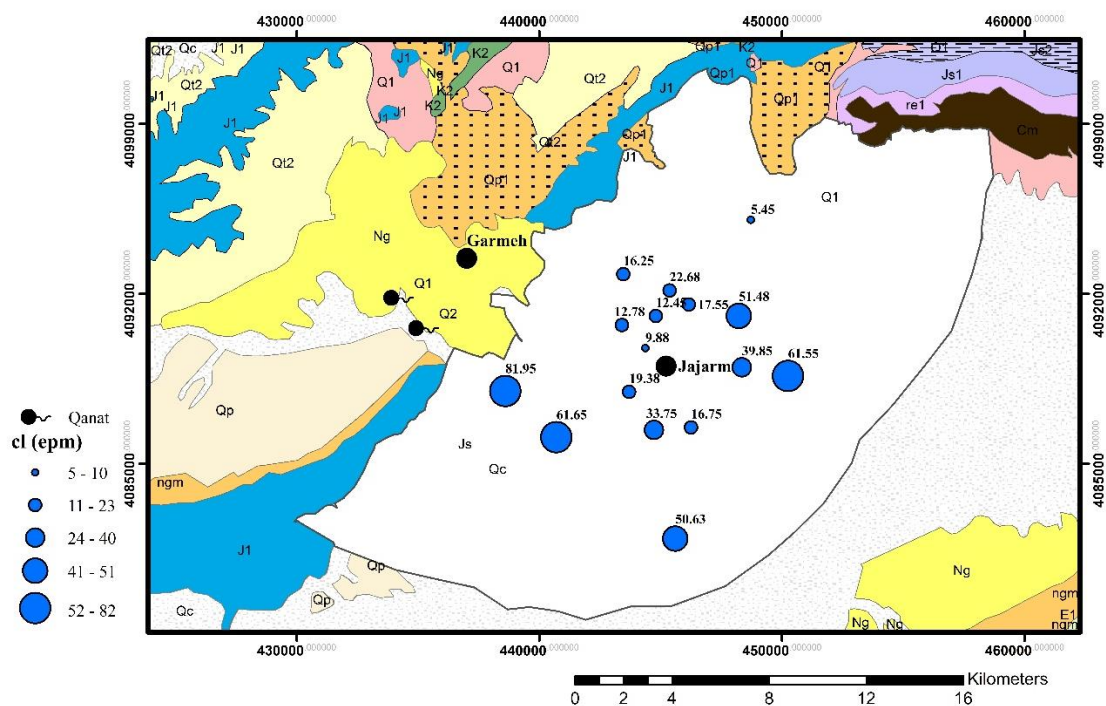
منشأ اصلی کلر در طبیعت سنگ‌های رسوبی است، ولی در سنگ‌های آذرین نیز به مقدار کم وجود دارد. یون کلر در آب‌های زیرزمینی از سه عامل نفوذ آب‌شور، انحلال هالیت و یا تبخیر منشأ می‌گیرد. بر اساس آنالیزهای شیمیایی، نقشه‌های پراکندگی کلر برای آبخوان آبرفتی جاجرم برای سه دوره ۱۳۸۱، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ تهیه گردیده است. با توجه به نقشه‌های پراکندگی غلظت کلر مشخص می‌شود که تشابه زیادی بین نقشه‌های پراکندگی یون کلر و هدایت الکتریکی آبخوان وجود دارد. همان‌طوری که در نقشه‌ها ملاحظه می‌شود میزان غلظت یون کلر در جهت حرکت آب زیرزمینی در حال افزایش است. با توجه به جنس واحدهای در برگیرنده آبخوان و عبور آب از این واحدها، بالا بودن مقدار یون کلر در این قسمت‌ها قابل توجه است. با مقایسه نقشه پراکندگی کلر مشاهده می‌شود که غلظت کلر در بلند مدت به طور میانگین در کل آبخوان افزایش یافته است، چنانچه که حداکثر مقدار آن در سال ۱۳۸۱ میزان ۱۶ epm بوده در صورتی که این مقدار در سال ۱۳۹۴ به میزان ۸۲ epm رسیده است. روند افزایش غلظت یون کلر در جهت حرکت آب زیرزمینی از شمال به سمت مرکز و جنوب دیده می‌شود، و همچنین از سمت شرقی و جنوبی نیز این روند برعکس می‌باشد، که دلیل بر نفوذ آب‌شور می‌باشد. بطور کلی مقدار کلر در دو زون شمال- جنوب در مرکز دشت از سمت قنات شور گرمه به سمت رودخانه کال شور در سمت جنوب و جنوب‌شرقی به سمت مرکز دشت افزایش یافته که دلایل آن‌ها نفوذ آب‌شور از این بخش‌ها می‌باشد.



شکل ۴-۲۵: پراکندگی غلظت یون کلر در نمونه‌های آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۱ (epm)



شکل ۴-۲۶: پراکندگی غلظت یون کلر در نمونه‌های آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۸ (epm)



شکل ۴-۲۷: پراکندگی غلظت یون کلر در نمونه‌های آب دشت جاجرم سال ۱۳۹۴ (epm)

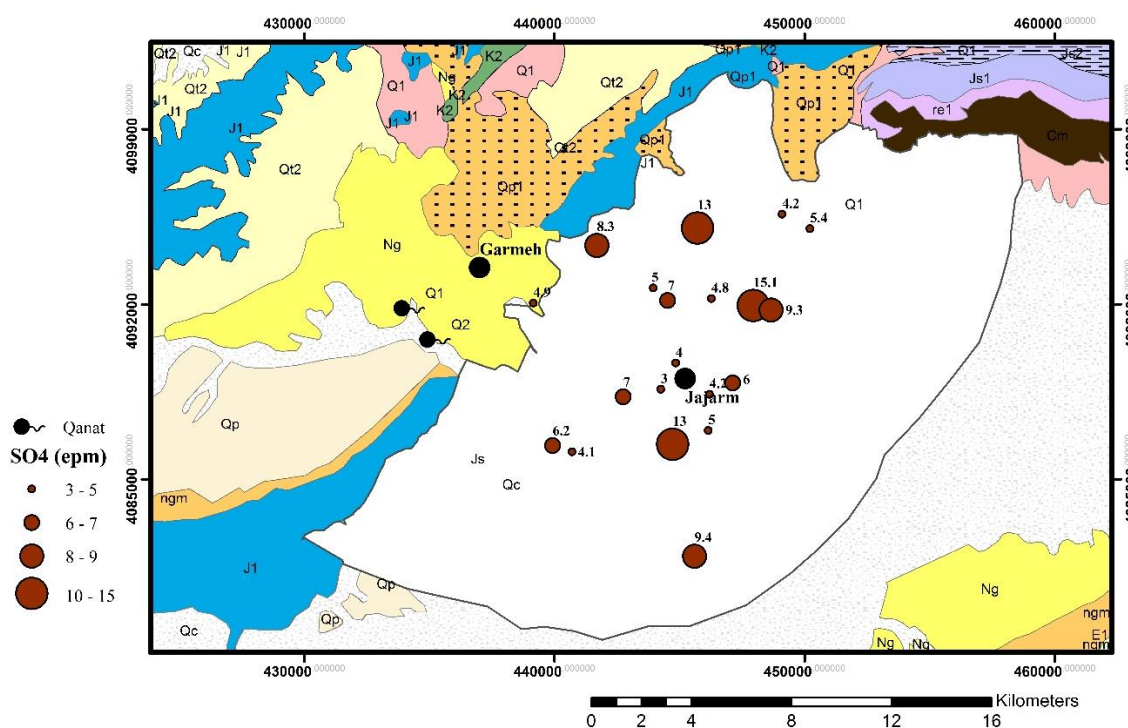
۴-۳-۴- بررسی غلظت یون سولفات

سولفات‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم عمومی ترین حالت آنیون سولفات است. مهمترین منبع ورود یون سولفات در آب‌های طبیعی عبارت است از سولفیدهای فلزی و تبخیری‌هاست. این سولفیدها در اثر شرایط جوی و رطوبت اکسید شده و به سولفات تبدیل می‌شوند که در اثر انحلال در آب، به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شوند. افزایش غلظت یون سولفات باعث سختی آب و در غلظت‌های بالا باعث تغییر در مزه و حتی بوی آب می‌شود.

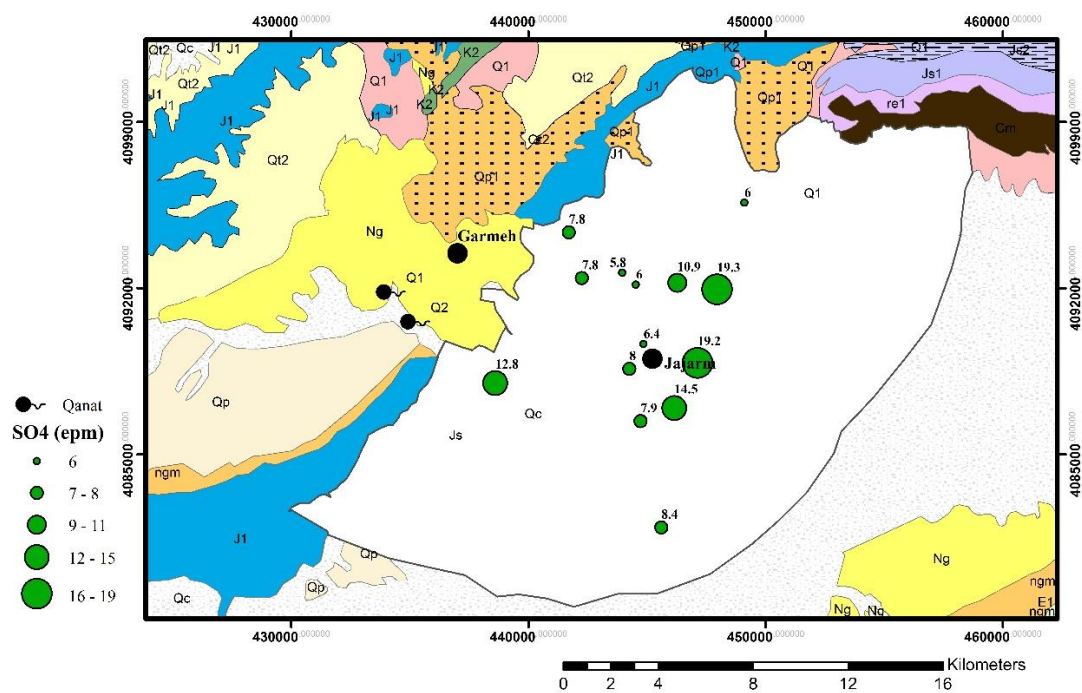
شکل‌های (۴-۳۰)، (۴-۳۱) و (۴-۳۲) به ترتیب نقشه‌های پراکندگی سولفات در آبخوان جاجرم برای سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. با توجه به نقشه‌های ذیل بیشترین میزان غلظت یون سولفات در ناحیه شمالی-جنوبی دشت که در مجاورت با سازندهای تبخیری و مارنی است وجود دارد، افزایش غلظت یون سولفات در روند کلی جریان آب زیرزمینی مشهود می‌باشد. دلیل افزایش غلظت

سولفات در ناحیه شمالی-جنوبی و شرقی تغذیه از سازندهای تبخیری است که حاوی ژپس و انیدریت می‌باشد.

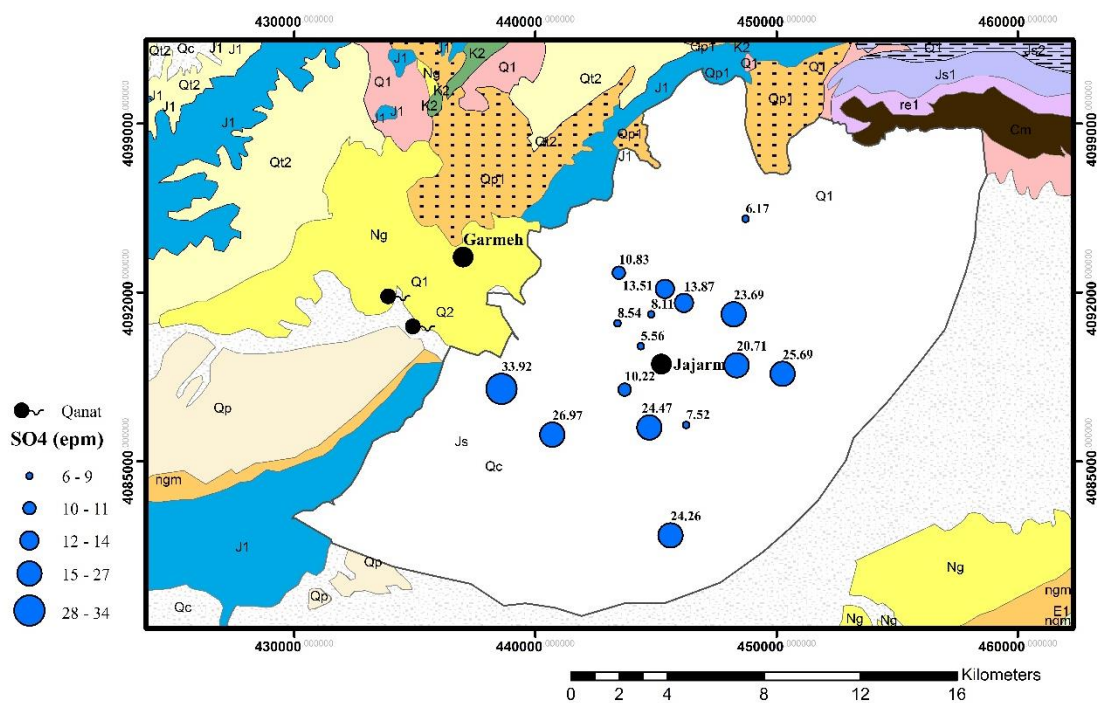
مقدار سولفات نیز با گذشت زمان در دشت افزایش یافته که رفتاری مشابه به کلر و EC را نشان می‌دهد. این رخداد بیانگر این است که به احتمال زیاد انحلال ژپس و انحلال نمک و نفوذ آب شور در افزایش مقدار هدایت الکتریکی در این دشت نقش داشته‌اند.



شکل ۴-۲۸: پراکندگی غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۱ (epm)



شکل ۴-۲۹: پراکندگی غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب دشت جاجرم سال ۱۳۸۸ (epm)

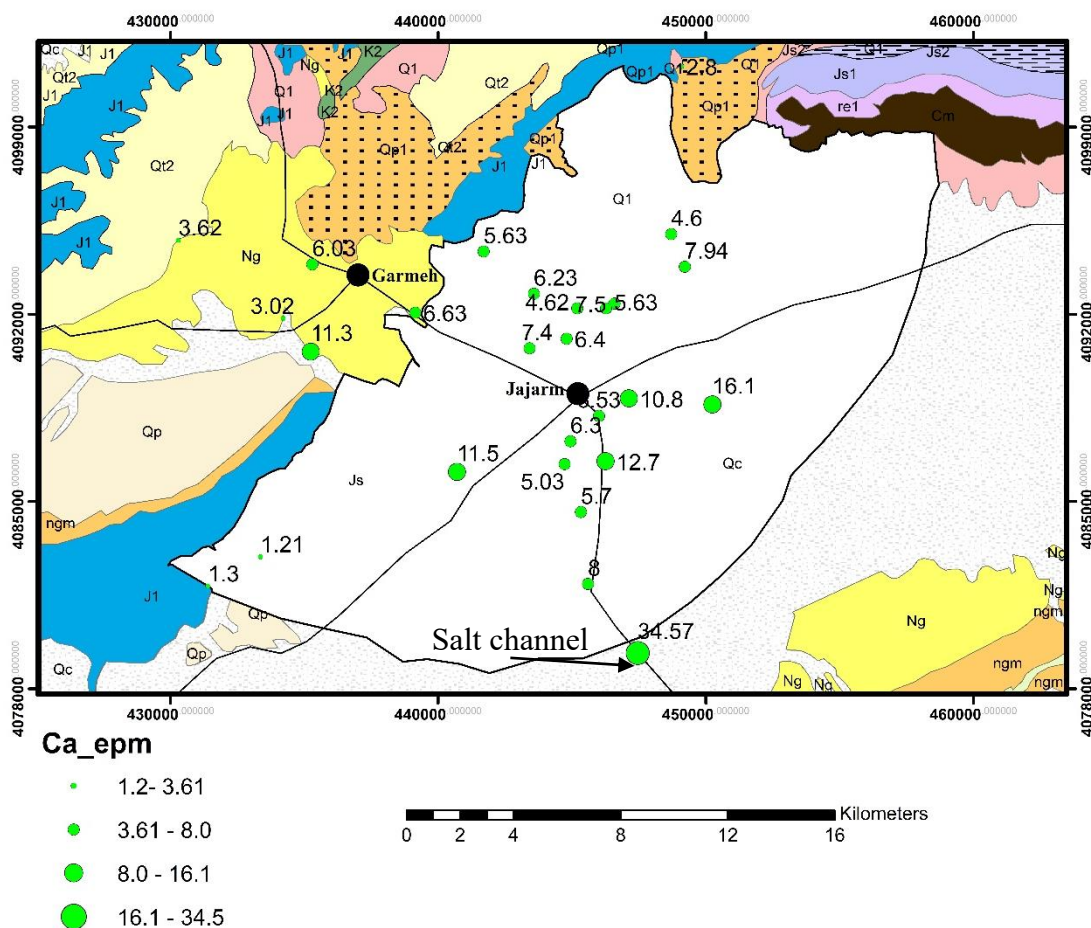


شکل ۴-۳۰: پراکندگی غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب دشت جاجرم سال ۱۳۹۴ (epm)

۴-۳-۵- ارزیابی غلظت سایر یون‌ها

الف - یون کلسیم

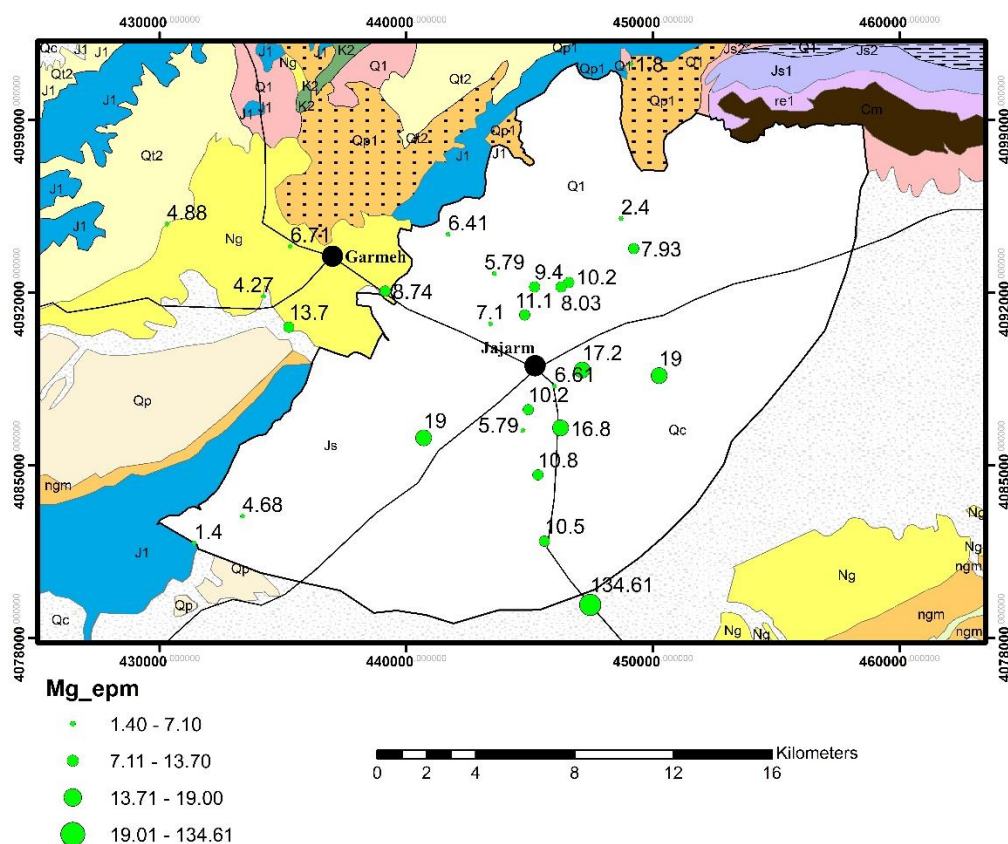
کلسیم یکی از یون‌های اصلی آب به شمار می‌رود که اغلب منشأ این کاتیون را از انحلال سنگ‌های آهکی، دولومیتی و سنگ‌های حاوی گچ می‌دانند. همان‌طور که در شکل (۴-۳۳) مشاهده می‌شود، غلظت یون کلسیم از ۱/۲ تا ۳۴/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در حال تغییر می‌باشد. بیشترین غلظت یون کلسیم در قسمت جنوبی و مرکزی آبخوان مشاهده می‌شود که با غلظت یون سولفات در منطقه هم‌خوانی دارد. مقدار بالای کلسیم در بخش مرکزی دشت را می‌توان به وجود کانی‌های تبخیری و تغذیه اندک آبخوان از این نواحی نسبت داد.



