

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین
گروه آب‌شناسی و زیست محیطی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد زیست محیطی

ارزیابی تخریب کیفیت آب زیرزمینی در دشت اردستان، شمال شرق اصفهان

احترام غلامی نهوجی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

دی ماه ۱۳۹۴

تقدیم بہ

روح پاک پدرم کہ عالمانہ بہ من آموخت تا چگونه در عرصہ زندگی، ایستادگی را تجربہ نمایم

بہ مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق کہ وجودم برایش ہمہ رنج بود و وجودش برایم ہمہ مہر

و بہ ہمسرم، اسطورہ زندگیم، پناہ خستگیم و امید بودم...

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش مرخداي راجل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، در فشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید. اکنون که با عنایت الهی، کار محارث و تدوین این تحقیق به اتمام رسیده است بر خود لازم میدانم تا در ابتدا از خانواده ام که در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند، سپاسگذاری نمایم و از زحمات استاد با کالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر کریمی که در کمال سع صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ لگی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهبانی این پژوهش را بر عهده گرفتند؛ نهایت تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از زحمات تمامی اساتید محترم گروه زمین شناسی به ویژه جناب آقایان دکتر جعفری، دکتر قشلاقی، دکتر باقری، دکتر طاهری، دکتر امیدی، و سرکار خانم دکتر فرقی که در طول دوره کارشناسی ارشد به ویژه مدت انجام پایان نامه از راهبانی ها و بهکاری های بی دریغشان بهره برده ام، کمال سپاسگذاری را دارم.

همچنین از جناب آقایان مهندس خورشیدی و دکتر سیاری، کارشناسان منابع آب استان اصفهان که در امر انجام این پایان نامه نهایت بهکاری صمیمانه را با اینجانب نمودند، کمال تشکر را دارم.

در پایان از تک تک بهکلاسی های عزیزم، دوستان گرامی و تمام کسانی که در مراحل انجام این پژوهش و نیز در طی مدت تحصیل با ایشان، نهایت کمک، مهربانی، و همیاری را در حق اینجانب نمودند، کمال تشکر و سپاسگذاری را می نمایم. باشد که این خردترین، بنحشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

احترام غلامی

تعهد نامه

اینجانب احترام غلامی نهوجی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت اردستان، شمال شرق اصفهان تحت راهنمایی آقای دکتر غلامحسین کرمی متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

آبخوان اردستان با وسعتی در حدود ۱۳۶۹ کیلومتر مربع در یک دشت آبرفتی با مساحت ۴۳۷۵ کیلومتر مربع قرار گرفته است. این دشت در بخش‌های شمالی شهرستان اردستان و در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان قرار دارد. بررسی‌های هیدروژئولوژیکی در این آبخوان با استفاده از اطلاعات مربوط ۲۷ پیرومتر در فاصله زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ انجام شده است. بر اساس نقشه هم‌پتانسیل تهیه شده در سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ ملاحظه می‌شود که جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب و جنوب غربی آبخوان به سمت شمال و شمال شرقی آن می‌باشد. همچنین بر اساس هیدروگراف واحد دشت ملاحظه می‌شود که سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در این دوره ۳۱ ساله حدود ۲۰ متر افت داشته است. به عبارت دیگر مقدار کلی کاهش ذخیره آبخوان در یک دوره ۳۱ ساله در حدود ۱۳۸۴ میلیون مترمکعب می‌باشد. مقدار افت در قسمت‌های مختلف دشت یکسان نبوده و دارای تفاوت‌های زیادی می‌باشد. در بخش‌های مرکزی آبخوان جایی که بیشترین تعداد چاه‌های بهره‌برداری واقع شده‌اند، بالاترین مقدار افت مشاهده گردید. بر همین اساس دشت اردستان به لحاظ افت سطح ایستابی به سه بخش افت کم، افت متوسط و افت زیاد تقسیم‌بندی گردید. جهت بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان مورد نظر نیز، در بهمن‌ماه ۱۳۹۳ از چاه‌های موجود در دشت اردستان ۱۴ نمونه برداشت شد. نقشه‌های هدایت الکتریکی بیانگر افزایش مقدار این پارامتر در جهت جریان (از جنوب-جنوب غربی به سمت شمال-شمال شرقی) از ۳۰۰۰ به ۶۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش می‌یابد. مقایسه نقشه هدایت الکتریکی مربوط به سال ۱۳۹۳ با نقشه هدایت الکتریکی سال ۱۳۷۴ بیانگر افزایش هدایت الکتریکی در طول زمان و نفوذ شورابه‌های کویر دق‌سرخ به قسمت‌های شمالی و مرکزی آبخوان اردستان است. برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان و خشکسالی‌های پی در پی از دلایل اصلی افزایش هدایت الکتریکی و نفوذ آب شور می‌باشد. بررسی نمودارهای کیفی آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه نشان می‌دهد که تیپ آب‌های زیرزمینی کلروره و رخساره آن‌ها سدیک بوده، همچنین فرایند شیمیایی غالب در آبخوان انحلال‌هالیت می‌باشد.

کلمات کلیدی: آبخوان اردستان، آب‌های زیرزمینی، هیدروژئوشیمیایی، هیدروژئولوژی

مقالات مستخرج از این پایان نامه

- ۱- بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان اردستان، شمال شرق اصفهان، همایش آب زیرزمینی، نخستین کنگره آبیاری و زهکشی ایران، ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت، ۱۳۹۴، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- بررسی میزان افت آبخوان دشت اردستان، استان اصفهان، اولین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، ۲۵ اسفند، ۱۳۹۳، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- بیان مسئله	۱
۲-۱- هدف از انجام تحقیق	۲
۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه	۳
۵-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه	۶
۶-۱- ژئومورفولوژی منطقه	۷
۷-۱- زمین‌شناسی منطقه	۸
۱-۷-۱- چینه‌شناسی منطقه	۹
۲-۷-۱- نهشته‌های شورکننده آب زیرزمینی	۱۴
۸-۱- زمین‌شناسی ساختمانی	۱۵
فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده در خصوص ارزیابی تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی	۱۷
۱-۲- عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی	۱۷
۱-۱-۲- اثرات سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت منابع آب	۱۹
۲-۱-۲- نفوذ آب شور به آبخوان‌های شیرین	۲۳
۳-۱-۲- تبخیر و تعرق از سطح آبخوان‌ها	۲۵
۴-۱-۲- تبادل آب رودخانه و آبخوان آبرفتی	۲۷
۲-۲- عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی	۲۸
۱-۲-۲- تخلیه و برداشت از آب‌های زیرزمینی	۲۸
۲-۲-۲- اقلیم	۳۰
۳-۲-۲- خشکسالی	۳۱
فصل سوم: روش انجام کار	۳۵
۱-۳- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آبخوان اردستان	۳۵

۳۶	۲-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه مورد مطالعه.....
۳۶	۳-۳- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان اردستان.....
۳۸	۴-۳- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه.....
۴۱	فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان اردستان
۴۱	۱-۴- معرفی دشت اردستان.....
۴۵	۲-۴- ارزیابی نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت اردستان.....
۵۲	۳-۴- ارزیابی روند افت دراز مدت در آبخوان اردستان.....
۵۴	۴-۴- بررسی وضعیت بیلان آبخوان اردستان در یک دوره ۳۰ ساله.....
۵۶	۵-۴- تقسیم‌بندی دشت بر اساس مقدار افت.....
۵۸	۶-۴- نقشه عمق سطح آب زیرزمینی در دشت اردستان.....
۶۳	۷-۴- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان اردستان.....
۶۵	۸-۴- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان اردستان.....
۶۷	۱-۸-۴- ارزیابی مقادیر هدایت الکتریکی در دشت اردستان.....
۷۳	۲-۸-۴- ارزیابی مقادیر pH در دشت اردستان.....
۷۵	۳-۸-۴- ارزیابی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی.....
۸۰	۴-۸-۴- بررسی روند تغییرات سختی آب.....
۸۰	۵-۸-۴- نمودارهای ترکیبی هیدروژئوشیمیایی در منطقه اردستان.....
۸۳	۶-۸-۴- بررسی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در دشت اردستان.....
۸۵	۷-۸-۴- ارزیابی تیپ آب در دشت اردستان.....
۸۶	۸-۸-۴- بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی.....
۸۷	۹-۸-۴- بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی از نظر کشاورزی.....
۸۹	۱۰-۸-۴- ارزیابی شاخصهای اشباع کانیهای مهم.....
۹۳	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۹۳	۱-۵- نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه و بررسی جهت جریان.....