شکل ۴-۳۱: غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جاجرم (epm)

ب - یون منیزیم

در نقشه پراکندگی یون منیزیم رسم شده برای آبخوان دشت جاجرم مشاهده می‌شود که غلظت یون منیزیم همانند یون کلسیم از یک روند مشابه تبعیت می‌کند (شکل ۴-۳۴). افزایش غلظت منیزیم در بخش شرقی و جنوب شرقی دشت به احتمال زیاد نشانگر انحلال لایه‌های تبخیری سولفات منیزیم‌دار و یا رخداد دولومیت زدایی است که در ادامه مبحث هیدروژئوشیمی به آن پرداخته می‌شود.

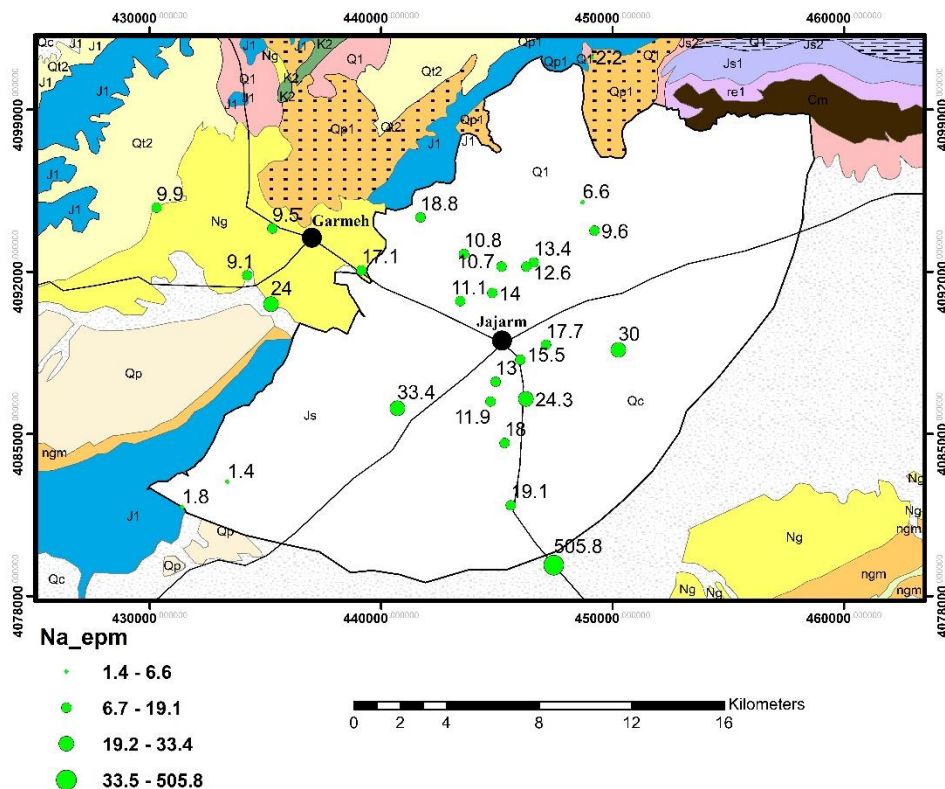


شکل ۴-۳۲: غلظت یون منیزیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جاجرم (epm)

ج - یون سدیم

از مهمترین و فراوانترین فلزات قلیایی که تأثیر بسزایی در میزان شوری آب دارد، می‌توان سدیم را نام برد. با توجه به نقشه‌های مربوطه در محدوده‌هایی که غلظت یون کلر بالا می‌باشد میزان غلظت یون سدیم نیز زیاد است. نقشه غلظت یون سدیم آبخوان دشت جاجرم در شکل (۴-۳۵) ارائه شده است.

توجه به نقشه ترسیم شده یون سدیم در سمت جنوبی و مرکزی دشت از غلظت بیشتری نسبت به دیگر نواحی برخوردار است که در جهت حرکت آب زیرزمینی این یون در حال افزایش می‌باشد. دلیل افزایش یون سدیم می‌تواند انحلال هالیت و یا تبادل یونی باشد که در ادامه به این موضوع پرداخته شده است.

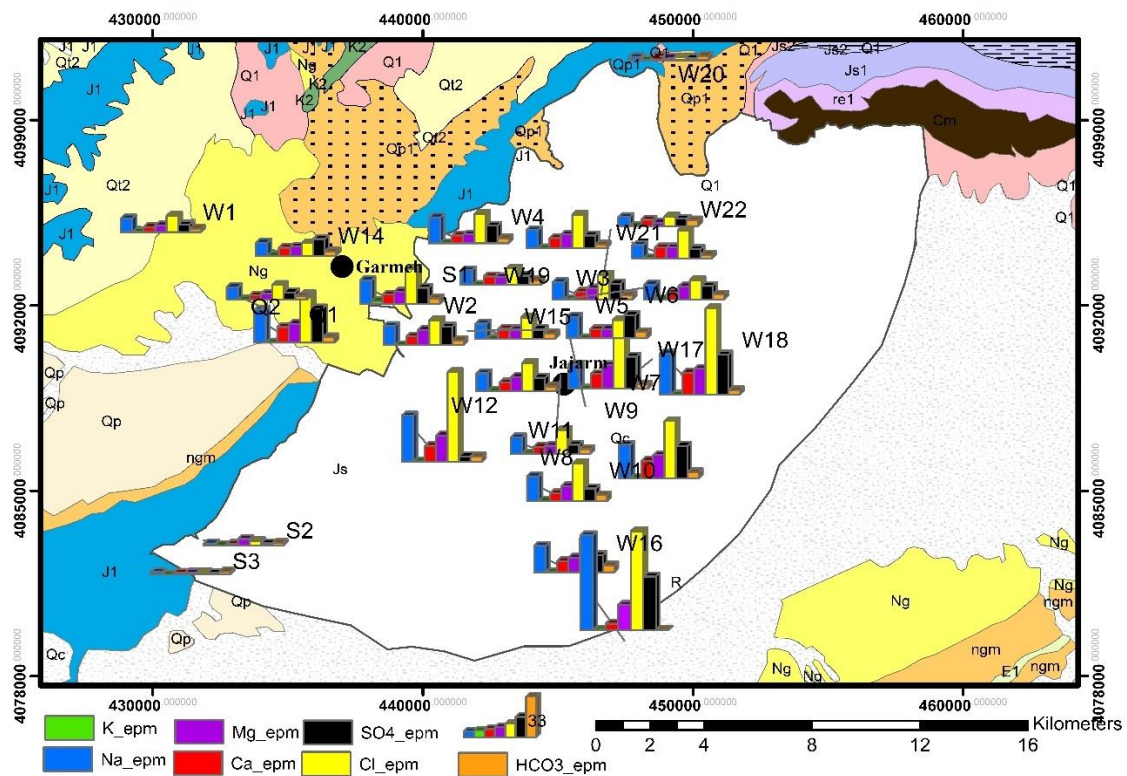


شکل ۴-۳: غلظت یون سدیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جاجرم (epm)

۴-۳-۶- نمودارهای ستونی یون‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه

برای تشخیص و مقایسه سریع رخساره‌های هیدروشیمی و همچنین تشخیص سریع یون غالب در نقاط مختلف یک دشت می‌توان از نقشه ستونی استفاده نمود. این نقشه به طور کلی دارای مزیت‌های هستند که در یک نگاه کلی می‌توان ضمن پی بردن به ترکیب آب در یک نقطه از آبخوان و مقایسه مقدار عناصر دیگر تشکیل دهنده در آن نقطه، به مقایسه عناصر مختلف دشت و کاهش و افزایش مقدار عناصر

پرداخت. بدین دلیل نقشه ستونی جهت مقایسه یون‌های عمده نمونه‌های آب در نقاط مختلف دشت جاجرم، ترسیم شده است (شکل ۴-۳۶). همانطور که در نمودار ستونی مشخص است میزان غلظت یون ها در بخش شرقی و جنوبی بیشتر از بخش شمالی است و بعد از آن در بخش مرکزی بیشترین غلظت وجود دارد. یون‌های کلر و سدیم و بعد از آن سولفات در بخش جنوبی یون‌های غالب بوده است، ولی در بخش مرکزی رفتار متفاوت بوده و میزان غلظت کلر و سدیم به سمت قسمت جنوبی در حال افزایش است.



شکل ۴-۳۶: نمودار ستونی غلظت یون‌های اصلی در منابع آب دشت جاجرم

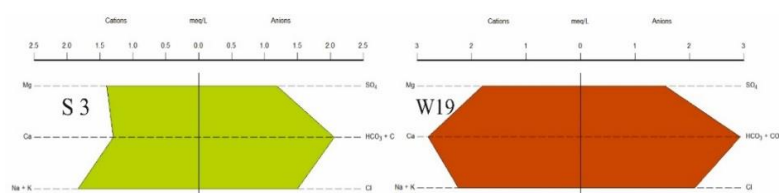
۴-۴- تعیین رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه

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

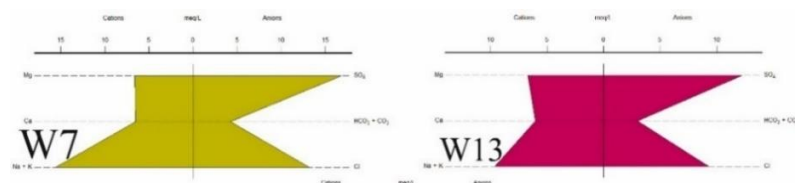
الف - نمودار استیف

به منظور ارزیابی تیپ آب‌ها و مقایسه سریع و آسان نمونه‌های آب زیرزمینی معمولاً از نمودار استیف (Stiff) استفاده می‌شود.

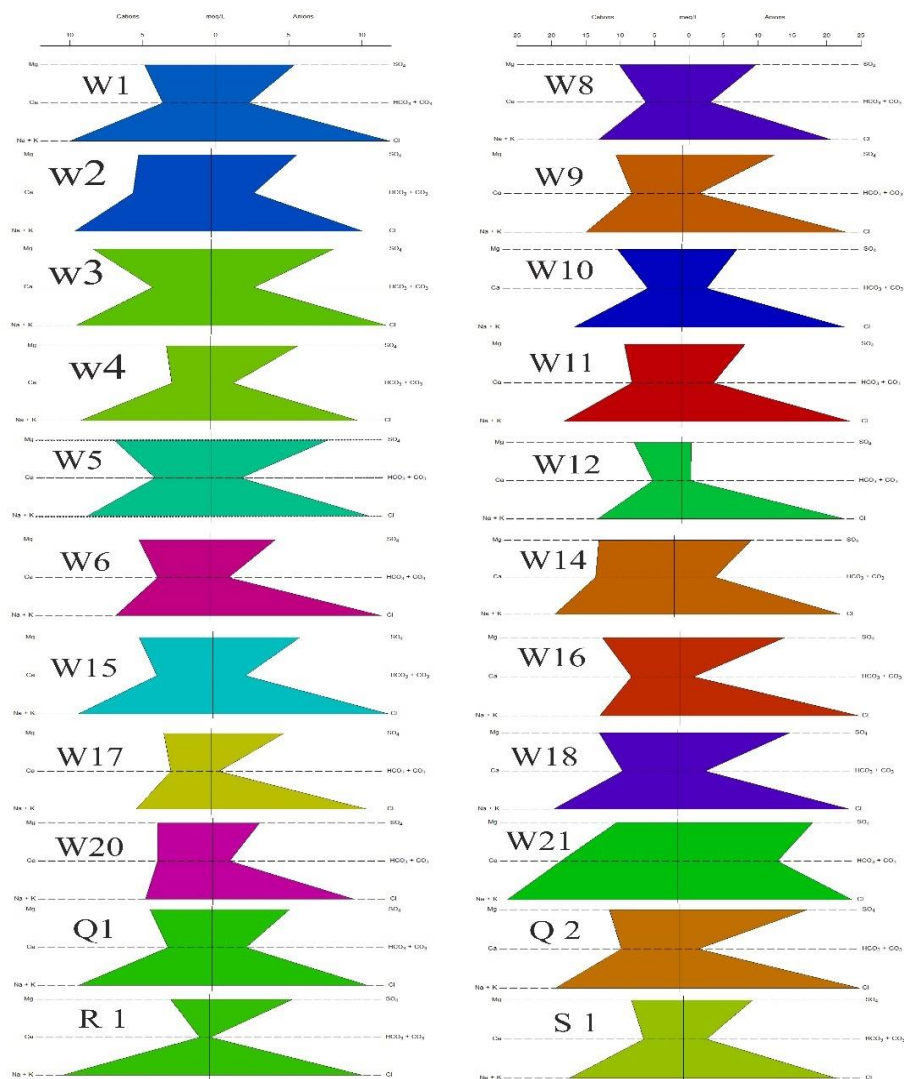
در این روش آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ترتیب در سمت راست و چپ محور قائم قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که نمودار استیف علاوه بر تعیین تیپ آب، یک بیان ترسیمی خوب از مقادیر یون‌های مختلف نسبت به هم ارائه می‌دهد که می‌توان برای تشابه یا عدم تشابه نمونه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. تیپ آب زیرزمینی دشت‌های بزرگ، عموماً در مناطق تغذیه از نوع بی‌کربناته است و در جهت حرکت آب‌های زیرزمینی و انحلال کانی‌های موجود در مسیر خود و تبادلات یونی با سنگ بستر می‌تواند به سولفات‌ها و در نهایت به کلروید تبدیل شوند. نمودارهای استیف سه گروه از نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جاجرم با استفاده از نرم‌افزار AqQA تهیه شده است (شکل ۴-۳۷). نمونه‌ها بر اساس رفتار مختلف و تیپ آب و اشکال متفاوت گراف استیف به سه گروه عمده تقسیم شده‌اند. در گروه ۱ که شامل چاه‌ها و چشمه‌های شیرین می‌باشد، تیپ غالب از نوع بی‌کربناته می‌باشد. گروه دوم دارای تیپ‌های غالب کلروید و سولفات‌ها و تیپ غالب گروه سوم که عمده نمونه‌های گرفته شده از این نوع می‌باشد از نوع کلروید با شوری زیاد می‌باشد که با توجه به منشأ تبخیری و همچنین نفوذ آب‌های شور به سمت آن‌ها، قابل توجیه هستند.