۹۴	۲-۵- ارزیابی میزان سطح افت آبخوان.....
۹۴	۳-۵- نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های عمق سطح آب زیرزمینی در منطقه.....
۹۵	۴-۵- ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه.....
۹۵	۵-۵- ارزیابی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی.....
۹۶	۶-۵- بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی در منطقه.....
۹۶	۷-۵- بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در منطقه.....
۹۷	۸-۵- بررسی نتایج شاخص اشباع محاسبه شده برای کانی‌های مهم در منطقه.....
۹۷	۹-۵- پیشنهادها.....
۹۹	منابع مورد استفاده.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۳
- شکل ۱-۲- نمودار امپروترمیک منطقه بر پایه میانگین ۱۹ ساله دما و بارندگی..... ۵
- شکل ۱-۳- تصویر سه بعدی از منطقه مورد مطالعه..... ۸
- شکل ۱-۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۱۳
- شکل ۱-۳- موقعیت پیزومترهای انتخابی در دشت اردستان..... ۳۷
- شکل ۲-۳- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در آبخوان اردستان..... ۳۹
- شکل ۱-۴- موقعیت چاه‌های بهره‌برداری در محدوده مورد مطالعه..... ۴۴
- شکل ۲-۴- موقعیت قنات‌های موجود در محدوده مورد مطالعه..... ۴۴
- شکل ۳-۴- آبراهه‌های موجود در دشت اردستان..... ۴۵
- شکل ۴-۴- نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت..... ۴۹
- شکل ۵-۴- نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت اردستان در بهمن ماه ۱۳۹۳..... ۵۰
- شکل ۶-۴- هیدروگراف واحد بلند مدت دشت اردستان..... ۵۳
- شکل ۷-۴- نقشه تیسن‌بندی آبخوان اردستان..... ۵۴
- شکل ۸-۴- میزان افت سطح آب در پیزومترهای موجود در دشت، طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳..... ۵۸
- شکل ۹-۴- نقشه زون‌بندی شده آبخوان دشت اردستان..... ۵۹
- شکل ۱۰-۴- زون‌بندی و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری در دشت اردستان..... ۵۹
- شکل ۱۱-۴- هیدروگراف واحد میانگین مربوط به زون‌های A، B و C در دشت اردستان..... ۶۰
- شکل ۱۲-۴- نقشه عمق سطح آب‌های زیرزمینی دشت اردستان در سال ۱۳۶۵..... ۵۹
- شکل ۱۳-۴- نقشه عمق سطح آب‌های زیرزمینی دشت اردستان در سال ۱۳۹۳..... ۶۲
- شکل ۱۴-۴- موقعیت چاه‌های اکتشافی جعفرآباد موغار و دره‌باغ در دشت اردستان..... ۶۴
- شکل ۱۵-۴- نقشه هدایت الکتریکی دشت اردستان در سال ۱۳۷۴..... ۷۰
- شکل ۱۶-۴- نقشه هدایت الکتریکی دشت اردستان در سال ۱۳۹۳..... ۷۱

- شکل ۴-۱۷- نمودار رابطه یون‌های مختلف در مقابل هدایت الکتریکی در دشت اردستان..... ۷۲
- شکل ۴-۱۸- مقادیر pH نمونه‌های آب زیرزمینی در دشت اردستان..... ۷۴
- شکل ۴-۱۹- نقشه کلر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان..... ۷۶
- شکل ۲-۲۰- نقشه سدیم نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان..... ۷۷
- شکل ۴-۲۱- غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان..... ۷۸
- شکل ۴-۲۲- غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان..... ۷۹
- شکل ۴-۲۳- نمودار غلظت سدیم در برابر غلظت کلر..... ۸۱
- شکل ۴-۲۴- نمودار نسبت سدیم به کلر در برابر کل املح محلول در آب..... ۸۲
- شکل ۴-۲۵- نمودار مجموع غلظت کلسیم و منیزیم در برابر مجموع سولفات و کربنات..... ۸۳
- شکل ۴-۲۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان..... ۸۴
- شکل ۴-۲۷- نمودار استیف نمونه‌های آب دشت اردستان..... ۸۶
- شکل ۴-۲۸- نمودار شولر نمونه‌های آب دشت اردستان..... ۸۷
- شکل ۴-۲۹- نمودار ویلکاکس نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان اردستان..... ۸۹
- شکل ۴-۳۰- نمودار شاخص‌های اشباع هالیت، دولومیت، کلسیت و ژپس..... ۹۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- میانگین درجه حرارت و بارندگی منطقه مورد مطالعه ۴
- جدول ۱-۲- طبقه بندی اقلیمی دمارتن ۶
- جدول ۴-۱- موقعیت چاه‌های پیزومتری در دشت اردستان ۴۳
- جدول ۴-۲- ارتفاع سطح ایستابی دشت اردستان در بهمن ماه ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ ۴۶
- جدول ۴-۳- بررسی وضعیت بیلان آبخوان اردستان در یک دوره آماری ۳۰ ساله ۵۵
- جدول ۴-۴- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان ۶۴
- جدول ۴-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی چاه‌های انتخابی در دشت اردستان ۶۶
- جدول ۴-۶- مقادیر سایر پارامترهای محاسبه شده چاه‌های منطقه اردستان ۶۷
- جدول ۴-۷- طبقه بندی آب بر اساس سختی ۸۰
- جدول ۴-۸- مقادیر S.A.R محاسبه شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی درشت اردستان ۸۴
- جدول ۴-۹- مقادیر شاخص اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت ۹۰

فصل اول: مقدمه

در نگرش جدید جهانی آب کالایی اقتصادی-اجتماعی و به عنوان نخستین نیاز انسان محسوب می‌شود. هر چند آب یکی از منابع تجدید شونده به شمار می‌آید ولی از نظر کمی ماده‌ای محدود است. در بعضی از کشورها، از جمله کشور ما ایران، کمبود آب موانعی در توسعه ساختار اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی به وجود می‌آورد. تسلط اقلیم خشک و نیمه خشک بر کشور توأم با تغییرات آب و هوایی و تخریب محیط زیست همراه با بروز پدیده خشکسالی چشم‌انداز نامطلوبی را از لحاظ تأمین نیازهای فزاینده برای مصرف آب ترسیم می‌نماید. وقوع چنین شرایطی مدیریت منابع آبی کشور را با چالش‌های متعددی روبرو می‌کند. در بسیاری از نقاط جهان آب‌های موجود در آبخوان‌ها تنها منابع در دسترس استفاده‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد و پیشرفت ساکنین این‌گونه مناطق به بهره‌برداری از این آب‌ها وابسته است. و بررسی این‌گونه آبخوان‌ها و مدیریت جامع آن‌ها، برای توسعه و پیشرفت بسیار حائز اهمیت است.