شکل ۴-۳۵: نمودار استیف منابع آب گروه ۱



شکل ۴-۳۶: نمودار استیف منابع آب گروه ۲

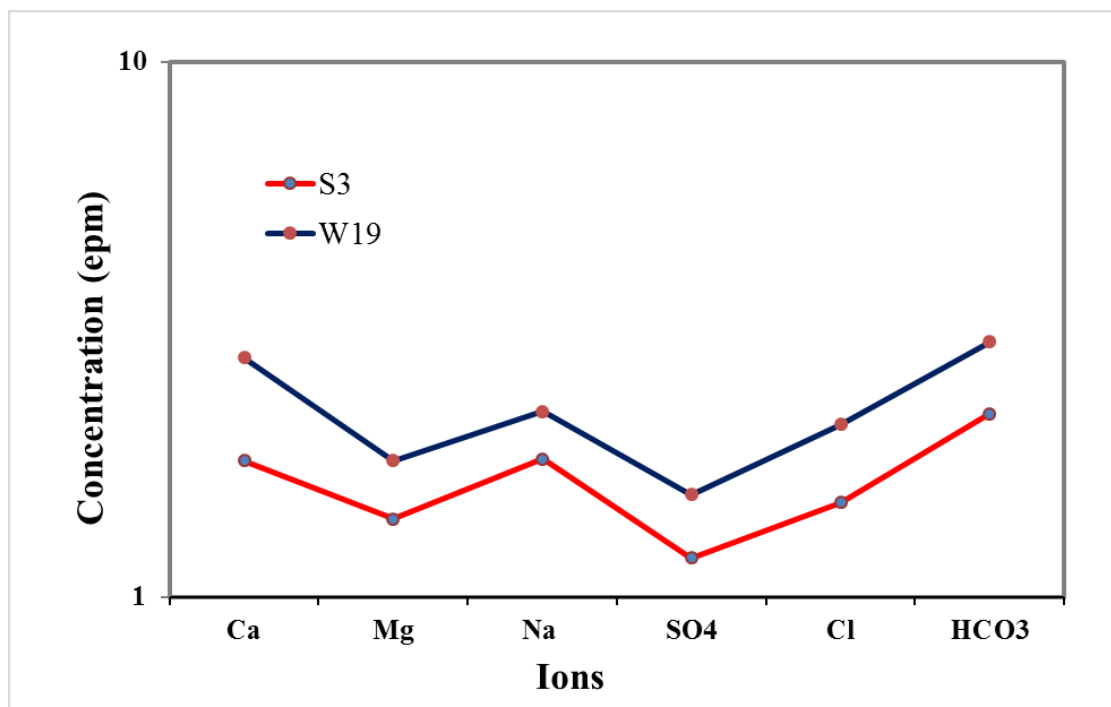


شکل ۴-۳۹: نمودار استیف منابع آب گروه سوم

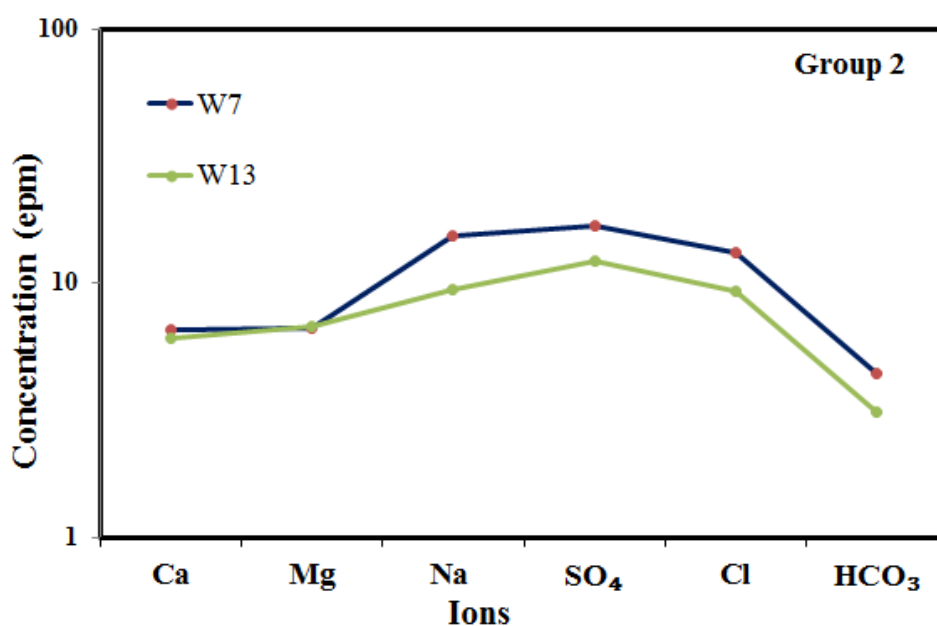
ب- نمودار شولر

نمودار شولر به منظور بررسی منشأ نمونه‌ها، بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. یون‌های اصلی (کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، پتاسیم، کلر، بی‌کربنات) بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر در محور افقی نمودار قرار دارند. با توجه به نیمه لگاریتمی

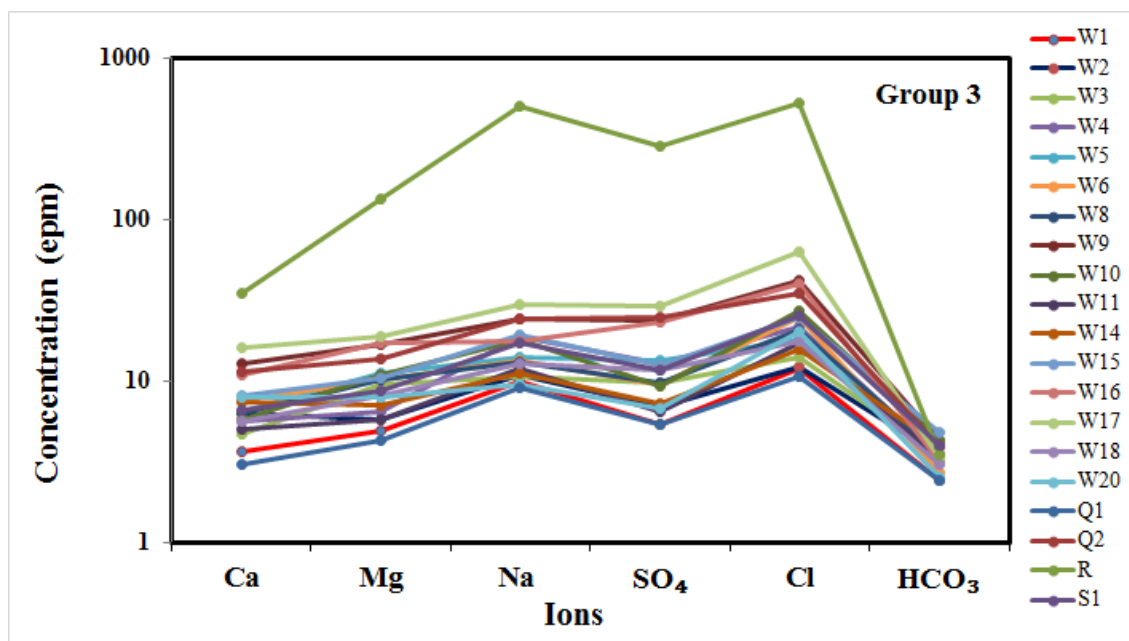
بودن محور عمودی نمودار شولر، خطوط موازی نشانگر روند یکسان و در ادامه یکسان بودن منشأ و مساوی بودن نسبت یون‌ها در نمونه‌ها است (Todd and Mays 2005). شکل‌های (۴-۴۰)، (۴-۴۱) و (۴-۴۲) روند تغییرات یون‌های اصلی در سه گروه عمده نمونه‌های آب دشت جاجرم را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۳۷: نمودار شولر منابع آب دشت جاجرم (گروه اول)



شکل ۴-۳۸: نمودار شولر منابع آب دشت جاجرم (گروه دوم)



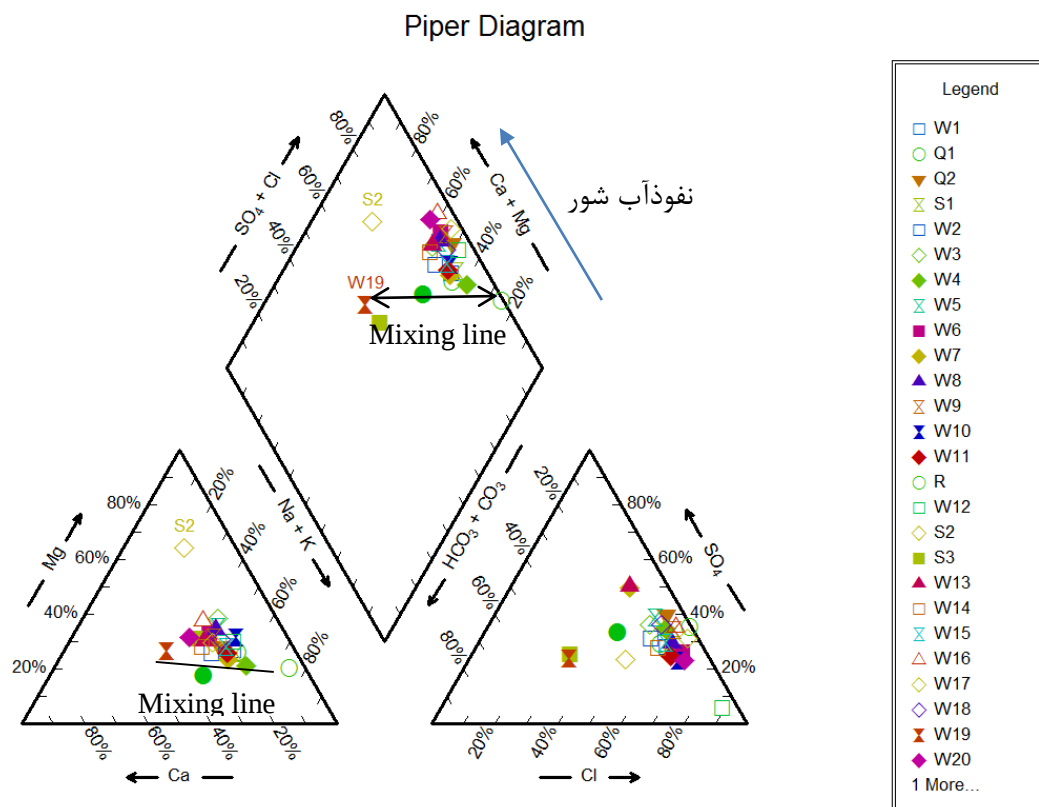
شکل ۴-۳۹: نمودار شولر منابع آب دشت جاجرم (گروه سوم)

لازم به ذکر است که یک رودخانه شور با هدایت الکتریکی برابر با $EC=63000 \mu\text{mohs/cm}$ در بخش جنوبی دشت در میان رسوبات و نهشته‌های مارنی و تبخیری در جریان است. جهت تعیین منشأ شوری دشت جاجرم و تفسیر داده‌ها و تعیین مسیر تکامل ژئوشیمیایی دشت، از خصوصیات آب این رودخانه به عنوان نماینده منشأ شوری، استفاده شده است. روند تغییرات غلظت یون‌ها در این نمونه شور مشابه با چاه‌های گروه ۳ می‌باشد که می‌تواند منشأ یکسان آن‌ها و همچنین اختلاط بین آن‌ها را نشان دهد. همانطور که در شکل (۴۲-۴) مشخص است نمونه کال شور به دلیل بالا بودن غلظت تمامی یون‌های اصلی رفتاری متفاوت نشان می‌دهد که این در تضاد با روند عمومی این دسته نمی‌باشد و می‌توان ذکر نمود که منشأ آن‌ها به احتمال زیاد همسان می‌باشد.

ج- نمودار پایپر

یکی از مهمترین نمودارها برای نمایش و مقایسه کیفی آب، نمودارهای مثلثی می‌باشد، که برای اولین بار به وسیله (Piper 1944) ارائه گردیده است. نمودار پایپر یکی از نمودارهای متداول جهت بررسی

رفتار هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. با استفاده از این نمودار، شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها به خوبی مشخص می‌شود و نمونه‌های با خصوصیات مشابه، در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. با استفاده از نمودار پایپر علاوه بر تعیین تیپ، رخساره نمون‌های آب، مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان، ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی، می‌توان وقوع فرآیندهایی چون ته‌نشینی یا انحلال، اختلاط آب‌ها و تبادل یونی را نیز پیش بینی کرد. زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی بیانگر غالب بودن اسیدهای ضعیف و یا اسیدهای قوی، عناصر قلیایی خاکی می‌باشد. این نمودار برای تمام نمونه‌های آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار AqQa رسم شده است (شکل ۴-۴۳).



با توجه به نمودار پایپر، نمونه آب چاه W19 و S2 به عنوان نماینده شیرین‌ترین چاه و چشمه منطقه، در زون بی‌کربناته در دیاگرام پلات شده است و نمونه R (رودخانه نمک) نیز در سمت مقابل در زون کلروره دیاگرام قرار گرفته است. بقیه نمونه در بین این نمونه‌های آب (End member) پلات شده‌اند.

بنابراین با توجه به دیاگرام پایپر می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جاجرم در اثر اختلاط بین نمونه شور R و آب شیرین بیکرناته تشکیل شده‌اند. تعداد زیادی نمونه از خط مسیر اختلاط کمی فاصله گرفته‌اند که دلیل آن می‌تواند رخداد فرآیندهای نفوذ آب شور و تبادل کاتیونی باشد.

نمونه چشمه S₂ از سایر نمونه‌ها جدا شده است که نشانگر رفتار متفاوت آن می‌باشد و در مسیر اختلاط قرار نگرفته است. داده‌ها نسبت به کاتیون‌ها در مثلث سمت چپ پراکندگی زیادی نشان نداده و متمرکز می‌باشند ولی نسبت به آنیون‌ها پراکنده بوده که می‌توان تفاوت در مقدار کلر و سولفات در نمونه‌ها باشد. مثلث کاتیونی سمت چپ اختلاط را به خوبی نشان می‌دهد. پدیده‌های دیگری غیر از اختلاط همچون تبادل کاتیونی و انحلال ژپس در رفتار متفاوت نمودار پایپر می‌تواند تأثیرگذار باشد. تقریباً تمامی نمونه‌ها (به جزء دو نمونه) در زون آب‌شور قرار گرفته‌اند (دیاگرام شولر)، و در این زون اسیدهای قوی بر ضعیف غالب می‌باشند ولی نسبت عناصر نادر خاکی، قلیائی در آن‌ها یکسان می‌باشد.

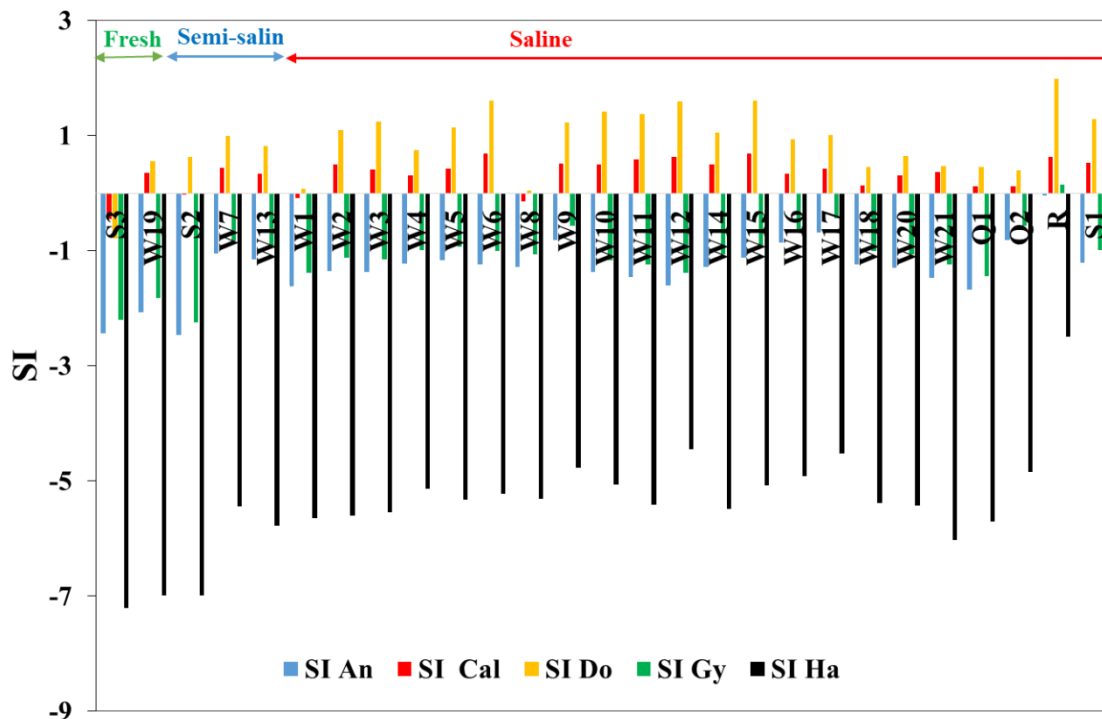
۴-۴-۱- شاخص اشباع

محاسبه شاخص اشباع کانی‌های مختلف به منظور توصیف تکامل شیمیایی آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. با استفاده از روش محاسبه شاخص اشباع می‌توان به پیش‌بینی واکنش‌های کانی‌شناسی زیر سطحی با آب زیرزمینی، بدون جمع‌آوری نمونه‌های خاک و سنگ و تجزیه و تحلیل پتروگرافی پرداخت (Hounslow, 1995). شاخص اشباع استاندارد کانی‌های مختلف به صورت لگاریتم نسبت اکتیویته یونی محصولات (Ion Activity Product) ناشی از انحلال کانی در محلول به اکتیویته یونی همان محصولات در شرایط تعادل بیان می‌شود (Lamgmir 1971):

$$SI = LOG\left(\frac{IAP}{K_{eq}}\right) \quad \text{فرمول (۴-۶):}$$

برای محاسبه شاخص اشباع از مدل هیدروشیمیایی نرم افزار PHREEQC استفاده شده‌است.

شاخص اشباع برای کانی‌های مختلف در تمامی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه محاسبه و در شکل (۴-۴۴) و جدول (۴-۹) ارائه شده است.

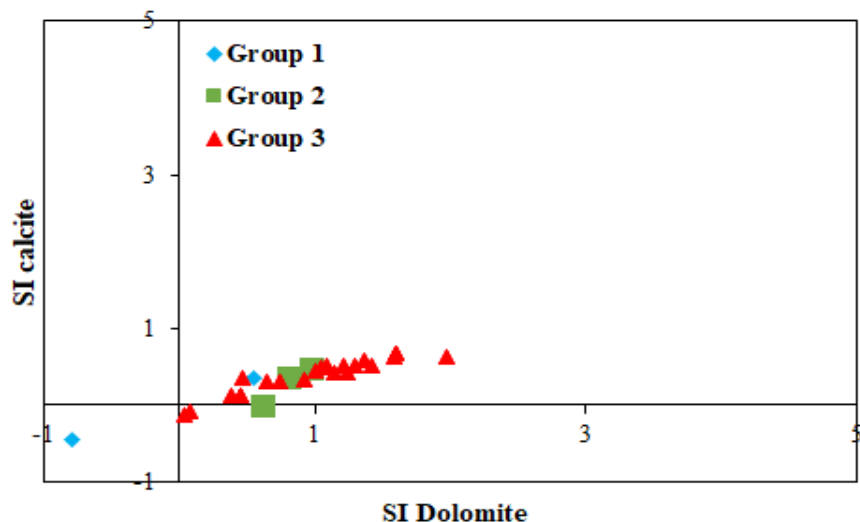


شکل ۴-۴۱: مقادیر نمایه‌های اشباع در منابع آب دشت جاجرم

با توجه به جدول نمایه‌های اشباع، اکثر نمونه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع و تمامی منابع نسبت به ژیپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می‌باشند. کمترین میزان SI_{Ca} ، SI_{Mg} و SI_{Fe} مربوط به گروه ۳ (شور) می‌باشند که در قسمت مرکزی و جنوبی دشت و نواحی که جنس واحدهای زمین-شناسی از نوع مارن و واحدهای رسوبی تبخیری است. همچنین بیشترین شاخص اشباع کلسیت و دولومیت مربوط به منابع آب گروه شور (گروه ۳) و سپس گروه ۲ (نیمه شور) بوده است (شکل ۴-۴۴). در همه‌ی نمونه‌های دشت میزان شاخص اشباع دولومیت بالاتر از کلسیت است، و احتمالاً علت بالا بودن شاخص اشباع دولومیت نسبت به شاخص اشباع کلسیت می‌توان به دلیل وجود کانی‌های دولومیت و کلسیت منیزیم‌دار، رخداد فرآیند دولومیت زدایی (Dedolomitization) و رسوب‌گذاری کلسیت باشد.