۱-۱- بیان مسئله

آب‌های زیرزمینی بعد از یخچال‌ها، بزرگ‌ترین منابع آب شیرین کره زمین هستند (اصغری مقدم و همکاران ۱۳۹۲). در اکثر نقاط جهان آب زیرزمینی تأمین کننده اصلی آب شرب می‌باشد. امروزه در سراسر دنیا بخشی از آب مصارف خانگی و آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی بدست می‌آید. آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به ویژه در مناطقی که دارای منابع آب سطحی مناسبی نیستند مهم‌ترین منبع تأمین آب محسوب می‌شوند. سازندهای زمین‌شناسی با تأثیر بر کیفیت آب‌های محیط خود موجب آلودگی این آب‌ها شده و کیفیت آن‌ها را کاهش می‌دهند. برخی از سازندهای زمین‌شناسی به ویژه سازندهای تبخیری، باعث تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌شوند،

در مناطق حاشیه کویر به دلیل وجود نمک‌های کلروره و سولفات‌ها در نهشته‌های آبرفتی، کیفیت آب‌های زیرزمینی با دور شدن از ارتفاعات به سرعت کاهش می‌یابد.

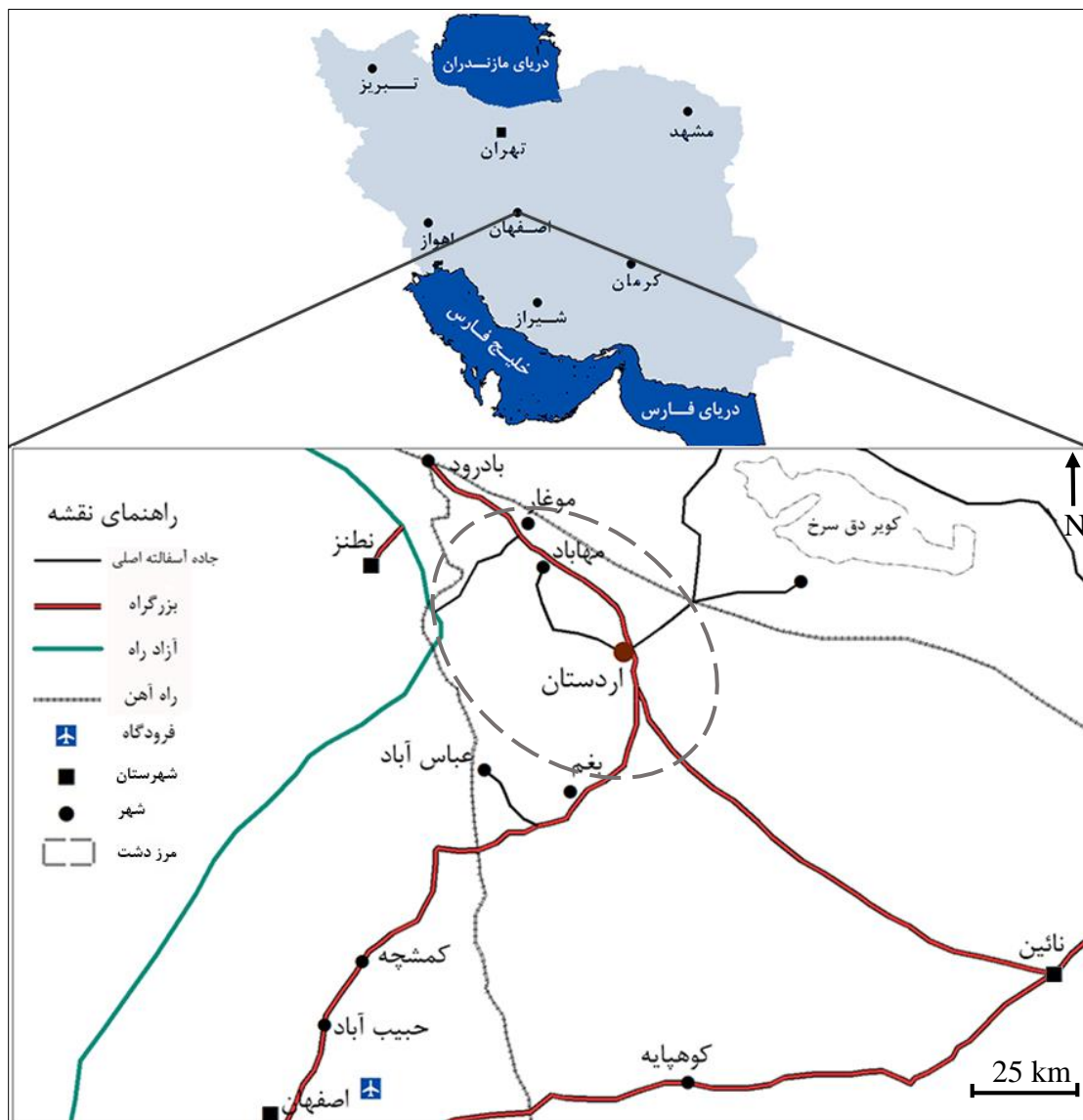
۲-۱- هدف از انجام تحقیق

در محدوده مطالعاتی اردستان منابع آب سطحی مهمی وجود ندارد و سفره‌ها و منابع آب زیرزمینی (چاه، قنات و چشمه) تنها منبع تأمین کننده آب مورد نیاز در مصارف مختلف می‌باشند. معمولاً در چنین مناطقی دسترسی به منابع آب زیرزمینی آسان‌تر، سریع‌تر و با هزینه کمتری همراه است لذا سفره آب زیرزمینی مانند اکثر مناطق ایران مورد بهره‌برداری ناموزون یا به عبارتی مورد هجوم بی‌وقفه قرار گرفته است. افت مستمر سطح آب زیرزمینی و کاهش حجم مخزن سفره‌ها و نهایتاً بیلان منفی آب زیرزمینی خود باعث بروز پدیده‌های مخربی همچون بیابان زایی، خشکیدن قنات‌ها و چشمه‌ها، کاهش آبدهی چاه‌ها، فرونشست زمین و ایجاد درز و شکاف در بناها و تأسیسات، صرف هزینه زیاد جهت کف‌شکنی و جابجایی چاه‌ها و پیشروی آب شور شده است. رویدادهای ذکر شده، دست بدست هم داده و منجر به بحرانی شدن آبخوان محدوده مورد مطالعه و در نهایت باعث اعلام منطقه ممنوعه-بحرانی از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان شده است. لذا این تحقیق می‌کوشد تا تغییرات زمانی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت اردستان در طی سال‌های گذشته را مورد بررسی قرار دهد.

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان اصفهان و در فاصله حدود ۱۲۰ کیلومتری شهر اصفهان و بین مدارهای ۵۱ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی، و ۳۲ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است. شهر اردستان از نظر ارتباطی بر سر آزادراه تهران به استان‌های یزد و کرمان، واقع شده است. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد. محدوده مطالعاتی دارای مساحتی معادل ۴۳۷۵ کیلومتر مربع می‌باشد که ۲۱۸۰ کیلومتر مربع آن را دشت تشکیل داده و ۲۱۹۵ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. مسیل‌های موجود در این محدوده فاقد جریان دائمی می‌باشند و منبع اصلی آب مورد استفاده در این منطقه، منابع آب زیرزمینی می‌باشد. از نظر سیاسی و اقتصادی نیز این محدوده به علت قرار گرفتن شهر

اردستان به عنوان مرکز شهرستان و دیگر مناطق شهری مانند مهاباد، موغار و زواره، دارای اهمیت زیادی است.



شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

۱-۴- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

به طور کلی عوامل هواشناسی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در جریان‌های سطحی، آبدهی رودخانه‌ها فرسایش‌پذیری حوضه‌ها، حمل رسوب و ذخایر آب زیرزمینی دخالت دارند. مهمترین این عوامل شامل

فصل اول: مقدمه

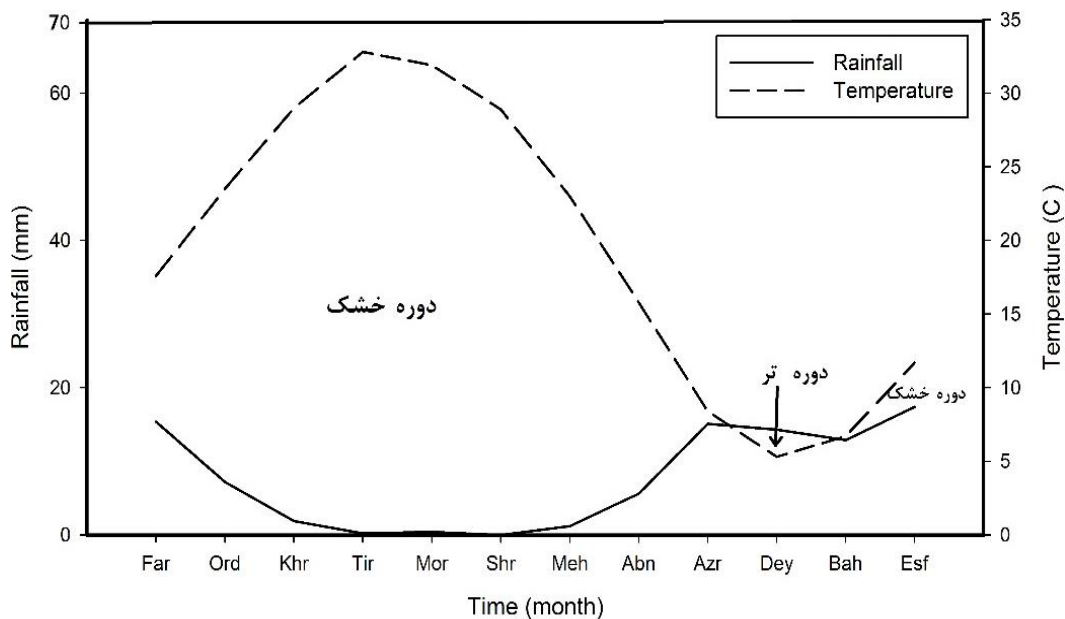
درجه حرارت، تعداد روزهای یخبندان، رطوبت نسبی، باد، تبخیر و بارندگی می‌باشد که نتایج آن‌ها با توجه به اهداف مطالعه در بخش‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب و هوای منطقه به دلیل نزدیکی و مجاورت با کویر، معمولاً در تابستان‌ها گرم و خشک و در زمستان‌ها سرد است به طوری که دمای هوا در گرمترین روز سال به حدود ۴۸ درجه سانتیگراد و در سردترین روز به حدود ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد زیر صفر می‌رسد. به منظور بررسی آب و هوا و اقلیم منطقه مورد مطالعه از آمار هواشناسی دراز مدت در یک دوره ۱۹ ساله (۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳) از تنها ایستگاه سینوپتیک شهرستان اردستان استفاده گردیده است. جدول (۱-۱) میانگین ۱۹ ساله دما و بارندگی منطقه مورد مطالعه را برای هر یک از ماه‌های سال نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- میانگین درجه حرارت و بارندگی منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۹۳، (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۳)

زمان (ماه)	متوسط درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)
فروردین	۱۷/۶	۱۵/۴
اردیبهشت	۲۳/۵	۷/۲
خرداد	۲۹/۰	۱/۹
تیر	۳۲/۸	۰/۲
مرداد	۳۱/۹	۰/۴
شهریور	۲۸/۹	۰/۰
مهر	۲۳/۰	۱/۲
آبان	۱۵/۸	۵/۶
آذر	۸/۴	۱۵/۱
دی	۵/۳	۱۴/۳
بهمن	۶/۷	۱۲/۹
اسفند	۱۱/۷	۱۷/۴
میانگین سالانه	۱۹/۵	۹۱/۴

فصل اول: مقدمه

بر اساس اطلاعات ارائه شده، بیشترین بارش در قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه به ترتیب در چهار ماه اسفند، آذر، دی و فروردین به وقوع می‌پیوندد و در نواحی کویری و کوهپایه‌ای پرباران‌ترین فصل سال زمستان و سپس پاییز و خشک‌ترین فصل نیز تابستان می‌باشد. همچنین بیشینه دما در تیرماه با متوسط $32/8$ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان دما در دی ماه با متوسط $5/6$ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد. شکل (۲-۱) نمودار امپروترومیک (Embrothermic) منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. نقطه تلاقی دو منحنی میانگین بارندگی و میانگین دما، جدا کننده فصل خشک و تر از یکدیگر می‌باشد. در زمان‌هایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما باشد، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. بر طبق این نمودار تمام طول سال را دوره خشک تشکیل می‌دهد. همانطور که از روی شکل (۲-۱) ملاحظه می‌شود تنها یک دوره تر کوتاه در اوایل فصل زمستان مشاهده می‌شود که عمدتاً به دلیل سردی هوا رخ می‌دهد.



شکل ۱-۲- نمودار امپروترومیک منطقه بر پایه میانگین ۱۹ ساله دما و بارندگی

برای تعیین اقلیم منطقه، از روش دمارتن (De Martonne) استفاده شده است. دمارتن ضریب خشکی را با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه، ارائه کرده است (علیزاده ۱۳۹۰). مقدار این ضریب برای اقلیم‌های متفاوت در جدول (۲-۱) آورده شده است.

$$I = \frac{P}{T+10}$$

ضریب خشکی دمارتن با استفاده از معادله روبرو محاسبه می‌گردد.

در این معادله P میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر، و T میانگین دمای سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. I ضریب خشکی نامیده می‌شود که مقدار آن اقلیم منطقه را نشان می‌دهد. مقدار محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه ۴/۵ می‌باشد که با توجه به جدول (۱-۲) نشان‌دهنده اقلیم خشک منطقه است.

جدول ۱-۲- طبقه بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۹۰)

نوع اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	<۱۰
نیمه‌خشک	۱۹/۹-۱۰
مدیترانه‌ای	۲۳/۹-۲۰
نیمه مرطوب	۲۷/۹-۲۴
مرطوب	۳۴/۹-۲۸
بسیار مرطوب	>۳۵

۱-۵- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

در محدوده مطالعاتی اردستان آبخوان بزرگی در منطقه پست محدوده به وجود آمده و آبخوانی است که طی قرن‌ها با وجود بارندگی بسیار کم در این دشت تشکیل شده است. وجود یک رشته گسل گرانبی در امتداد ارتفاعات جنوبی عامل بزرگی در افزایش حجم ذخیره آبخوان بوده است. آبخوان مورد نظر عمدتاً از سمت ارتفاعات جنوبی و مخروط‌های افکنه دامنه ارتفاعات تغذیه شده و در نهایت به مرداب دق سرخ تخلیه و در آنجا تبخیر می‌گردد. این آبخوان به مقدار نسبتاً کمی از سمت ارتفاعات غربی و جنوب غربی تغذیه می‌شود. آبخوان منطقه مورد نظر در محدوده آبرفتی به مساحت بیش از ۴۳۷۵ کیلومتر مربع قرار گرفته است. سنگ بستر آبخوان در نقاط مختلف متفاوت بوده و در بعضی نقاط از جنس مارن‌ها و سازندهای کنگلومرایی دوران سوم و در سایر نقاط معمولاً از جنس رسوبات تبخیری

دوران سوم می‌باشند. در بخش شمالی آبخوان به دلیل مشکلات دسترسی و شوری آب زیرزمینی نه تنها شبکه پیرومتریک ادامه ندارد بلکه اساساً هیچ‌گونه منبع بهره‌برداری نیز احداث نگردیده است (دفتر مطالعات پایه منابع آب استان اصفهان، ۱۳۹۳). قنات‌ها و چشمه‌ها مهمترین منابع تأمین کننده آب آشامیدنی و کشاورزی محدوده مورد مطالعه به شمار می‌روند که با خشک شدن بیشتر چشمه‌ها در فصول گرم، منطقه با مشکل کم آبی مواجه می‌شود. در محدوده مورد نظر رودخانه دائم وجود ندارد ولی رودخانه‌های رنگان و مارسار مهمترین رود فصلی و کم آب منطقه‌اند که آب آنها بیشتر شور و گاهی تلخ است.

۱-۶- ژئومورفولوژی منطقه

بر اساس تقسیم‌بندی‌های ژئومورفولوژیکی، مناطق با اختلاف ارتفاع کمتر از ۵۰ متر دشت، مناطق با ارتفاع بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر تپه ماهور و مناطق با اختلاف ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر به عنوان منطقه کوهستانی در نظر گرفته می‌شوند. در مناطق کوهستانی شیب معمولاً بیشتر از ۲۵ درصد بوده و در مناطق تپه ماهور شیب معمولاً بین ۸ تا ۲۵ درصد و در دشت‌ها کمتر از ۸ درصد می‌باشد. شکل (۱-۳) نمایی کلی از ژئومورفولوژی منطقه را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود ارتفاعات موجود در جنوب دشت به دلیل ماهیت لیتولوژیکی (اکثراً آذرین) و پایداری نسبی در مقابل عوامل فرسایشی، کمتر دستخوش تغییرات شده و عموماً ستیغ‌های بلندی را می‌سازند. در بخش‌های جنوبی و در مجاورت با سازندهای سخت حاشیه ارتفاعات، مخروط افکنه‌ها گسترش دارند که قاعده بعضی از آنها به چندین کیلومتر می‌رسد. این مخروط‌های افکنه به دلیل شرایط رسوب‌گذاری، عموماً دانه درشت و با شیب نسبتاً تندی به سمت مرکز دشت‌ها گسترده شده‌اند. مخروط افکنه‌هایی با بافت دانه درشت نقش بسزایی در جذب آب رواناب‌ها و انتقال آنها به آبخوان ایفا می‌کنند. با تغییر شرایط رسوبگذاری در بخش‌های میانی، شیب سطح زمین هموار شده و به جز تپه ماهورهای ماسه‌ای که به طور پراکنده در نقاط مختلف به ویژه در اطراف شهر بادرود و مهاباد در نواحی شمالی دشت گسترش دارند در بقیه نقاط تغییرات موفولوژیکی آرام می‌باشد.



شکل ۳-۱- موقعیت دشت اردستان و ارتفاعات جنوبی و جنوب غربی دشت (برگرفته از Google Earth)

۷-۱- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه با توجه به پیشنهاد Stocklin (1968) و نقشه تکتونیک ایران (اشتوکلین و نبوی، ۱۹۷۳) که زیربنای کار بسیاری از محققان زمین‌شناسی در ایران است و نیز دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران (نبوی، ۱۳۵۵)، در زون ایران مرکزی واقع می‌باشد. لیتولوژی منطقه مورد مطالعه روند غالب شمال غربی - جنوب شرقی دارد و اغلب شامل سنگ‌های آذرین اسیدی حد واسط است. بیشتر این رخنمون‌ها مربوط به فعالیت آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت، داسیت و ریولیت است که در میان آن‌ها توف و ایگنمبریت هم دیده می‌شود. از نظر واحدهای زمین‌شناختی و ساختمانی ایران، جزء زون سنندج سیرجان می‌باشد که در اصل این زون را جزئی از ایران مرکزی محسوب می‌کنند با این تفاوت که از نظر رسوبگذاری و اختصاصات ساختمانی مانند ایران مرکزی است ولی جهت و امتداد کلی آن از امتداد کلی زاگرس پیروی می‌کند. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی این زون از غرب و جنوب غربی به تراست زاگرس محدود می‌گردد. بیشترین ارتفاع در محدوده مربوط به کوه دوروجین می‌باشد که یک توده دیوریتی - مونزونیتی است. سنگ‌های رسوبی منطقه عمدتاً شامل سنگ آهک، دولومیت و ماسه سنگ به سن مزوزوئیک هستند که در غرب و جنوب غربی منطقه قرار گرفته‌اند. عمده سنگ‌های

آذرین رخمون یافته در منطقه شامل آندزیت - داسیت و سنگ‌های آتشفشانی اسیدی، توف برشی و به طور محلی ریوداسیت و توف ریولیتی هستند. تنوع سنگ‌شناسی و رسوبات، عوامل زمین ساختی و گسل خوردگی‌ها با روندهای مختلف از عوامل مؤثر در ایجاد اختلاف ارتفاع و شکل‌گیری ژئومورفولوژی منطقه می‌باشد (آقانباتی ۱۳۸۵).

۱-۷-۱- چینه شناسی منطقه

در این بخش سازندها و مهم‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ناحیه به ترتیب قدمت و عمدتاً بر اساس ویژگی‌های لیتولوژیکی به شرح زیر ارائه می‌گردند (شکل ۱-۴ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بر گرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان، شهرباب، انارک و لطیف).

الف - مزوزوئیک

نهشته‌های این دوران در منطقه مورد نظر شامل رخمون‌های مربوط به دوره تریاس و کرتاسه می‌باشند. رسوبات متعلق به دوره تریاس در منطقه با دو زیر دوره از تقسیمات چینه شناسی در ایران مرکزی همزمان بوده و دارای گستردگی نسبی در منطقه بوده ولی در محدوده مطالعاتی رخمون زیادی ندارند. سری رسوبات تریاس شامل یک بخش پایینی سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) و بخش فوقانی رسوبات تخریبی (شیل و ماسه سنگ) هستند. رسوبات کرتاسه نیز یکی از مهمترین سازندهای سخت منطقه به دلیل گسترش نسبتاً زیاد سازندهای کربناته می‌باشند. سنگ‌های مربوط به این دوره در منطقه با رخساره ماسه سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ که نتیجه پیشروی دریای کرتاسه زیرین می‌باشد شروع (K_1^c) و با بر جای گذاشتن واحدهای متنوع لیتولوژیکی با پرپودهای مختلف پایان می‌یابد. روی این واحدها آهک‌های اربیتولین‌دار (K_1^{11}) قرار می‌گیرند که با گسترش کم و به طور پراکنده در ناحیه رخمون دارند. از دیگر واحدهای سنگی این دوره، واحدهای با نماد K_1^{12} ، K_1^{1m} ، K_1^{sh} ، K_1 ، K_2 می‌باشد که عموماً در پیرامون دشت عباس‌آباد، ارتفاعات کوه‌های خارنفس و یزدان و کوه سفید و تخت سرخ را در بر می‌گیرند (شرح نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان).

سازند نایبند (TRn): این سازند متشکل از شیل، ماسه سنگ با تناوبی از سنگ آهک بوده و در نواحی جنوب شرقی دشت عباس آباد و دشت اردستان رخنمون دارد. از نظر هیدروژئولوژی تنها سازندهای کربناته شتری دارای ارزش نسبی بوده و سازندهای نایبند در حقیقت نقش سنگ بستر ناحیه‌ای را ایفا می‌کنند.