جدول ۴-۹: جدول نمایه‌های اشباع نمونه‌های دشت جاجرم

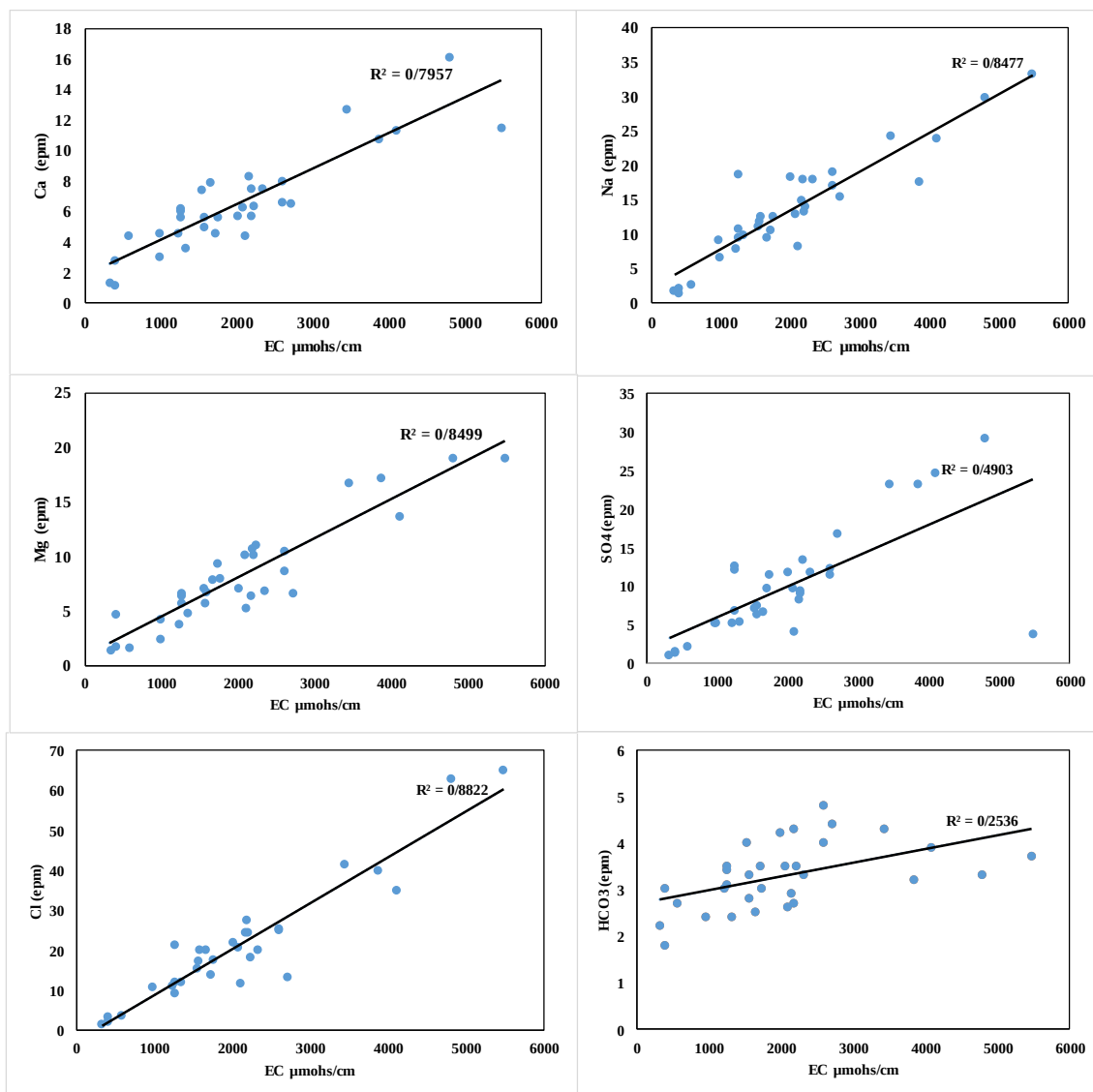
گروه	شماره نمونه	SI _A	SI _C	SI _d	SI _G	SI _H
گروه اول	S3	-2.44	-0.45	-0.79	-2.21	-7.21
	W19	-2.07	0.35	0.55	-1.83	-6.99
گروه دوم	S2	-2.47	-0.03	0.63	-2.24	-6.99
	W7	-1.05	0.44	0.99	-0.83	-5.44
	W13	-1.15	0.33	0.82	-0.93	-5.78
گروه سوم	W1	-1.62	-0.08	0.08	-1.39	-5.64
	W2	-1.35	0.5	1.09	-1.13	-5.61
	W3	-1.37	0.41	1.24	-1.15	-5.55
	W4	-1.22	0.3	0.75	-0.99	-5.14
	W5	-1.17	0.42	1.14	-0.93	-5.33
	W6	-1.24	0.68	1.6	-1.01	-5.23
	W8	-1.28	-0.14	0.04	-1.06	-5.31
	W9	-0.81	0.51	1.22	-0.57	-4.77
	W10	-1.37	0.5	1.42	-1.16	-5.06
	W11	-1.46	0.59	1.37	-1.24	-5.42
	W12	-1.61	0.63	1.59	-1.38	-4.45
	W14	-1.29	0.49	1.05	-1.06	-5.48
	W15	-1.13	0.68	1.6	-0.91	-5.08
	W16	-0.86	0.33	0.93	-0.62	-4.92
	W17	-0.68	0.43	1.01	-0.44	-4.52
	W18	-1.24	0.13	0.46	-1	-5.38
	W20	-1.3	0.3	0.64	-1.06	-5.43
	W21	-1.48	0.36	0.47	-1.24	-6.02
	Q1	-1.68	0.11	0.45	-1.45	-5.71
	Q2	-0.81	0.12	0.39	-0.57	-4.85
	R	-0.05	0.63	1.98	0.15	-2.5
	S1	-1.21	0.52	1.29	-0.99	-5.11



شکل ۴-۴۲: رابطه نمایه‌های اشباع کلسیت در مقابل نمایه‌های اشباع دولومیت در منابع آب دشت جاجرم

۴-۵- بررسی تکامل ژئوشیمیایی دشت جاجرم

در این قسمت به بررسی منشأ کلر و سولفات و همچنین فرآیندهای حاکم بر تکامل ژئوشیمیایی دشت جاجرم پرداخته می‌شود. فرآیندهای موثر شامل انحلال، تبادل کاتیونی و نفوذ آب شور می‌باشد. در آغاز به منظور تعیین ارتباط بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف، نمودار غلظت یون‌های سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات در برابر مقدار هدایت الکتریکی ترسیم شده است (شکل ۴-۴۶). تقریباً تمامی یون‌ها بجز کلسیم و بی‌کربنات رابطه خوبی با افزایش هدایت الکتریکی نشان می‌دهند این نشانگر این است که با توجه به عمق آب زیرزمینی، تبخیر نمی‌تواند عامل اصلی شوری باشد زیرا بایستی تمامی یون‌ها تغییر می‌کردند. بنابراین عوامل دیگری همچون انحلال کربنات‌ها و یا نفوذ آب شور رخ داده است.



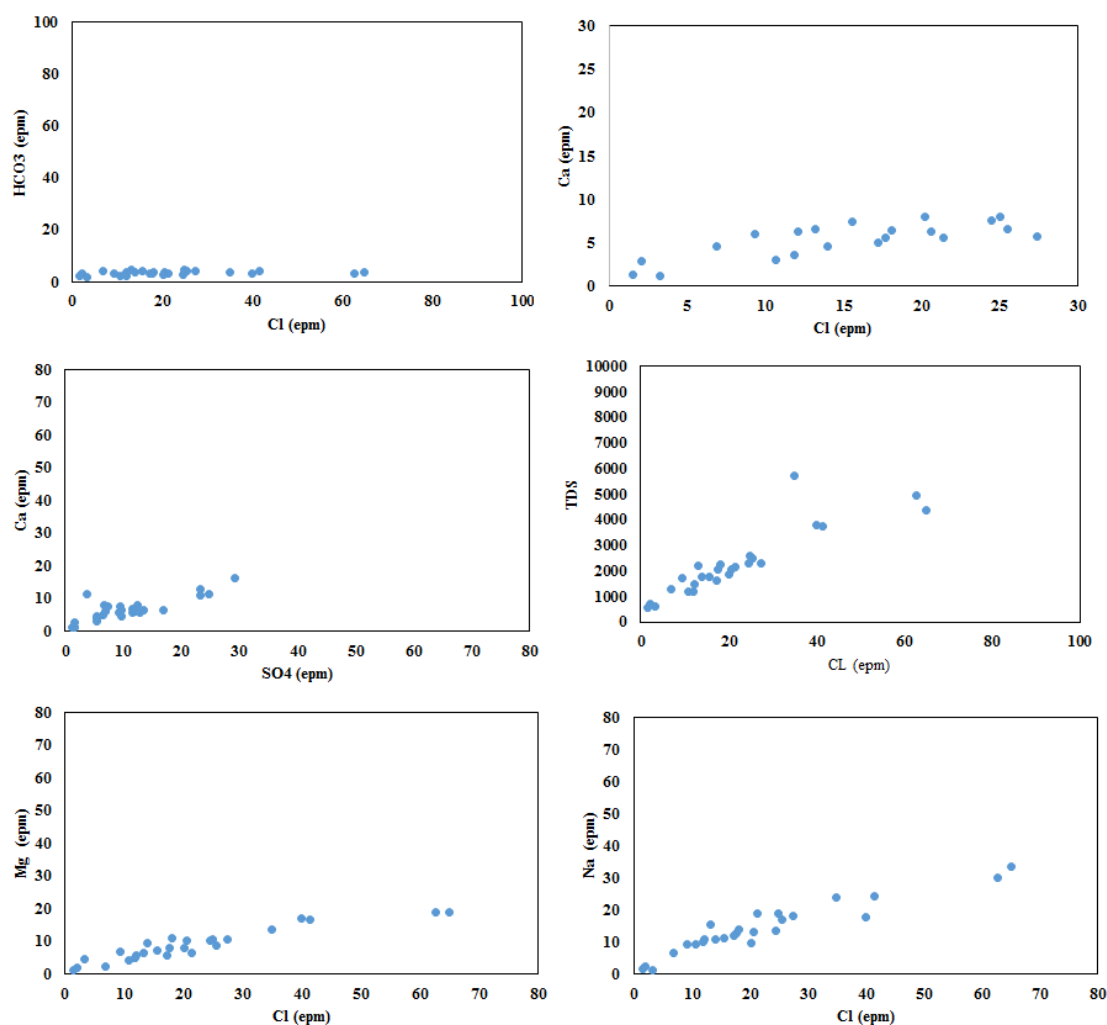
شکل ۴-۴۳: رابطه بین یون‌های اصلی آب با هدایت الکتریکی

از دیگر سوی با افزایش غلظت کلر، یون کلسیم افزایش می‌یابد و رابطه خطی بین غلظت یون‌های سولفات و کلسیم نیز وجود دارد که نشان دهنده فرآیند انحلال ژیپس در آبخوان می‌باشد. نسبت یونی $\text{HCO}_3/\text{sum anion}$ کمتر از ۰/۸ و مقدار سولفات بالاست، این موضوع نشان دهنده نقش انحلال ژیپس و تغییر در کیفیت آب می‌باشد.

غلظت TDS با افزایش کلر بصورت خطی افزایش می‌یابد و این بیانگر تأثیر انحلال هالیت در تعیین غلظت بالا و شوری نمونه‌های آب می‌باشد. هرچند انحلال ژیپس هم در این نمونه‌ها به صورت اولیه تأثیر

گذار بوده است (Freeze and Cherry, 1979).

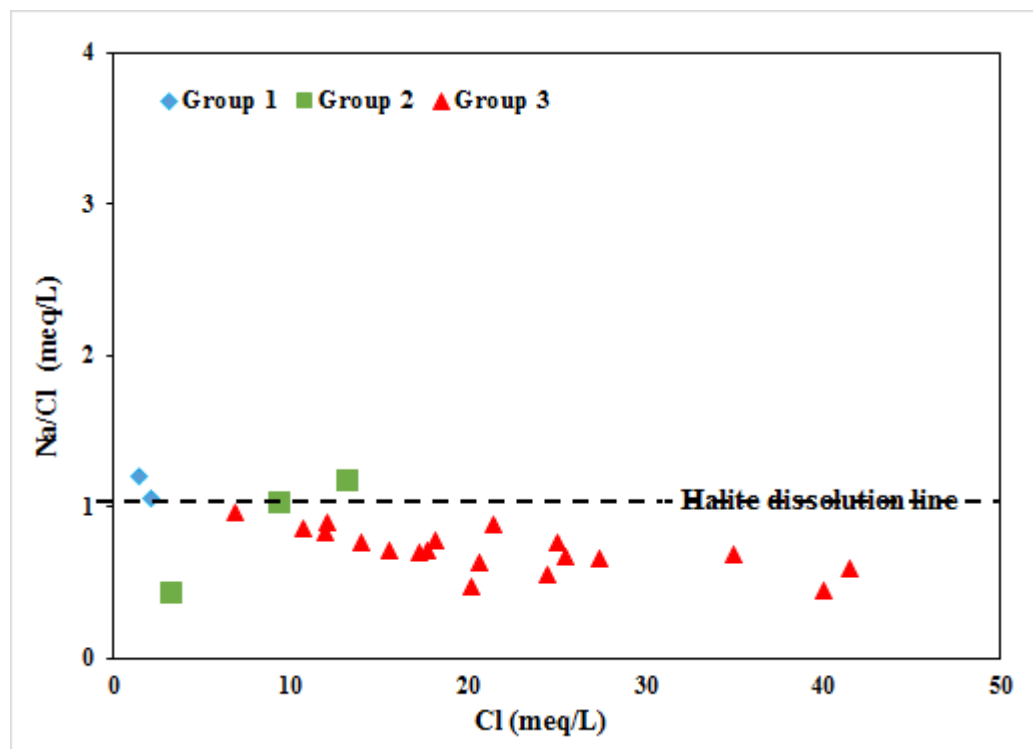
غلظت یون منیزیم با افزایش کلر افزایش یافته است، از طرفی نسبت یونی $Mg/(Ca+Mg)$ در اکثر نمونه‌ها بیشتر از ۰/۵ است به همین دلیل منشأ منیزیم می‌تواند ناشی از هوازدگی دولومیت باشد. یون‌های کلر و سدیم تقریباً نسبت برابری نشان می‌دهند و این بیانگر منشأ یکسان و انحلال هالیت در آبخوان می‌باشد. به عبارتی ترکیب شیمیایی آب در آبخوان در نهایت از انحلال هالیت متأثر است.



شکل ۴-۴: نمودار ترکیبی نمونه‌های دشت جاجرم

جهت نمایش فرآیندهای تبادل کاتیونی و تبادل یونی معکوس در آبخوان دشت جاجرم، نمودارهای ترکیبی با توجه به وجود لایه‌ها و منشأهای نمکی در اطراف دشت، امکان انحلال نمک نیز وجود دارد که برای اثبات این موضوع می‌توان از نسبت سدیم به کلر استفاده کرد (شکل ۴-۴). هنگامی که نسبت

کلر به سدیم برابر با یک باشد منشأ کلر را می‌توان به انحلال نمک نسبت داد. رابطه بین کلر و سدیم در منابع آب دشت حاکی از رخداد انحلال نمک می‌باشد. افزایش و یا کاهش اندک سدیم در برخی از نمونه‌ها نیز دلالت بر فرآیند تبادل یونی می‌باشد. با توجه به نمودار نسبت کلر به سدیم نزدیک به واحد می‌باشد. بنابراین منشأ کلر و یکی از عوامل شوری در آب زیرزمینی دشت جاجرم، انحلال نمک موجود در سازندهای تخریبی و مارنی و شوره‌زاری که در نقاط مختلف دشت وجود دارد، می‌باشد. اما این نسبت در برخی از نمونه‌ها بخصوص چاه‌های شور کمی از یک انحراف یافته‌اند که احتمالاً به دلیل تبادل کاتیونی می‌باشد.



شکل ۴-۴۵: نمودار نسبت سدیم به کلر در مقابل کلر مربوط به دشت جاجرم

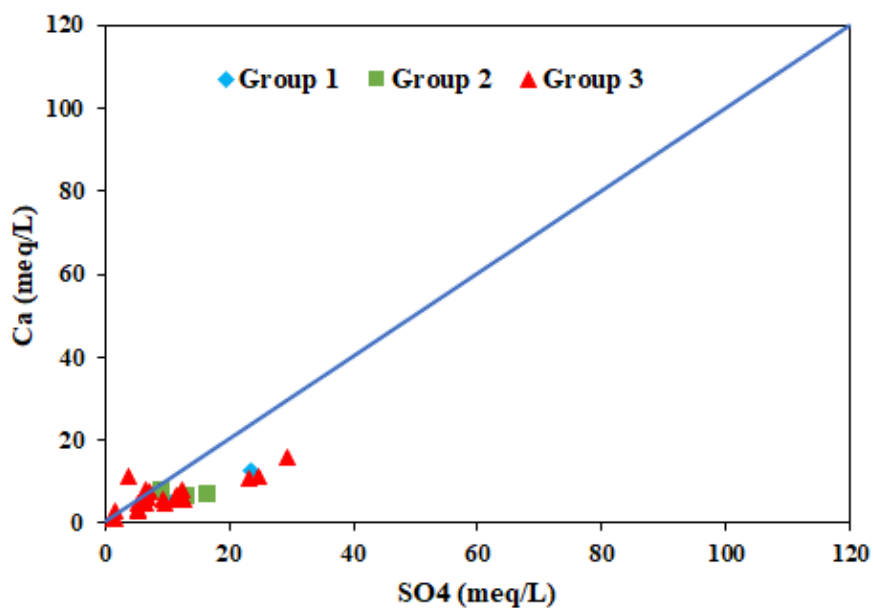
در شکل (۴۸-۴) نمودار Na/Cl در مقابل Cl برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جاجرم نمایش داده شده است. نمونه‌های که بالای خط $Na/Cl=1$ واقع شده‌اند، منشأ دوگانه دارند یعنی علاوه بر انحلال

هالیت ترکیب شیمیایی آن‌ها می‌تواند تحت تأثیر تبادل کاتیونی یا انحلال یک کانی سدیم دار دیگر هم قرار گرفته باشد.

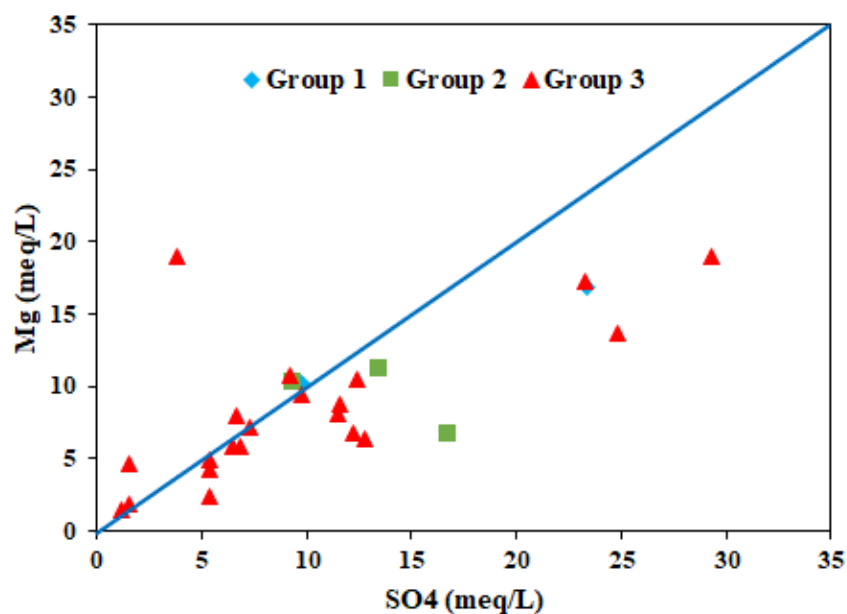
در طی فرآیند تبادل کاتیونی، یون سدیم با یون‌های کلسیم و منیزیم تبادل می‌یابد، بطوری که یون سدیم از مارن‌ها و دیگر سازندهای سدیم دار وارد آب شده و برعکس کلسیم و منیزیم رسوب کرده و وارد فاز جامد شده و غلظت آن‌ها در آب کم می‌گردد و یا فرآیند برعکس نیز اتفاق می‌افتد. این تبادل کاتیونی می‌تواند در اثر نفوذ آب‌شور به طرف سفره شیرین اتفاق بیفتد که در طی آن غلظت سدیم کم و کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد که به آن فرآیند تبادل کاتیونی معکوس گفته می‌شود، شکل (۵۱)-۴، نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 در منابع آب دشت جاجرم را نشان می‌دهد. منشأ اصلی یون‌های کلسیم و منیزیم، انحلال کربنات‌ها و ژئپس می‌باشد، زیرا اکثر نمونه‌ها در نزدیکی خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. انحراف از این خط نشانگر وجود فرآیند تبادل کاتیونی می‌باشد. نمونه‌های شور دارای انحراف هستند.

البته امکان رخداد پدیده دولومیت‌زدایی نیز می‌باشد، در طی فرآیند دولومیت‌زدایی در منطقه، سنگ دولومیت حل شده و در طی آن کلسیت رسوب و جانشین آن می‌گردد. یکی از عوامل مؤثر در پیش روی این فرآیند، وجود کانی ژئپس و انحلال آن در منطقه می‌باشد به طوری که در اثر انحلال ژئپس، غلظت یون کلسیم همزمان با یون سولفات افزایش می‌یابد و با توجه به اثر یون مشترک، افزایش کلسیم محلول باعث رسوب کلسیت در منطقه می‌شود. در اثر رسوب کلسیت، مقدار یون بی‌کربنات و کربنات در آب کاهش می‌یابد. کاهش بی‌کربنات در طی افزایش پیوسته کلسیم حاصل از انحلال ژئپس، باعث انحلال دولومیت در جهت تأمین کربنات مورد نیاز، می‌گردد بنابراین در طی فرآیند دولومیت‌زدایی، مقدار غلظت سولفات، کلسیم و منیزیم افزایش یافته و مقدار بی‌کربنات کاهش می‌یابد. همچنین محلول نسبت به کلسیت اشباع ولی نسبت به دولومیت تحت اشباع می‌شود (Hounslow 1995).

شکل (۴۹-۴) و (۵۰-۴) نسبت یون‌های کلسیم و منیزیم در مقابل سولفات را در منطقه جاجرم نشان می‌دهد. بدین شکل انحلال کانی‌های تبخیری در این منطقه رخ داده است.



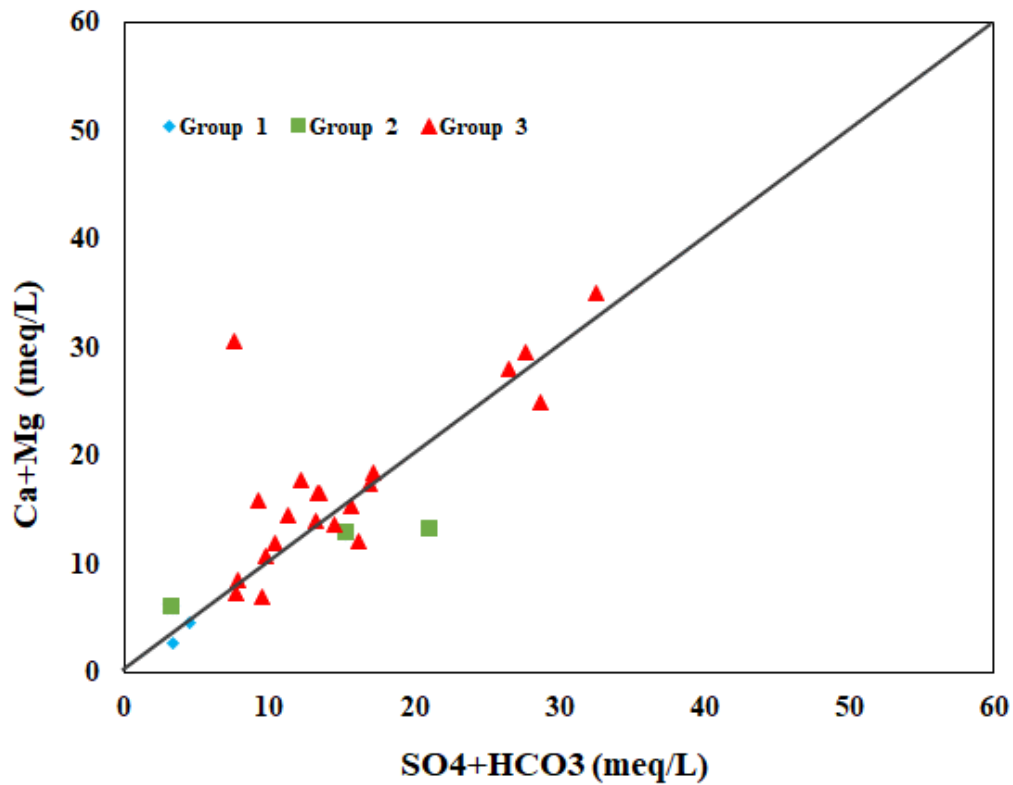
شکل ۴-۴: نسبت Ca در مقابل SO4 در منابع آب دشت جاجرم



شکل ۴-۴: نسبت Mg در مقابل SO4 در منابع آب دشت جاجرم

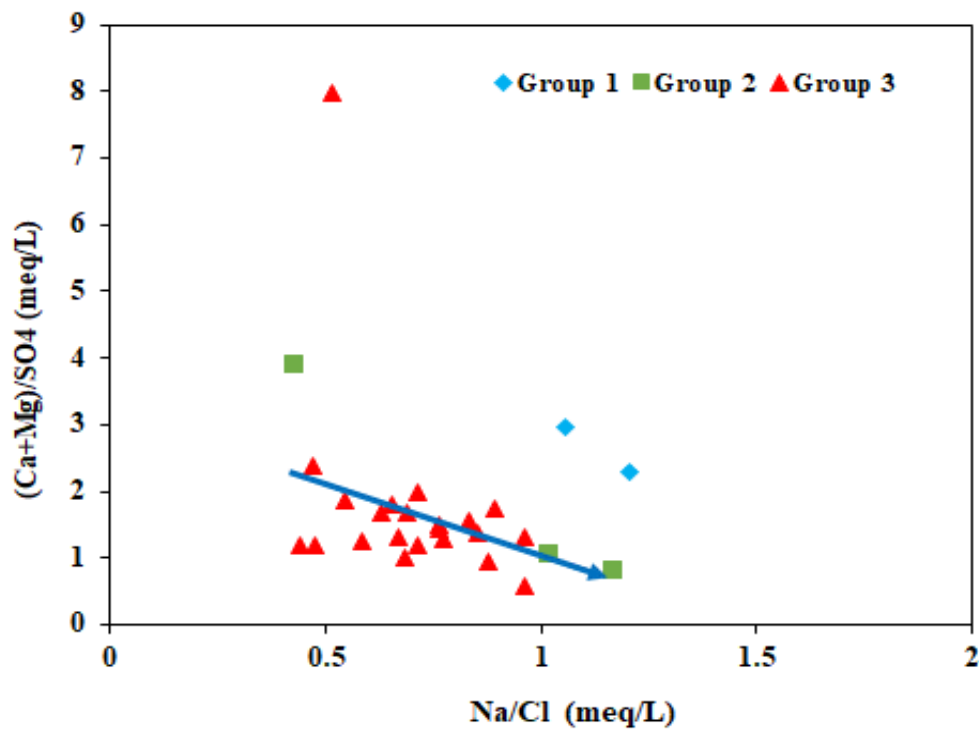
شکل (۴-۵۱) نمودار دو متغیره (Ca+Mg) در مقابل $(\text{HCO}_3 + \text{SO}_4)$ نشان داده شده است. خط ۱:۱ نشان دهنده فرآیند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس می باشد. نمونه های که در امتداد خط در مقادیر کمتر از (۵ epm) واقع شده باشند، نشان دهنده انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس می باشد، نمونه های

که در امتداد آن خط و مقادیر آن بیشتر از (۱۰ epm) باشد نشان دهنده تأثیر انحلال ژئپس همزمان با پدیده تبادل کاتیونی در ترکیب شیمیایی آب آبخوان می‌باشد.



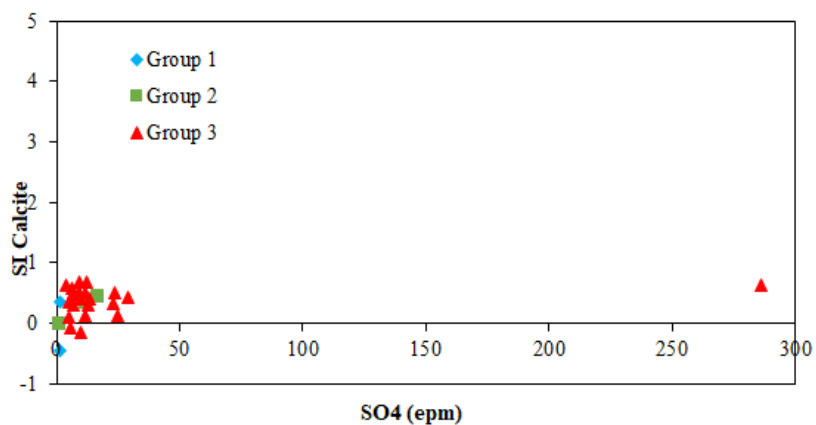
شکل ۴-۴: نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 در منابع آب مختلف جاجریم

در شکل (۴-۵۲) نسبت بین $Ca+Mg/SO_4$ در مقابل نسبت Na/Cl ترسیم شده است. باتوجه به این شکل با افزایش Na/Cl ، نسبت $Ca+Mg/SO_4$ کاهش یافته است. دلیل کاهش $Ca+Mg/SO_4$ ، افزایش نسبت Na/Cl بر وجود تبادل Na با Ca و Mg بوده است.

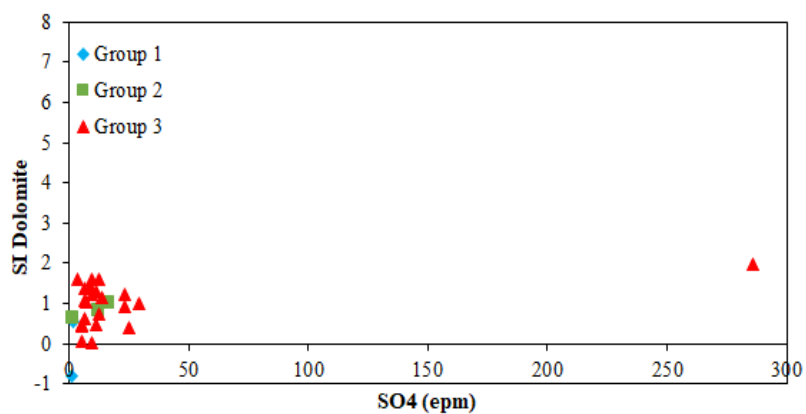


شکل ۴-۴۹: نمودار مجموع کلسیم به منیزیم نسبت به سولفات به نسبت سدیم به کلر

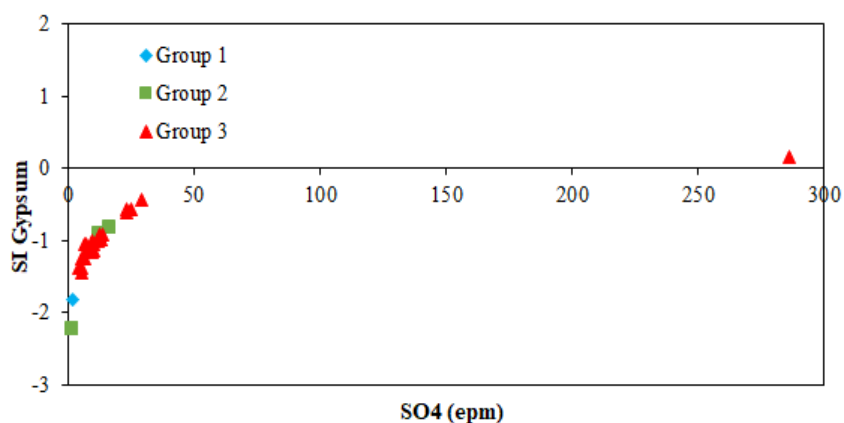
برای نشان دادن نمایش انحلال کانی‌های تبخیری در دشت جاجرم از نمودارهای نسبت یون‌های کلسیم و منیزیم در مقابل سولفات استفاده می‌شود. با افزایش غلظت سولفات، نمونه‌های شور نسبت به کلسیت و نسبت به دولومیت فوق اشباع شده‌اند (شکل‌های ۴-۵۳ و ۴-۵۴). همچنین نسبت به ژیپس در حال اشباع شدن می‌باشد (شکل ۴-۵۵). بنابراین با توجه به این شواهد، احتمالاً فرآیند دولومیت‌زدایی در نمونه‌های شور در دشت جاجرم تا مقداری رخ داده است، به شکلی که باعث کاهش بی‌کربنات در نمونه‌های شور شده است (شکل ۴-۵۶). اما در کل رخداد این پدیده در این منطقه کم رنگ بوده و عامل اصلی نیست، زیرا دیاگرام پایپر خیلی این پدیده را نشان نمی‌دهد و بیشتر پدیده نفوذ و اختلاط و تبادل کاتیونی را نشان می‌دهد.



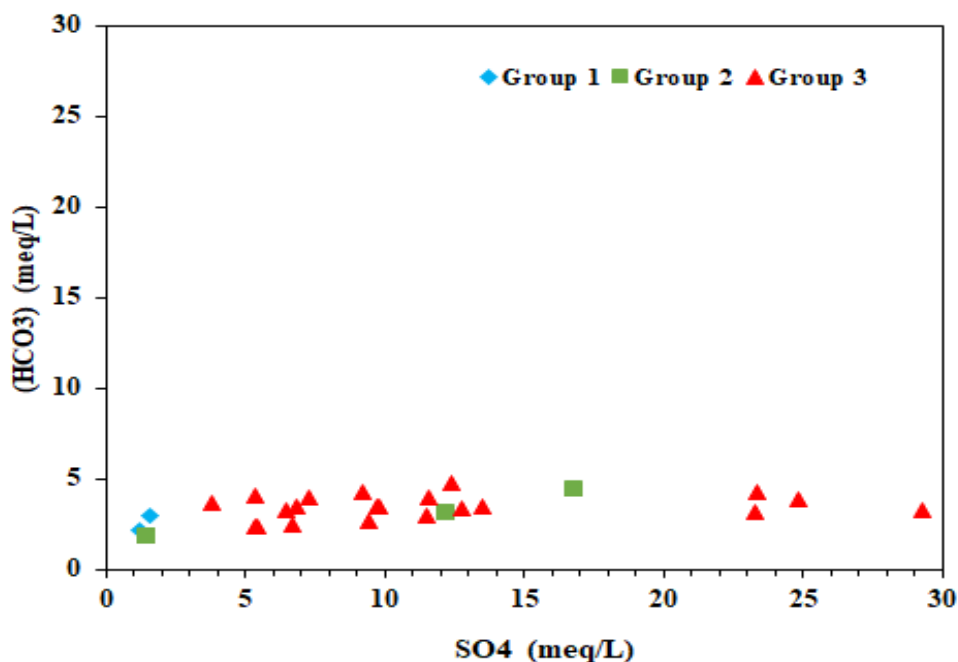
شکل ۴-۵: شاخص اشباع کلسیت نسبت به غلظت یون سولفات در نمونه‌های دشت جاجرم



شکل ۴-۵: شاخص اشباع دولومیت نسبت به یون سولفات در نمونه‌های دشت جاجرم



شکل ۴-۵: شاخص اشباع ژیپس نسبت به سولفات در نمونه‌های دشت جاجرم



شکل ۴-۵: نسبت بی‌کربنات به سولفات نمونه‌های آب دشت جاجرم

۴-۵-۱- بررسی اختلاط آب‌شور در نمونه‌های دشت جاجرم

همانگونه که قبلاً اشاره شد تراکم چاه‌های بهره‌برداری در دشت جاجرم زیاد می‌باشد. برداشت بی‌رویه در این آبخوان باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است به گونه‌ای که در آبخوان باعث تغییر جهت جریان در بخش جنوبی به سمت ناحیه مرکزی شده است. با توجه به وجود کفه‌هایی نمکی در ناحیه جنوب شرقی و جنوبی غربی دشت و وجود رودخانه دائمی کال نمک، این برداشت بی‌رویه باعث تشدید پتانسیل نفوذ آب شور به آبخوان این منطقه می‌شود. بخش جنوبی و مرکزی دشت دارای بالاترین میزان EC در منطقه می‌باشد.