سازند شتری (TRsh): این واحد با لیتولوژی دولومیت‌های زرد به طور عمده در نواحی جنوبی دشت عباس آباد و در نواحی جنوب غربی دشت اردستان رخنمون دارد. سن هر دو سازند نایبند و شتری به تریاس نسبت داده می‌شوند.

ب - سنوزوئیک

رسوبات این دوران در منطقه بیشتر از نوع کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن و مارن‌های ژپس‌دار، نمک، توف و توف‌های آندزیتی و کمی آهک می‌باشند که با توجه به جنس آن‌ها از لحاظ هیدروژئولوژی اهمیت چندانی ندارند. این رسوبات باعث کاهش کیفیت آب‌های منطقه و شور شدن آن‌ها می‌گردند.

ائوسن: در دوره ائوسن رسوبگذاری همراه با فعالیت‌های ماگمایی و خاکسترهای آتشفشانی بوده و این فعالیت‌ها در چند مرحله صورت گرفته زیرا در بین ولکانیک‌های مربوط به این دوره سازندهای رسوبی نظیر شیل و ماسه سنگ، شیل‌های توفی و لایه‌های نازک آهکی نیز مشاهده می‌گردد. رسوبات متعلق به دوره ائوسن در ناحیه دارای گسترش بسیار زیادی می‌باشند. این واحدهای سنگی با کنگلومرای قرمز رنگ که به طور دگر شیب بر روی سنگ‌های کهن‌تر قرار گرفته آغاز می‌گردد. این واحدها در جنوب ناحیه رخنمون دارند.

الیگومیوسن (Gd) و (Om): این نهشته‌ها نیز در محدوده دارای گسترش نسبتاً خوبی می‌باشند. سنگ‌های مربوط به این دوره شامل کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز زیرین (Or) در چینه‌شناسی ایران مرکزی است. این واحدها همزمان با سازندهای قم و رخساره آهکی و مارنی و ماسه سنگی سازند قم (OM_q) و آهک OM₂¹، OM¹¹ بوده که به طور پراکنده حاوی سنگ‌های آندزیتی مربوط به آخرین

فعالیت‌های آتشفشانی (OM^v) می‌باشد (شرح نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان). گسترش این واحدها در شمال و جنوب به طور پراکنده و در جنوب شهر اردستان در ارتفاعات حاشیه دشت مشاهده می‌گردد.

ج - کواترنری

ته نشست‌های کواترنری در محدوده مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

تراس‌های قدیمی و بلند (Q_{t1}): این نهشته‌ها کهن‌ترین واحد کواترنری را شامل می‌گردد و در ناحیه مورد مطالعه عموماً در پای دامنه ارتفاعات رخنمون دارد. نهشته‌های مورد نظر از عناصر درشت دانه و رسوبات دریاچه‌ای تشکیل می‌گردد. همچنین در بعضی نواحی با سیمانی از آهک و ژئیس، کنگلومرای نسبتاً محکمی را ایجاد می‌کند که بر روی سنگ‌های مختلف مزوزوئیک و ترشیاری قرار گرفته‌اند.

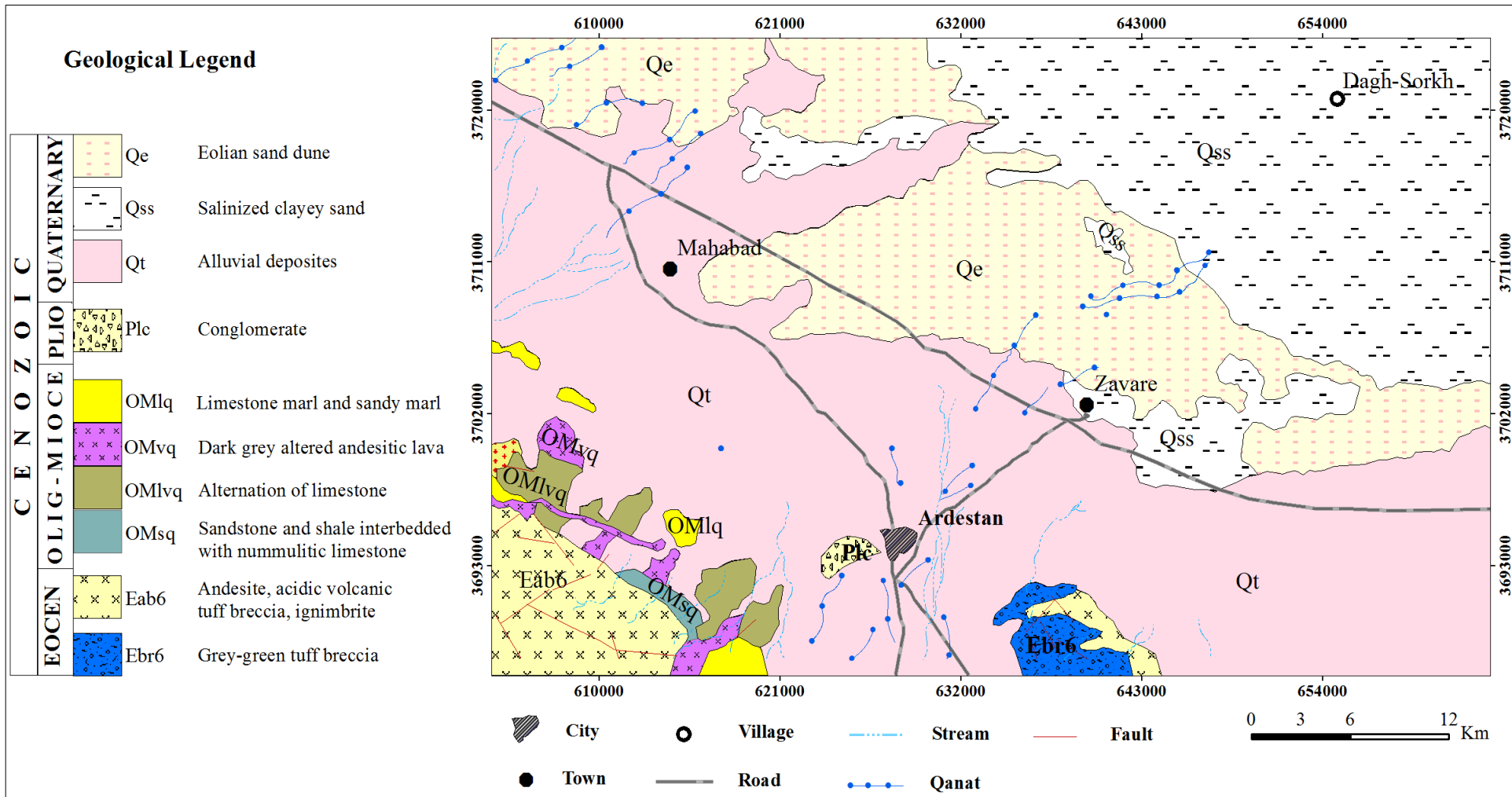
تراس‌های قدیمی و متوسط (Q_{t2}): این تراس‌ها غالباً به صورت مخروط افکنه ظاهر می‌گردند و از عناصر درشت دانه نظیر شن و قلوه‌سنگ و تخته‌سنگ تشکیل یافته‌اند. نحوه تشکیل آن‌ها به این گونه است که به هنگام خروج سیلاب‌ها از نواحی کوهستانی و ورود به دشت، به دلیل تغییر ناگهانی ریخت شناسی سنگ بستر و توپوگرافی ناحیه، افزایش پهنای بستر مسیل و تغییر شیب همراه با کاهش سرعت، قطعات تخریبی بر جای گذاشته می‌شود. بر اساس نتایج حفاری‌های اکتشافی، در بسیاری از نقاط این ذرات توسط سیمانی از کربنات کلسیم به هم چسبیده و کنگلومرای ضعیفی را در بعضی از افق‌ها می‌سازند (گزارش آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۹۳).