برای بررسی دقیق‌تر دو عضو انتهایی برای نمونه‌های آب این منطقه در نظر گرفته شده است. درصد سهم آب‌شور در نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از یون پایستار کلر و از طریق فرمول (فرمول ۷-۴) می‌توان محاسبه نمود. در فرمول m_{sample} غلظت یون کلر در نمونه، m_{fresh} غلظت یون کلر در نمونه آب شیرین و m_{saline} غلظت یون کلر در نمونه شور می‌باشد. بر طبق فرمول (۴-۲) محاسبات انجام شده،

بازه‌ای بین ۱ تا ۱۲ درصد از مشارکت آب شور در آب زیرزمینی دشت را نشان می‌دهد که نمونه‌های که درصد سهم بیشتر از آب شور را دارند در قسمت‌های جنوبی دشت واقع شده‌اند.

$$f_{saline} = \frac{(m_{sample} - m_{fresh})}{(m_{saline} - m_{fresh})} \quad \text{فرمول (۷-۴):}$$

واکنش بین آب و سنگ

تأثیر آب شور بر آب زیرزمینی از منبع به اطراف در ناحیه‌ای که آب شور به آب زیرزمینی وارد می‌شود رو به کاهش است و از طریق تفاضل بین مقادیر اجزای شیمیایی نمونه‌ها که بصورت تئوری بدست آمده با مقادیر همان اجزا که در آزمایشگاه اندازه گیری شده است، محاسبه می‌شود. غلظت هر یک از یون‌ها را می‌توان از طریق درصد سهم آب شور در آن نمونه محاسبه کرد.

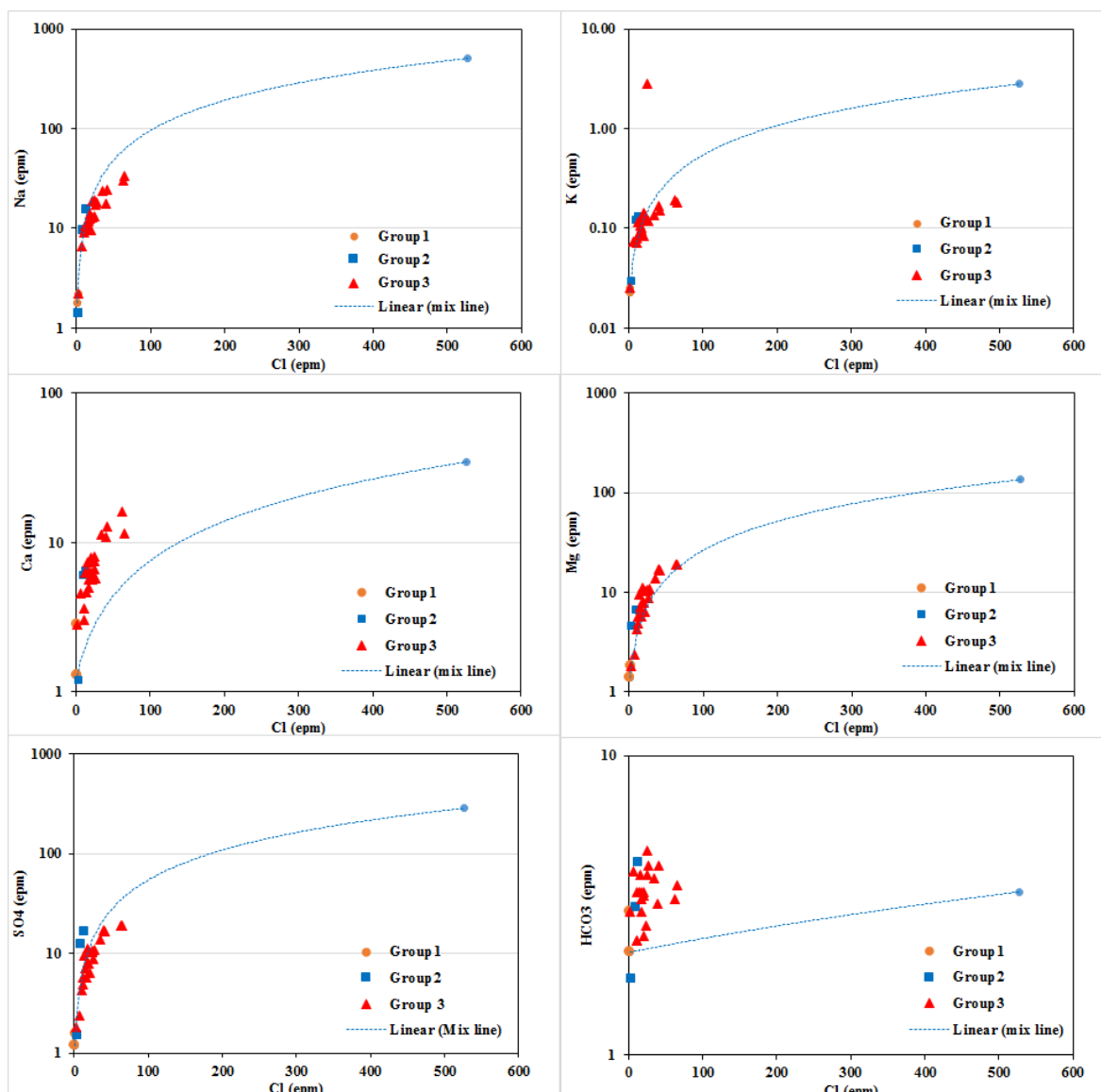
$$m_{i,mix} = f_{saline} \times m_{i,saline} + (1 - f_{saline}) \times m_{i,fresh} \quad \text{فرمول (۸-۴):}$$

بصورتی که m_{saline} و m_{fresh} به ترتیب غلظت یون در آب شور و شیرین (کال نمک و چشمه S_3) به عنوان دو سوی فرآیند اختلاط در نظر گرفته شده است.

برای بدست آوردن دیگر فرآیندهای مؤثر بر غلظت یون‌ها در نمونه‌های آب زیرزمینی از فرمول زیر استفاده می‌شود که مقادیر مثبت یا منفی غلظت یون‌ها بر روی نمودارهای شکل (۵۷-۴) قابل تفسیر می‌باشد.

$$m_{i,react} = m_{i,sample} + m_{i,mix} \quad \text{فرمول (۹-۴):}$$

در معادله فوق $m_{i,sample}$ غلظت یون مورد محاسبه در نمونه که از طریق آنالیز شیمیایی بدست آمده و $m_{i,mix}$ غلظت یون مورد نظر در همان نمونه که طبق فرمول (۸-۴) بدست آمده است.



شکل ۴-۵: بررسی فرایند اختلاط در گروه‌های مختلف منابع آب دشت جاجرم

با توجه به بررسی‌های انجام شده نفوذ آب شور از بخش جنوبی دشت باعث تغییر کیفیت منابع آب موجود شده است. اما در طول گذشت زمان احتمال رخداد دیگر فرآیندها علاوه بر نفوذ آب شور در منطقه وجود دارد. اگر فقط نفوذ آب شور عامل اصلی تغییر کیفیت منابع آب شده باشد، بایستی کلیه داده‌ها از خط اختلاط بین دو عضو انتهایی آب شور و شیرین تبعیت کنند. انحراف از این خط اختلاط نشانگر رخداد دیگر فرآیندها در این منطقه می‌باشد. با توجه به شکل (۴-۵۷)، خط اختلاط بصورت

نقطه چین ترسیم شده است. تقریباً تمام یون‌ها بجز Ca ، HCO_3 از مسیر خط اختلاط با کمی انحراف پیروی می‌کنند.

با توجه به شکل (۴-۵۷)، مقادیر یون کلسیم با افزایش غلظت کلر افزایش پیدا کرده و از خط اختلاط انحراف پیدا کرده است که می‌توان دلیل آن را انحلال کربنات‌ها ذکر کرد.

یون منیزیم نیز مقدار کمی انحراف را نشان می‌دهد و با افزایش یون کلر از خط اختلاط فاصله گرفته و غلظت آن افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه کربنات‌های منطقه حاوی منیزیم می‌باشد، پس می‌توان منبع افزایش غلظت منیزیم را انحلال کربنات‌های منیزیم دار دانست.

در شکل (۴-۵۷)، با افزایش یون کلر یون پتاسیم کاهش می‌یابد و از خط اختلاط فاصله می‌گیرد. منابع (K^+) عبارت‌اند از، فلدسپارهای پتاسیم دار $(\text{KAlSi}_3\text{O}_8)$ ، میکا $(\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$ و به میزان کمتر لوسیت $(\text{KAlSi}_2\text{O}_6)$ و سیلویت (KCl) . رس‌ها از سیینک‌های رایج این یون هستند، یکی از متداولترین واکنش‌های رسی، دیگر کانی‌های رسی پتاسیم محیط را جذب کرده و تبدیل به کانی ایلیت می‌شوند. با افزایش میزان شوری و غلظت کلر غلظت یون سولفات کاهش یافته و از خط اختلاط جدا می‌شود که دلیل آن را با توجه به (جدول ۴-۸)، منفی بودن شاخص اشباع ژپس و خروج سولفات از طریق رسوب ژپس را منتفی می‌کند.

جدول ۴-۱: درصد اختلاط و مقادیر غلظت یون‌های اصلی در فرآیند اختلاط (epm)

SO ₄		HCO ₃		K		Na		Mg		Ca		Fsaline	نمونه
Mix	React	Mix	React	Mix	React	Mix	React	Mix	React	Mix	React		
1.18	0.00	2.20	0.00	0.02	0.00	1.81	0.00	1.40	0.00	1.30	0.00	0.00	S3
1.51	0.05	2.20	0.80	0.03	0.00	2.39	-0.17	1.55	0.25	1.34	1.46	0.00	W19
2.16	-0.64	2.20	-0.40	0.03	0.00	3.54	-2.12	1.86	2.82	1.41	-0.21	0.00	S2
7.52	9.30	2.23	2.17	0.08	0.05	13.03	2.42	4.37	2.24	2.04	4.49	0.02	W7
5.41	6.86	2.22	0.88	0.06	0.06	9.29	0.21	3.38	3.33	1.79	4.24	0.01	W13
6.81	-1.41	2.23	0.17	0.08	0.00	11.78	-1.85	4.04	0.84	1.96	1.66	0.02	W1
6.92	-0.08	2.23	1.27	0.08	0.04	11.98	-1.18	4.09	1.71	1.97	4.26	0.02	W2
7.95	1.80	2.23	1.27	0.09	0.00	13.80	-3.12	4.57	4.83	2.09	2.53	0.02	W3
11.96	0.80	2.25	1.15	0.13	0.01	20.90	-2.10	6.44	-0.04	2.56	3.07	0.04	W4
10.17	3.31	2.24	1.26	0.11	-0.02	17.73	-3.70	5.61	5.49	2.35	4.05	0.03	W5
13.64	-4.22	2.26	0.44	0.14	-0.02	23.87	-10.50	7.23	2.97	2.76	4.74	0.04	W6
11.53	-1.75	2.25	1.25	0.12	0.02	20.13	-7.11	6.24	3.96	2.51	3.79	0.04	W8
22.85	0.53	2.30	2.00	0.23	-0.08	40.17	-15.87	11.54	5.26	3.83	8.87	0.08	W9
15.21	-5.99	2.26	2.04	0.16	-0.04	26.65	-8.65	7.96	2.84	2.94	2.76	0.05	W10
9.69	-3.20	2.24	1.06	0.11	-0.01	16.87	-5.00	5.38	0.42	2.29	2.73	0.03	W11
35.58	-31.76	2.36	1.34	0.36	-0.18	62.71	-29.31	17.50	1.50	5.32	6.18	0.12	W12
8.82	-1.55	2.23	1.77	0.10	0.01	15.33	-4.21	4.97	2.13	2.19	5.21	0.03	W14
13.91	-1.54	2.26	2.54	0.15	-0.02	24.35	-5.28	7.36	3.14	2.79	5.21	0.04	W15
22.04	1.26	2.30	0.91	0.23	-0.06	38.73	-21.05	11.16	6.04	3.74	7.06	0.07	W16
34.39	-5.13	2.35	0.95	0.35	-0.16	60.60	-30.60	16.94	2.06	5.18	10.92	0.12	W17
9.96	1.57	2.24	0.76	0.11	0.01	17.35	-4.73	5.51	2.53	2.33	3.30	0.03	W18
11.31	-4.63	2.25	0.25	0.12	-0.04	19.74	-10.19	6.14	1.79	2.48	5.45	0.04	W20
4.11	1.25	2.21	1.89	0.05	0.02	6.99	-0.35	2.77	-0.37	1.64	2.96	0.01	W21
6.16	-0.82	2.22	0.18	0.07	0.00	10.63	-1.49	3.73	0.54	1.88	1.13	0.02	Q1
19.32	5.52	2.28	1.62	0.20	-0.06	33.93	-9.93	9.89	3.81	3.42	7.88	0.06	Q2
14.18	-2.58	2.26	1.74	0.15	1.81	24.83	-7.73	7.48	1.26	2.82	3.81	0.05	S1
285.90	-0.01	3.50	0.00	2.80	0.01	505.80	0.02	134.60	0.01	34.60	-0.03	1.00	R

۴-۶- تجزیه و تحلیل فاکتوری

یکی از روش های آماری برای تحلیل اطلاعات موجود در مجموعه ی داده ها روش تجزیه عامل ها یا تحلیل عاملی (Factor analysis) است. این روش توسط کال پیرسون (۱۹۰۱) و چارلز اسپیرمن (۱۹۰۴) برای اولین بار مطرح شد، که برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در زمانی که تعداد متغیرها مورد بررسی زیاد و روابط بین آنها ناشناخته باشد، استفاده می شود. در این روش متغیرها در عامل های قرار می گیرند، به طوریکه که از عامل اول به عامل های بعدی درصد واریانس کاهش می یابد از این رو متغیرهای که در عامل های اولی قرار می گیرند، تأثیرگذارترین هستند.

تجزیه عاملی در واقع گسترش تجزیه مؤلفه های اصلی است. در هر دو روش تلاش بر آن است که ماتریکس کوواریانس تقریب زده شود، اما این تقریب در مدل تحلیل عاملی از دقت بیشتری برخوردار است. به طور کلی هدف از تجزیه عامل ها به شرح زیر خلاصه می شود:

۱. تفسیر وجود همبستگی درونی بین تعدادی صفت قابل مشاهده از طریق عواملی که قابل مشاهده نیستند و آنها را عامل می گویند. در واقع این عوامل غیر قابل مشاهده دلیل مشترک همبستگی بین متغیرهای اصلی هستند.

۲. ارائه روش ترکیب و خلاصه کردن تعداد زیادی از متغیرها در تعداد گروه متمایز.

۳. از بین متغیرهای مختلف تأثیرگذارترین آنها تعیین شده و در پژوهش های بعدی به طور جزئی تر متغیرهای تأثیرگذارتر را با تکرار بیشتری بررسی می کنند.

در اولین مرحله در این روش استاندارد کردن مشخصه هاست که برای تمام آنها صورت پذیرفت، این کار به منظور غلبه کردن بر مشکل متفاوت بودن واحدهای متغیرهاست. مرحله ی بعدی، به دست آوردن عوامل از مشخصه های هستند بدین منظور ابتدا مقادیر ویژه، واریانس، درصد واریانس و تجمعی برای بررسی دقیق تر متغیرها و انتخاب عوامل مؤثر بر سیستم محاسبه می شوند. در این مطالعه دو عامل اول ۸۶ درصد از تغییرات کل را شامل می شود. همان گونه که قبلاً ذکر شد از میان عوامل حاصله اولین

فاکتور بیشترین واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کمتری از واریانس را نشان می‌دهند. ماتریس عامل ها در جدول (۴-۱۰) ارائه شده‌است.

از بین عوامل، عامل اول ۷۲ درصد واریانس کل داده ها را شامل می‌شود که مؤثرترین عامل بر تغییر کیفیت آب است. عامل دوم ۱۴ درصد از واریانس کل داده‌ها را شامل می‌شود. شکل (۴-۵۹) مشخصه-های مؤثر در هر عامل را نشان می‌دهد. همانطور که در نشان داده شده است، مشخصه‌های مؤثر در فاکتور اول شامل یون‌های سدیم، کلسیم، پتاسیم، منیزیم کلر، سولفات و نیز هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول است. مشخصه‌های مؤثر در عامل دوم عبارت از بی‌کربنات و pH که تاثیر آن منفی است می‌باشد.

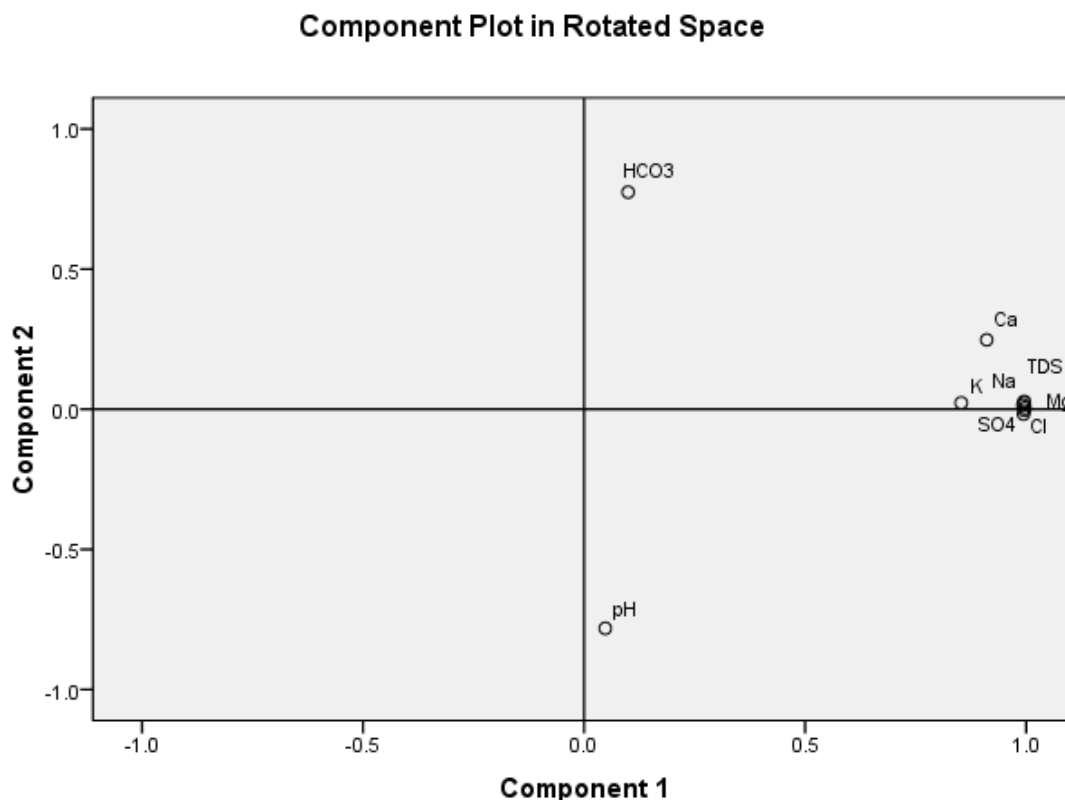
جدول ۴-۱۱: ماتریس عامل ها نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

مشخصه	عامل اول	عامل دوم
کلسیم	۰/۹۲۵	-۰/۱۹۳
منیزیم	۰/۹۹۴	۰/۰۳۱
سدیم	۰/۹۹۰	۰/۰۷۵
پتاسیم	۰/۸۵۸	۰/۰۲۹
بی‌کربنات	۰/۱۴۹	-۰/۷۶۶
کلر	۰/۹۹۵	۰/۰۴۴
سولفات	۰/۹۹۰	۰/۰۵۳
هدایت الکتریکی	۰/۹۹۳	۰/۰۶۲
اسیدیته	۰/۰۰۶	۰/۷۸۳

جدول ۴-۱۲: نتایج تجزیه به عوامل (پس از چرخش واریماکس)

مشخصه	عامل اول	عامل دوم
کلسیم	۰/۹۱۲	۰/۲۴۶
منیزیم	۰/۹۵۴	۰/۰۲۷
سدیم	۰/۹۹۳	-۰/۰۱۷
پتاسیم	۰/۸۵۸	۰/۰۲۳
بی کربنات	۰/۱۰۴	۰/۷۷۳
کلر	۰/۹۹۶	۰/۰۰۴
سولفات	۰/۹۹۱	۰/۰۱۳
هدایت الکتریکی	۰/۹۹۵	-۰/۰۰۵
pH	۰/۰۵۱	-۰/۷۸۴

مشخصه‌های موجود در عامل اول نشان دهنده‌ی تاثیر سازندهای تبخیر و نمکی در آب زیرزمینی، انحلال کانی‌های موجود در این سازندها (روند کلی آب زیرزمینی) و افزایش تبخیر سطحی هستند (جلالی و اصغری مقدم، ۱۳۹۱). عامل اول را باتوجه به مشخصه‌های موجود در آن، می‌توان عامل شوری دشت دانست.



شکل ۴-۵۵: نمودار ضرایب چرخش عامل‌ها

عامل دوم که نشان دهنده‌ی تعامل آب_سنگ که این عامل در ارتباط با انحلال سنگ‌های حاوی ترکیبات کلسیم و منیزیم دار است (غیومیان و همکاران، ۱۳۸۴). تاثیر منفی pH در این عامل به این نکته اشاره دارد که سرعت هوازدگی اینگونه کانی‌ها در محیط‌های اسیدی بیشتر از محیط‌های بازی است. همچنین این عامل نشان می‌دهد که افزایش یون‌های کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات در راستای کاهش pH است.

۴-۷- ارزیابی منابع آب آبخوان دشت جاجریم از لحاظ مصارف کشاورزی

استاندارد کیفی آب آبیاری بر اساس سه عامل ذیل بنا نهاده شده است (Karanth, 2001):

۱. غلظت کل نمک‌های محلول آب، که این غلظت از طریق اعمال اسمزی بر روی محصول اثر می‌گذارد.

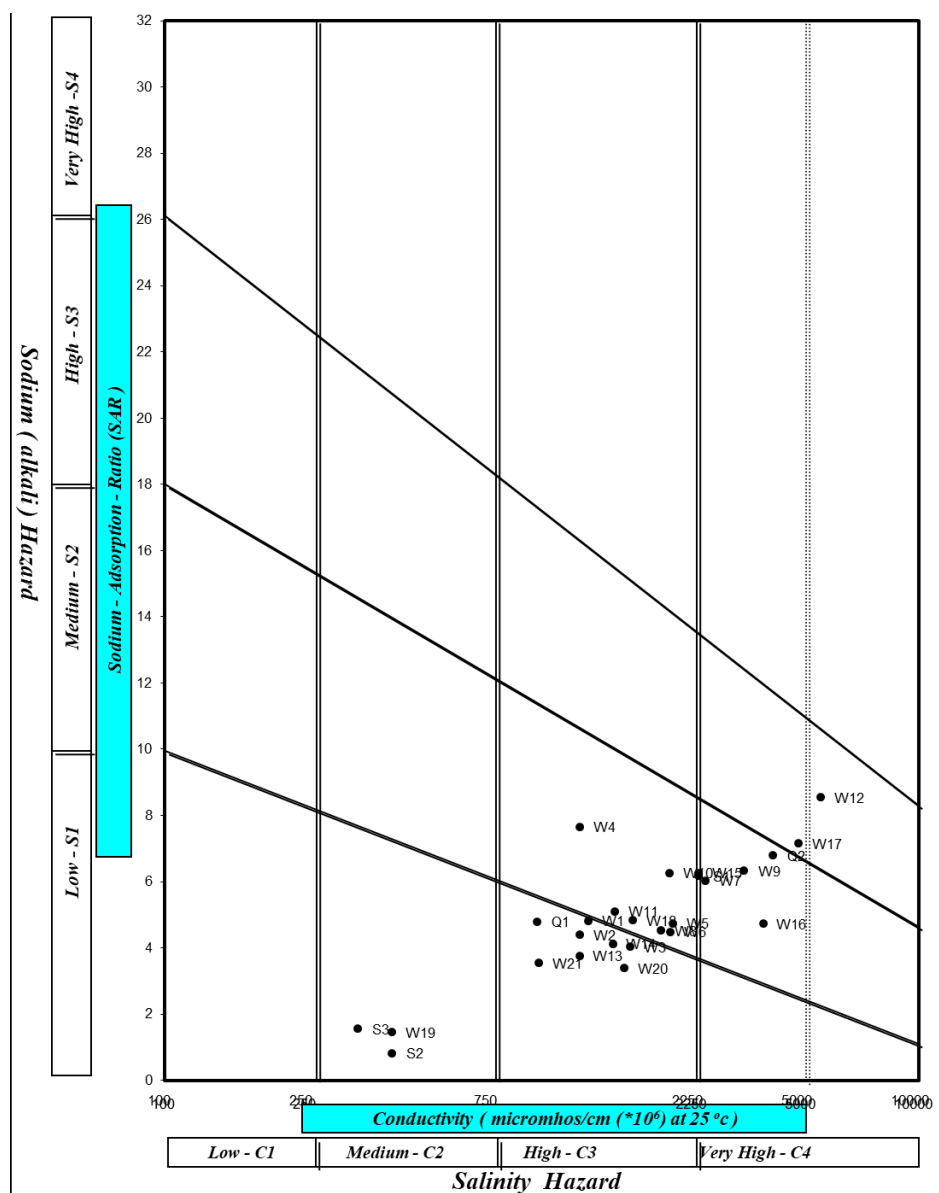
۲. غلظت یون‌های ویژه‌ای مثل بور که ممکن است برای گیاهان سمی بوده و یا این که اثر نامساعدی بر روی کیفیت محصول داشته باشند.

۳. غلظت کاتیون‌هایی مثل سدیم که با پراکندگی رس در خاک، ساختمان خاک را تخریب و از مقدار نفوذ آب می‌کاهند.

شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با یکی از معیارهای نسبت جذبی سدیم (SAR) یا درصد سدیم محلول (SSP) یا درصد سدیم قابل تبادل (ESP) سنجیده می‌شود که با داشتن غلظت عناصر در آب مقادیر آن‌ها قابل محاسبه می‌باشد. در مصارف کشاورزی آب با SAR کم توصیه می‌شود، زیرا با ازای مقدار معینی از کاتیون سدیم، افزایش کاتیون‌های کلسیم و منیزیم آب منجر به قابلیت جذب سدیم توسط خاک شده و در نتیجه زیان آن برای گیاه کمتر می‌شود. اما سدیم به تنهایی نمی‌تواند معیار کیفی آب به لحاظ کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و بهتر آن است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. لذا روش طبقه‌بندی ویلکاکس (Wilcox) و استفاده از نمودار آن کاربردی-ترین روش برای طبقه بندی آب از نظر کشاورزی است. در نمودار ویلکاکس (شکل ۴-۶۰) محور افقی به شوری آب (بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر) و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. بر اساس طبقه بندی ویلکاکس آب‌های خیلی خوب همگی دارای کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و در گروه C₁S₁ قرار می‌گیرند، آب‌های خوب در گروه C₁S₂، C₂S₁، C₂S₂، آب‌های متوسط در کلاس C₃S₃، C₁S₃، C₂S₃، C₃S₂ و C₃S₁ قرار گرفته و بقیه آب‌ها نامناسب هستند (علیزاده ۱۳۸۲).

همانگونه که در شکل (۴-۶۰) نمایان است اکثر نمونه‌های دشت جاجرمد در کلاس C₃S₁ و C₃S₂ قرار گرفته‌اند و نمونه‌های S₂، S₃، W₁₉ در کلاس C₂S₁ و نمونه‌های W₇، W₁₅، W₁₀، W₉ و W₁₆ در کلاس C₄S₂ و نمونه‌های Q₂، W₁₇ و W₁₂ در کلاس C₄S₃ و نمونه R که مربوط به کانال نمک می‌باشد به میزان شوری و مقدار SAR آن زیاد است که در هیچ یک از دسته بندی‌های این نمودار جای نگرفته است و با توجه به نتایج حاصله از آنالیزهای هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی و تایید

نظریه نفوذ آب شور کانال سطحی نمک ، باید مدیریتی مناسب در جهت رفع این خطر که اختلاط حاصل بین آب آبخوان و آب شور، کیفیت آب سفره زیرزمینی را به حدی کاهش دهد که قابلیت استفاده برای کشاورزی و صنعت نیز از دست رس آن خارج گردد، انجام گیرد.



شکل ۴-۵۶: دیاگرام ویلکاکس مربوط به منابع آب دشت جاجرم ۱۳۹۵

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہاوا

نتایجی که با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی منطقه بدست آمده به طور خلاصه در این فصل آورده می‌شود و در انتهای فصل نیز پیشنهادهایی برای ادامه مطالعات در دشت جاجرم ارائه شده است.

۵-۱- بررسی هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی دشت جاجرم

در ارتباط با خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان از داده‌های سطح آب و آزمایش پمپاژ استفاده شده است که نتایج حاصل به ترتیب در ذیل شرح داده شده است:

الف) نتایج بدست آمده از نقشه هم‌پتانسیل

با توجه به نقشه هم‌پتانسیل، آبخوان دشت جاجرم توسط دو جبهه مهم از ارتفاعات موجود در بخش‌های شمالی و به مقدار کمتر از سمت غربی دشت تغذیه می‌شود، که تقریباً شیب توپوگرافی دشت و جهت جریان‌های سطحی با جریان‌های زیرزمینی هم‌شو می‌باشد. مقایسه نقشه‌های هم‌پتانسیل در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد تراز آب زیرزمینی طی دوره ۱۴ ساله، در قسمت مرکزی آبخوان در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۸۰ پایین افتاده است. گرادیان هیدرولیکی سطح آب‌های زیرزمینی در بخش‌های مرکزی دشت در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۸۰ به مقدار زیادی افزایش یافته است که حاکی از افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در دشت جاجرم می‌باشد. این مسئله سبب بهم خوردن روند طبیعی جریان آب در آبخوان شده و در نتیجه باعث هجوم آب‌شور از بخش جنوبی، جنوب شرقی و مناطق بیابانی به سمت قسمت‌های میانی دشت شده است.

ب) ارزیابی دشت بر اساس تغییرات افت طولانی مدت

دشت جاجرم بر اساس میزان افت ۱۸ ساله، به سه زون A، B و C تقسیم شده است. به طوری که زون A کمترین و زون C بیشترین میزان افت را دارد. در قسمت شمالی دشت که جبهه ورودی آب زیرزمینی

به دشت است را می‌توان یکی از دلایل کم افت در این ناحیه ذکر کرد (زون A). مقدار متوسط افت در این قسمت ۲/۷ متر می‌باشد. در این زون‌بندی چاه‌های بهره‌برداری به نسبت کم بوده و بهره‌برداری از این چاه‌ها به دلیل قرارگیری در قسمت جنوبی دشت و نامناسب بودن کیفیت آب در آن ناحیه به نسبت سایر قسمت‌های دشت کم است. زون C، با مقدار متوسط افت ۱۱/۸ متر در قسمت مرکز دشت متمایل به حاشیه غربی است که این ناحیه در حوالی شهر جاجرم واقع شده است. دلایل اصلی افت در این ناحیه را تمرکز بالاتر چاه‌ها به نسبت زون A بهره‌برداری و پمپاژ بیشتر، در ادامه تغذیه کمتر در مقایسه با زون قبلی را نام برد. زون B نیز متوسط افت را داشته و در حدود ۴ متر بوده است که بیشتر در بخش‌های مرکزی دشت قرار گرفته است، تمرکز چاه‌ها در این زون نسبت به زون A بیشتر می‌باشد.

ج) هیدروگراف واحد (معرف) دشت

با توجه به هیدروگراف واحد دشت، طی این دوره ۱۷ ساله سطح آب زیرزمینی ۷ متر افت را نشان می‌دهد. با توجه با افزایش بارندگی از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۸۶ سطح آب زیرزمینی روندی نزولی پیدا کرده است. این دلیلی بر افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی و عدم تأثیر زیاد بارندگی بر سطح آب زیرزمینی این دشت، می‌باشد. بطور کلی بیشترین افت در بخش مرکزی دشت و در اطراف شهر جاجرم می‌باشد. اما در بخش شرقی، جنوبی و غربی دشت به دلیل عدم وجود شرایط محیطی برای کشاورزی و عدم برداشت زیادتر، میزان افت کم است.

د) بررسی وضعیت بیلان منطقه

متوسط تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه حدود ۰/۳۸ متر و مجموع افت سطح ایستابی در این دوره آماری ۶/۶۲ متر می‌باشد. با توجه به آمار بدست آمده از دشت جاجرم هر ساله به طور متوسط ۳۸ سانتی‌متر افت در دشت رخ می‌دهد که این میزان افت رقم بسیار بالایی بوده و گویای این مطلب است که بیلان دشت منفی و حجم ذخیره آبخوان در حال کاهش است.

۵-۲- بررسی هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی بیانگر موارد زیر می‌باشد:

الف) نتایج حاصل از بررسی هدایت الکتریکی

با توجه به نقشه هم EC، جبهه‌های ورودی دشت در شمال دارای کمترین مقادیر EC بوده و در حال حاضر ۱۹۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. در جبهه ورودی غربی ۱۱۸۶۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد که هرچه به سمت مرکز دشت رفته میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد. هدایت الکتریکی در دو جبهه دارای مقادیر بالای می‌باشد جبهه اول ورودی غربی در ناحیه قنات شور گرمه و جبهه دوم در قسمت جنوبی آبخوان در مجاورت کال نمک که هدایت الکتریکی در آن قسمت از آبخوان حدود ۷۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. هدایت الکتریکی در جهت جریان در جبهه شمال به سمت مرکز دشت افزایش می‌یابد که روند طبیعی آب‌های زیرزمینی می‌باشد، اما در دو جبهه جنوبی و غربی به با حرکت به سمت مرکز دشت میزان هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد که نشان دهنده نفوذ آب شور می‌باشد. دلیل افزایش نفوذ آب شور به آبخوان در طی سال‌های اخیر را می‌توان ازدیاد برداشت از سفره آب زیرزمینی دانست به طوری که افزایش برداشت و ایجاد گرادیان زیاد به سمت مرکز دشت باعث حرکت و نفوذ آب شور به سمت مرکز دشت شده است.

ب) ارزیابی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

به منظور بررسی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌ها اصلی موجود در آب زیرزمینی دشت جاجر، نقشه پراکندگی یون‌های کلر، سولفات، کلسیم و سدیم رسم شده است. میزان غلظت یون‌ها در بخش جنوبی بیشتر از بخش غربی است و بعد از آن در قسمت مرکزی بیشترین غلظت وجود دارد. کلر و سدیم و بعد از آن سولفات در بخش جنوبی و غربی یون غالب بوده است؛ در قسمت مرکزی نیز رفتار مشابه است و

به سمت شمال از از غلظت یون‌ها کاسته می‌شود. منشأ غالب یون سولفات در دشت جاجرم می‌تواند به دلیل انحلال تبخیری‌ها باشد. علاوه بر این، نمودارهای ترکیبی نظیر نمودار غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات در برابر هدایت الکتریکی رسم شد. با توجه به نمودارهای ترسیم شده همه یون‌ها به غیر از بی‌کربنات رابطه مستقیمی با هدایت الکتریکی دارند در این میان یون کلسیم و منیزیم بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی دارند که این خود نوعی تخریب در کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. با توجه نمودار نسبت کلسیم به سدیم که نزدیک به واحد می‌باشد. بنابراین منشأ کلسیم و منیزیم اصلی شوری در آب زیرزمینی دشت جاجرم، انحلال نمک موجود در سازندهای تخریبی و مارنی و شوره‌زار بخش‌های غربی می‌باشد. همچنین با توجه به نمودار نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 منشأ اصلی یون‌های کلسیم و منیزیم، انحلال کربنات‌ها و ژپس می‌باشد. با توجه به دیاگرام پایپر فرآیندهای نفوذ آب‌شور، اختلاط، تبادل کاتیونی و انحلال را به ترتیب می‌توان عوامل اصلی کاهش کیفیت آب زیرزمینی دشت جاجرم دانست.

ج) بررسی تیپ آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نمودار استیف رسم شده آب‌های زیرزمینی منطقه به سه گروه تقسیم بندی شده است. گروه ۱ شامل چاه و چشمه شیرین منطقه است، تیپ غالب از نوع $Mg-HCO_3$ تا $Ca-HCO_3$ می‌باشد که با توجه به وجود این منابع در منطقه تغذیه آهکی - دولومیتی قابل توجیه است. گروه ۲ دارای تیپ‌های $Na-Cl$ و $Na-SO_4$ بوده و تیپ غالب گروه ۳ نیز $Na-Cl$ است که با توجه به منشأ تبخیری و همچنین نفوذ آب‌شور به سمت آن‌ها، قابل توجیه هستند. با توجه به نمودار پایپر، نمونه آب چشمه S_3 به عنوان نماینده شیرین‌ترین منبع آب منطقه، در زون بی‌کربناته در دیاگرام پلات شده است و نمونه آب‌شور کال نمک نیز در سمت مقابل در زون کلروره دیاگرام قرار گرفته است. بقسه نمونه‌ها در بین این دو نمونه آب پلات شده‌اند. بنابراین با توجه به دیاگرام پایپر می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت جاجرم در اثر اختلاط بین نمونه شور با آب شیرین بی‌کربناته تشکیل شده‌اند. نمودار شولر آب‌های زیرزمینی منطقه به سه گروه تقسیم‌بندی شده است. با توجه نمودار ترسیم

شده در گروه ۳ عمدتاً دارای روند مشابه می‌باشند. کمی تفاوت در غلظت آن‌ها می‌تواند به دلیل اختلاط کمی با منشأ دیگر همچون آب‌شور به دلیل موقعیت متمایل به مرکز آن‌ها، باشد.

(د) بررسی نتایج نمایه اشباع محاسبه شده برای کانی‌های انیدریت، کلسیت، دولومیت، ژیپس

و هالیت

با توجه به جدول نمایه‌های اشباع، اکثر نمونه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت اشباع تا فوق اشباع و تمامی منابع بجز نمونه کال نمک نسبت به ژیپس تحت اشباع می‌باشند. تمامی نمونه‌ها نسبت به هالیت و انیدریت تحت اشباع می‌باشند، کمترین مقدار SI_c ، SI_d مربوط به چاه‌های گروه ۱ (شیرین) و گروه ۲ (نیمه شور) می‌باشد. که در قسمت شمالی دشت قرار گرفته‌اند.

(ه) آنالیز داده‌ها بر اساس روش تجزیه فاکتوری

در اولین مرحله در این روش استاندارد کردن مشخصه هاست که برای تمام آن‌ها صورت پذیرفت، این کار به منظور غلبه کردن بر مشکل متفاوت بودن واحدهای متغیرهاست. مرحله‌ی بعدی، به دست آوردن عوامل از مشخصه‌های هستند بدین منظور ابتدا مقادیر ویژه، واریانس، درصد واریانس و تجمعی برای بررسی دقیق‌تر متغیرها و انتخاب عوامل مؤثر بر سیستم محاسبه می‌شوند. در این مطالعه دو عامل اول ۸۷ درصد از تغییرات کل را شامل می‌شود. همان گونه که قبلاً ذکر شد از میان عوامل حاصله اولین فاکتور شامل مشخصه‌های است که می‌توان متأثر از اختلاط، انحلال نمک و تأثیر سازندهای زمین شناسی را در آن دخیل دانست.

(و) بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در منطقه

به منظور تعیین کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه جهت مصرف کشاورزی از نمودار ویلکاکس استفاده گردید. با توجه به نمودار، در قسمت‌های شمالی دشت آب از نظر کشاورزی، خوب محسوب می‌شود و در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوبی دشت آب نامناسب از نظر کشاورزی را مشاهده می‌شود.

ی) بررسی اختلاط آب شور و شیرین در آبخوان

همانگونه که قبلاً اشاره شد تراکم چاه‌های بهره‌برداری در دشت جاجرم زیاد می‌باشد. برداشت بی‌رویه در این آبخوان باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است به گونه‌ای که در در آبخوان باعث تغییر جهت جریان در بخش جنوبی به سمت ناحیه مرکزی شده است. با توجه به وجود کفه‌هایی نمکی در ناحیه جنوب شرقی و جنوبی غربی دشت و وجود رودخانه دائمی کال نمک، این برداشت بی‌رویه باعث تشدید پتانسیل نفوذ آب شور به آبخوان این منطقه می‌شود. با توجه به بررسی‌های و محاسبات انجام شده نفوذ آب شور از بخش جنوبی دشت باعث تغییر کیفیت منابع آب موجود شده است. در نقشه‌های هدایت الکتریکی، هم‌کلر، هم‌سولفات جبهه‌های نفوذ آب شور به خوبی مشخص می‌باشد. با توجه به تأثیر مخرب نفوذ آب شور بر آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه مدیریت مناسبی در جهت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت باید صورت پذیرد.

۵-۳- پیشنهادها

- ۱- با توجه به اینکه بخش قابل توجه‌ای از آب مورد استفاده دشت جاجرم از آب زیرزمینی تأمین می‌شود، بدین وسیله بررسی و مطالعات تأمین آب در بلندمدت با توجه به افزایش روز افزون جمعیت منطقه و نیاز هرچه بیشتر به این مایع حیات اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد.
- ۲- شبکه پیزومتری و تعداد چاه‌های نمونه‌برداری با پراکندگی گسترده‌تر و مناسب‌تر در سطح دشت گسترش یابد.
- ۳- انجام تعداد بیشتری آزمایش پمپاژ در دشت، به منظور تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی در نقاط مختلف دشت.
- ۴- با توجه به کاهش شدید سطح آب در دشت، مدیریت مناسب در جهت برداشت از آب زیرزمینی حائز اهمیت است.

منابع

۱. ابراهیم پور م. هاشمی ا. ا. عارف ف. (۱۳۹۰). "تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت شهرکرد"، اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز.
۲. احمدی س. تلخاو م. (۱۳۹۲)، "ارزیابی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی و کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه گدارچای نقده با نگرشی بر لیتولوژی منطقه"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
۳. اصغری مقدم ا. محمودی ن. (۱۳۸۷)، "تأثیر پساب‌های شهرک صنعتی مراغه بر آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت مراغه"، مجله محیط شناسی، سال سی و چهار، شماره ۴۰، صفحه ۲۲-۱۵.
۴. اسلامیان س. نصری م. 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.
۵. آقابیاتی ع. (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
۶. الفتی س. محمودآبادی م. صفرپور ف. 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.
۷. امیرحسینی م. 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.
۸. امیری م. (۱۳۸۴)، "ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین- کبودرآهنگ نه‌اوند با سنگ کف منطقه"، نشریه علوم زمین، دوره شماره ۵۸، صفحه ۱۳۴-۱۴۷.
۹. باغوند ا. نصیرزاده ر. عبدلی م ع. وثوق ع. (۱۳۹۴)، "بررسی آلودگی منابع آب زیرزمینی اطراف مراکز دفت زباله (مطالعه موردی: مرکز دفن تاکستان)، محیط شناسی، دوره ۴۱، شماره ۴، صفحه ۹۲۱-۹۰۹.
۱۰. بهزاد ا. حمزه ف. (۱۳۸۸). "بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت آب آبخوان دهدشت غربی". نشریه جغرافیا، دوره ۳، شماره ۱۱، ص ۹۳-۱۱۲.
۱۱. تندیس ز. حافظی مقدس ن. کرمی غ ح. (۱۳۹۱)، "ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان: مطالعه موردی شهر مشهد"، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، دانشگاه شیراز.
۱۲. چیت‌سازان م. میرزایی ی. محمودی بهزاد ح ر. شبان م. غفاری ح م. موسوی ف. (۱۳۸۸)، "تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت خویس در شمال خوزستان)"، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مقابله با آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد مبارزه با حوادث غیرمترقبه استانداری اصفهان، اصفهان.

۱۳. خوشنوا ک. امیرپوردیلمی ا. جباری م. 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.
۱۴. درویش‌پور ا. کرمی غ ح. فاضلی ع، (۱۳۹۰)، "بررسی هیدروژئولوژیکی دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری" پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، دانشگاه تربیت معلم.
۱۵. دولتی ج. لشکری‌پور غ ر. غفموری م. (۱۳۹۲)، "بررسی اثرات توسعه شهر بر آبخوان زاهدان"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۶. دولتی ج. (۱۳۸۹)، "بررسی اثرات زیست محیطی توسعه شهر مشهد بر آبخوان و منابع آب"، پنجمین کنگره ملی عمران ایران، مشهد.
۱۷. رحمانی ح ر. (۱۳۸۸)، "بررسی مهمترین منابع آلاینده خاک، آب و گیاه در استان یزد"، محیط‌شناسی، دوره ۳۵، شماره ۵۱، صفحه ۳۶-۲۷.
۱۸. رضایی م. سرگزی ا. (۱۳۸۸)، "بررسی اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه"، مجله علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۶، صفحه ۹۹-۱۰۶.
۱۹. زابلی‌زاده پ. مظلومی ع ر. حافظی‌مقدس ن، قزی ا. (۱۳۹۳)، "اثرات توسعه شهری بر آلودگی نیترات در آبخوان دشت یاسوج"، اولین کنفرانس ملی آلودگی‌های محیط زیست با محوریت زمین پاک، اردبیل، انجمن مردم نهاد زمین پاک.
۲۰. سبوقی، ع ر، (۱۳۷۵)، "هیدروژئولوژی گنبد نمکی سروستان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
۲۱. سجادی ز. کلانتری ن. کشاورزی م ر. بوسلیک ز. احمدی‌نژاد ز. (۱۳۸۹)، "بررسی نفوذ آب شور خلیج فارس در آبخوان ساحلی عسلویه"، چهاردهمین انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.
۲۲. سلیمانی ک. رمضانی ن. احمد م ض. بیات ف. (۱۳۸۴)، "بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در حوضه آبخیز مازندران" پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر ۳، صفحات ۲۸-۱۳.
۲۳. سیادت‌ب. (۱۳۸۵)، "بررسی وضعیت هیدروشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت اراک"، دانشگاه فردوسی. مخسنتین همایش منطقه‌ای آب، دانشگاه آزاد واحد بهبهان.
۲۴. شمسی‌پور ع ا. حبیبی ک. (۱۳۸۵)، "ارزیابی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی"، دانشگاه تهران.
۲۵. شمعانیان غ. رحیمی م. بخشی ا. احمدی م. یارمحمدی م. دهقان ح. (۱۳۸۴)، "هیدروژئولوژی منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز گرگانود- قره سو، استان گلستان"، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
۲۶. عباس‌نژاد ا. شاهی‌دشت ع. (۱۳۹۲)، "بررسی آسیب پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه"، مجله جغرافیا و آمایش شهری، شماره ۷، صفحه ۹۶-۸۵.

۲۷. عبادتی ن. سپهوندی س. (۱۳۹۴). "نقش ساختارهای زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌های منطقه اشتهارد". اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۱، ص ۱۱۷-۱۲۸.
۲۸. کردوانی پ. (۱۳۷۴)، "ژئوهیدرولوژی"، انتشارات دانشگاه تهران.
۲۹. کلانتری ن. علیجانی ف. (۱۳۸۷). "بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عباس استان خوزستان"، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۹، صفحه ۹۹-۱۰۸.
۳۰. ملکی‌نژاد ح. پورشرعیاتی ر. (۱۳۹۰)، "بررسی روند خشکسالی در دشت مروست با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI)"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران- دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۳۱. منیری ج. (۱۳۸۳)، "مطالعه و پژوهش‌های آب و هوایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه جهت تحلیل دوره‌های خشکسالی، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.
۳۲. میراب‌باشی م. دانائیان م. (۱۳۸۴)، "عوامل و مخاطرات نشست زمین در دشت یزد-اردکان"، خلاصه مقالات کنفرانس بین‌المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن‌ها، دانشگاه تبریز.
۳۳. نجف‌زاده ه. زهتابیان غ، خسروی ح، گلکاریان ع. (۱۳۹۴)، "تأثیر عوامل اقلیمی و زمین‌شناسی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهاباد"، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۳، صفحه ۳۳۶-۳۲۵.
۳۴. ولی‌پور م. کریمیان‌اقبال م. ملکوتی م ج. خوش‌گفتارمنش ا ح. (۱۳۸۶). "روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۶.

Reference

1. Appelo, C.A.J., Postma, D., 2005. **Geochemistry groundwater and pollution**. AA Balkma Rotterdam.
2. Hounslow A. (1995).” **Water quality data: analysis and interpretation**” CRC Press, LIC, 416 pages.
3. Jahanshahi.R & Zare.M, (2016).“**Hydrochemical investigation for delineating salt-water intrusion in to the coastal aquifer of Maharlou Lake, Iran**” Journal of African Earth Sciences.
4. Hoque.M.A., Hoque.M.M & AhmedK.M, (2007).”**Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka Metropolitan area, Bangladesh: Causes and quantification**” Hydrogeology Journal, Volume15, Issue 10, Pp 1023-1045.
5. Khan.S., Gabriel.H.F & 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.

6. Malki.M., Bouchaou.L., Hirich.A., Brahim.Y.A & 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.
7. Pan Yan, Huili.G., Ying.S, Xinjuan.W & 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.
8. rahimi.M., Kazemi.H., Ehteshami.M & Rockaway.T.D,(2016).” **Assessment of groundwater quantity and quality and saltwater intrusion in the Damghan basin, Iran**” Chemi der Erde 76: 227-241.
9. Rutulis.M, 1989, **Groundwater drought sensitivity of southern Manitoba**, Canadian, Water Resources Journal 14: 18-33.
10. Yildana.S.M & Yildana.M., (2010).” **An assessment of the origin and variation of groundwater salinity in southeastern Ghana**” Environ Earth Sic 61: 1259-1273.

پیوست (داده‌های آزمون پمپاژ دشت جاجریم)

نتایج اندازه گیری آزمایش پمپاژ افت چاه اکتشافی شماره سه جاجریم					
ملاحظات	پیزومتر		چاه		
	زمان	افت سطح آب	زمان	آبکشی	افت سطح آب
	دقیقه	متر	دقیقه	لیتر در ثانیه	متر
آزمایش پله اول	۱	۰.۲۲	۲		۴.۲
دور موتور ۷۰۰ در دقیقه	۲	۰.۲۴	۳		۵.۹
تاریخ آزمایش ۱۳۸۷/۱۱/۸	۳	۰.۵۹	۴		۷.۴
	۵	۰.۷۶	۶		۸.۷۵
سطح آب قبل از پمپاژ در چاه: ۳۱/۰۵ متر	۶	۰.۸۵	۸		۸.۸۵
سطح آب قبل از پمپاژ در پیزومتر: ۳۱/۱۰ متر	۸	۰.۹۳	۹	۱۴	۹.۲۵
	۱۰	۰.۹۸	۱۱		۹.۷۹
فاصله پیزومتر از چاه: ۱۴ متر	۱۵	۱.۱	۱۳		۱۰.۱۲
	۲۰	۱.۱۶	۱۶		۱۰.۳۵
	۲۵	۱.۲۲	۱۹	۱۲	۱۰.۵۵
	۳۰	۱.۲۷	۲۲		۱۰.۷
	۴۰	۱.۳۲	۲۵		۱۰.۷۵
	۵۰	۱.۳۹	۳۰	۱۰.۱۶	۱۰.۷۸
	۷۰	۱.۴۴	۳۵		۱۰.۸۲
	۹۰	۱.۵۴	۴۵		۱۰.۹
	۱۲۰	۱.۶۵	۷۰		۱۰.۹۷
	۱۸۰	۱.۶۹	۱۰۰		۱۰.۹۷
	۲۴۰	۱.۷۱	۱۲۰		۱۰.۹۷
	۳۰۰	۱.۸	۱۸۰		۱۰.۹۸
	۳۶۰	۱.۸۵	۲۴۰	۱۰.۱۶	۱۱.۰۲
	۴۲۰	۱.۸۷	۳۰۰		۱۰.۹۹
	۵۳۰	۱.۸۸	۳۶۰	۹.۴۸	۱۰.۷۷
	۶۰۰	۱.۸۹	۴۲۰	۹.۴۸	۱۰.۷۹
	۶۶۰	۱.۸۹	۵۴۰		۱۰.۸۵
	۷۲۰	۱.۸۹	۶۰۰	۹.۴۸	۱۰.۸۶
	۷۸۰	۱.۸۹	۶۶۰		۱۰.۸۷
	۸۴۰	۱.۸۹	۷۲۰		۱۰.۸۸
سطح آب دینامیک در چاه ۴۱.۹۴ متر	۹۰۰	۱.۸۹	۷۸۰	۹.۴۸	۱۰.۸۷
سطح آب دینامیک در پیزومتر ۳۲.۹۹ متر		۱.۸۹	۸۴۰		
		۱.۸۹	۹۰۰		

Abstract:

Jajarm plain with an area of about 400 km² in the geographical range of E 56° 10' to 56° 36' and, N 37° 3' to 36° 36', is located in north-east of Semnan province. The groundwater extraction in this area is of vital importance. The groundwaters in this area are extracted by 109 water wells for potable and agricultural purposes. The wells are mostly located in the vicinity of the city, while southern and south-eastern parts remain relatively un-exploited. The saline water and salt plain exist in southern and south west of the plain. The main purpose of this research is to study the hydrogeological and hydrochemical characteristics of this aquifer. In order to study the hydrogeological characteristics, the data of water level variation in 16 piezometer wells of the plain is used. The general groundwater direction is from northeast and west towards the center of the plain, which indicates that the aquifer is fed from the carbonate and conglomerate highlands in the north and west of the area. To evaluate the groundwater level variation, the unit hydrograph of the plain was drawn from 1376 to 1394. During this 17 years period, a 7 meter reduction in water level was observed. The maximum reduction occurred in central part of the plane, whereas southern and northern parts of the area showed the minimum reduction. Based on the hydrochemistry analysis of 27 water samples from operating wells, a spring and Kal-Sour river, the groundwater quality is affected by the aquifer water withdrawal, surrounding formations and intrusion of saline water, especially in southern parts of the plain. The electrical conductivity values increase in the direction of the flow from the recharge region to the center of the area, but this trend is reversed in the southern part of the plain. The value of this parameter decreases from south toward the center of the plain, indicating intrusion of saline water in this part of the Jajarm plain.

Keywords: Jajarm plain, Hydrochemical, Hydrogeology



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences
M. Sc. Thesis of Hydrogeology

**Hydrogeological and Hydrochemical Evaluation of Jajarm Plain,
North Khorasan Province**

By:

Mostafa Rezapoor Monfared

Supervisor:

Rahim Bagheri

January 2018