تراس‌های جوان کم ارتفاع (Q_{t3}): این تراس‌ها عموماً از شن و ماسه و رسوبات دریاچه‌ای و تپه‌های ماسه‌ای تشکیل گردیده و بخش قابل توجهی از سطح دشت را در بر می‌گیرد. عناصر درشت دانه این واحد در مسیر آبراهه‌ها و مسیل‌های موقت تشکیل می‌گردد و شامل تخته سنگ‌ها، قلوه‌سنگ‌ها و قطعات زاویه دار می‌باشد. نهشته‌های دریاچه‌ای در بخش وسیعی از سطح پایین توپوگرافی گسترش داشته و به وسیله نهشته‌های رس - ماسه‌ای نمک‌دار پوشانده می‌شود.

نهشته‌های جدید (RS) : این نهشته‌ها از عناصر درشت دانه با نماد Q^{al} و تپه‌های مسطح نمکی با نماد Q_f و تپه‌های ماسه‌ای با نماد Q_s و نیز تراورتن‌های عهد حاضر Q_{tr} بر روی چهار گوش کاشان (نقشه زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور) با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص گردیده‌اند.

نهشته‌های جوان رودخانه‌ای (Q^{al}): این نهشته‌ها از ماسه‌های رس‌دار و ذرات شن و قلوه‌سنگ در مسیر آبراهه‌های موقت در مخروط افکنه‌ها تشکیل می‌گردند. قطر عناصر تشکیل‌دهنده این واحد از ذرات Q^{al} نسبتاً کوچکتر بوده و آبراهه‌های این واحد دارای عرض وسیعی بوده که گاهی عرض آن‌ها تا صد متر می‌رسد.

تپه‌های ماسه‌ای : تپه‌های ماسه‌ای عموماً از ذرات ریز دانه ماسه‌ای و بر روی نهشته‌های نمکی شکل می‌گیرند. عناصر تشکیل‌دهنده تپه‌ها کاملاً گرد و کروی بوده و نتیجه اثرات انتقال و انباشت ذرات ماسه توسط باد در نواحی کویری هستند که تپه‌های کوچک و رشته تپه‌ها را به شکل تلماسه‌ها بر جای می‌گذارند. سازندهای دوره کواترنری در محدوده مطالعاتی وسعت بسیار زیادی داشته و به دلیل قابلیت نفوذ مناسب مهم‌ترین سازندها در منطقه از نظر هیدروژئولوژی به حساب می‌آیند، و در تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی بالاترین نقش را به عهده دارند.



شکل ۱-۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه-

۱-۷-۲- نهشته‌های شورکننده آب زیرزمینی

از ویژگی‌های آبرفت ناحیه، گسترش مخروط افکنه در بخش‌های جنوبی شهر اردستان و نواحی ورودی به دشت می‌باشد که در نتیجه رسوبگذاری سیلاب‌های هدایت شده از ارتفاعات می‌باشد. بدین صورت که ذرات همراه جریان‌های فوق با رسیدن به سطح دشت و تغییر شیب مورفولوژی آن، ته نشست شده که اکثراً درشت دانه و دارای ضخامت قابل توجهی می‌باشند. این ذرات به دلیل شرایط رسوب‌گذاری و همچنین فاصله و زمان نسبتاً کوتاه رسوب‌گذاری از قطعات درشت و زاویه‌دار تشکیل می‌گردند و به دلیل نفوذپذیری نسبتاً زیاد، محیط‌های مناسبی را برای جذب و ذخیره و انتقال آب فراهم می‌نمایند. سازندهای شورکننده در منطقه منحصر به سازندهای تبخیری دوران سوم زمین‌شناسی بوده که عموماً در دامنه ارتفاعات تشکیل گردیده‌اند. سازندهای دوران سوم به دلیل داشتن املاح تبخیری و سهولت انحلال در آب‌های زیرزمینی دارای تبادلات شدید یونی بوده و عامل مهمی در شوری آب زیرزمینی می‌باشند. مارن‌های زرد رنگ و کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز پایینی (O^2) و رخساره‌های آهکی، مارنی و ماسه سنگی سازند قم (OM_q) در جنوب شهر اردستان و به طور پراکنده در ارتفاعات حاشیه دشت گسترش دارند. این سازندها نقش بسزایی در تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه به عهده دارند. با توجه به اینکه سازندهای مزبور غالباً در دامنه ارتفاعات و حدفاصل بین ارتفاعات و دشت رخمون دارند، معمولاً آب زیرزمینی در ارتفاعات به ندرت شور می‌باشد ولی با عبور از سازندهای تبخیری ذکر شده شور می‌گردد. در بین آبرفت‌ها نیز وجود لایه‌های گچ که به صورت آواری و رسوب‌گذاری مجدد رسوب نموده‌اند و همچنین وجود مناطق تبخیری در پست‌ترین نقاط دشت، از عوامل مهم شوری آب هستند. با توجه به اینکه سنگ بستر آبخوان عموم از جنس سازندهای رسوبی تبخیری دوران سوم می‌باشد عبور آب و تماس با سنگ بستر مارنی نیز عاملی جهت شوری آبخوان‌های آبرفتی است (دفتر مطالعات منابع آب استان اصفهان ۱۳۹۳).

۱-۸- زمین‌شناسی ساختمانی

ناحیه مورد مطالعه در نیمه میانی ایران و در زون تکتونیکی ایران مرکزی قرار دارد. بلوک‌های ساختمانی در این بخش از ایران نتیجه فرایند تکتونیکی آلپین جوان می‌باشد. به طور کلی قدیمی‌ترین فاز کوهزایی حوضه مربوط به اواخر پرکامبرین می‌باشد که منجر به دگرگونی و تشکیل سنگ‌های کم دگرگون‌شده است. پس از آن در تمام طول پرکامبرین پسین و پالئوزوئیک و نیز اوایل مزوزوئیک ناحیه تحت کنش‌های قاره‌زایی قرار می‌گیرد و این عامل باعث خروج مکرر از دریا و فرسایش آن می‌گردد که نتیجه آن نبوده‌های چین‌شناسی در این فاصله زمانی است. در اواخر تریاس ناحیه تحت نیروهای کوهزایی قرار می‌گیرد و طبقات آن چین می‌خورند و بار دیگر با خروج قسمت‌هایی از ناحیه از آب فرسایش شدیدتر برقرار می‌گردد (آقانباتی ۱۳۸۵). سپس نهشته‌های آواری مربوط به پیشروی دریای ژوراسیک روی سنگ‌های مختلفی قرار می‌گیرد که سن آن‌ها از پرکامبرین تا تریاس پیشین است. در ژوراسیک و کرتاسه بجز حرکات قاره‌زایی که نبوده‌های چین‌شناسی را به همراه دارد حادثه مهمی رخ نمی‌دهد. در پایان کرتاسه و اوایل ترشیری با حرکات مجدد کوهزایی چین‌خوردگی طبقات تشدید می‌گردد. این حرکات در طول ترشیری همراه با فعالیت‌های ماگمایی ادامه می‌یابد و نتیجه آن ترادف سنگ‌های ولکانیکی ضخیم و نهشته‌های توفی ائوسن است که بر روی سنگ‌های چین‌خورده کرتاسه به‌طور دگرشیب قرار می‌گیرند. روند کلی ساختمان‌های اصلی زمین‌شناسی در ناحیه منطبق با روند عمومی زون‌های سنندج-سیرجان و زاگرس می‌باشد. این ناحیه به دلیل برخورداری از شرایط پیچیده تکتونیکی دارای گسل‌های متعدد می‌باشد، از جمله، گسل نائین-بافت و گسل راستگرد قم-زفره با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی بوده که از دره تکتونیکی شهر نطنز-بزمان عبور و احتمالاً در ایجاد فعالیت‌های ماگمایی و آتشفشانی ائوسن نقش دارد (آقانباتی ۱۳۸۳). با توجه به شرایط زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه در ایران مرکزی و همجواری با زون تکتونیکی سنندج-سیرجان به شدت از فرایندهای تکتونیکی در این زون متأثر بوده و گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان در بخش وسیعی در سطح سازندهای سخت دیده می‌شود. این گسل‌ها می‌توانند از طریق جذب بارش‌ها و هدایت آن نقش قابل توجهی را در تقویت آبخوان داشته باشند.

فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده در خصوص ارزیابی تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی

مسئله کمبود آب برای کشورهای هم‌چون ایران که دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد از دیرباز وجود داشته است. به همین دلیل تأمین آب در ایران همواره مورد بحث کارشناسان بوده است. از منابع آبی مهم، سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشند که به دلیل استفاده بی‌رویه از این منابع سطح سفره‌های آب زیرزمینی دچار افت قابل ملاحظه‌ای شده‌اند. نوسانات سطح آب زیرزمینی با عوامل متعددی در ارتباط است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تغییرات اقلیمی، میزان بارندگی و نفوذ، تبخیر از سطح سفره‌های آب زیرزمینی، برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در جهت نیاز به توسعه و فعالیت‌های مختلف انسانی در زمینه کشاورزی- صنعت و تبادل آب رودخانه‌ها با آبخوان‌های آبرفتی اشاره نمود. افت سطح آب زیرزمینی سبب افزایش غلظت املاح تشکیل‌دهنده آب شده و این مسئله سبب کاهش کیفیت آب می‌شود، افت آب همچنین سبب نفوذ آب‌های شور به آبخوان، نشست زمین در اثر خالی شدن منافذ خاک، افزایش عمق چاه‌ها و کاهش دبی رودخانه‌های زهکش می‌شود (Panda *et al.* 2007). در آبخوان به دلیل شرایط طبیعی و هیدرولیکی، آب‌های شیرین به سمت آب‌های شور تعادل هیدرواستاتیکی تغییر کرده و آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین جریان یابند (گهرنژاد ۱۳۸۱).

۲-۱- عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب عبارتی است که برای توصیف ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی آب با توجه به تناسب آب کاربری آن استفاده می‌شود. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد (Vengosh, 2014). به طور کلی کیفیت آب

زیرزمینی توسط دو عامل طبیعی و انسانزاد کنترل می‌شود. عوامل طبیعی شامل واکنش آب با سنگ، کیفیت آب تغذیه‌ای، سرعت جریان آب زیرزمینی و عوامل انسانزاد شامل مواردی همچون کشاورزی، صنعت، تخلیه فاضلاب‌های شهری، شهرسازی، معدنکاری و برداشت‌های بی‌رویه است (Chan 2001). کیفیت آب زیرزمینی به دلیل تغییر در شرایط مختلف از جمله شرایط آب و هوایی، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، جنس سازندهای زمین‌شناسی مسیر و تغذیه آب زیرزمینی توسط آب سطحی تغییر می‌کند (Panda *et al.* 2007). یکی از آشکارترین پدیده‌های تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری است. نسبت کلرید به کل مواد جامد محلول (Cl/TDS) از ۰/۱ در آب‌های شور تا ۰/۵ در آب‌های شور دریایی متفاوت است. شوری آب همچنین توسط هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) تعریف می‌شود (Ayenew *et al.* 2008). به طور معمول مقدار نمک‌های کل محلول در آب‌های زیرزمینی هر منطقه بیشتر از آب‌های سطحی آن منطقه می‌باشد، که دلیل آن زمان طولانی تماس آب با مواد تشکیل دهنده آبخوان و انحلال آن‌ها می‌باشد، از همین رو از مناطق تغذیه به مناطق تخلیه میزان نمک‌های محلول نیز افزایش پیدا می‌کند، همچنین با افزایش عمق مقدار شوری نیز بیشتر می‌شود.

میزان شوری به طور گسترده‌ای متفاوت است و در برخی موارد یک پدیده بلندمدت در ارتباط با فرآیندهای زمین‌شناسی و در مواردی نتیجه فعالیت‌های انسانی می‌باشد. در طول قرن گذشته، بسیاری از سفره‌های آب زیرزمینی و رودخانه‌های سراسر جهان، به سطوح بالایی از شوری رسیده‌اند، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق جهان تا حد زیادی به درجه و میزان این پارامتر بستگی دارد (Vengosh 2014). غلظت بالای سدیم و کلرید در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند به عنوان یک شاخص خوب برای شناسایی مشکل در کیفیت آب در نظر گرفته شود، که از مهم‌ترین منابع آن‌ها می‌توان به کشاورزی و استفاده زیاد از کودهای شیمیایی، پساب‌های صنعتی، فضولات حیوانی، شیرابه موجود در محل دفن زباله، آب دریا، حوضه‌های شورابه، و نمک‌پاشی جاده‌ها اشاره نمود (Walraevens *et al.* 2014). منابع بالقوه شوری آب‌های زیرزمینی شامل تبخیر، شورابه‌های مربوط به میدان‌های گازی و نفتی، نفوذ آب دریا، منابع آب زمین‌گرمایی، آب‌های عمیق و انحلال نمک طعام می‌باشد (Zarei *et*

2013). در مناطق خشک و نیمه‌خشک عواملی همچون فرایندهای طبیعی مثل تبخیر از آب‌های زیرزمینی، انحلال سازندهای تبخیری، وجود گنبد‌های نمکی، نفوذ آب از دریاچه‌ها و رودخانه‌های شور به آبخوان، عبور رودخانه‌ها از زمین‌های شور و نفوذ به آبخوان، چشمه‌های ژئوترمال و حوضه‌های عمیق آب از علل احتمالی کاهش کیفیت و در نهایت شوری آب‌های زیرزمینی هستند (Kouchekezadeh 2014). علاوه بر این تبخیر زیاد و عوامل انسانی همچون آب برگشتی کشاورزی از عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌باشند (Re et al. 2013). در کشاورزی نیز آبیاری طولانی مدت با آب غنی از سدیم باعث کاهش قابل توجهی از هدایت هیدرولیکی در خاک می‌گردد. از این رو، سطح شوری آب‌های زیرزمینی یکی از عوامل محدود کننده برای کاربردهای مختلف است. مشکل فوق یک پدیده جهانی است، اما در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند مانند مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر مشاهده می‌گردد (Vengosh 2014). در نهایت، فرایندهای شور شدگی منابع آب به طور مستقیم به عواملی جهانی مانند رشد جمعیت و تغییرات آب و هوایی بستگی دارد. افزایش جمعیت منجر به فشار بیشتری برای تولید مواد غذایی می‌گردد و این مورد از منابع آب‌های شیرین بدون جایگزین کردن مناسب کاسته و باعث بروز مشکلات عمده در تأمین آب باکیفیت قابل قبول می‌گردد.

۲-۱-۱- اثرات سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت منابع آب

سازندهای زمین‌شناسی نقش اساسی در غلظت‌های پایه املاح موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند. این تأثیرات بسته به جنس، گسترش و زمان تماس آب با سازندهای مختلف متفاوت خواهد بود. آب‌های سطحی و زیرزمینی در مسیر عبور از سازندهای مختلف، همواره با محیط پیرامون خود، جانشینی یونی یا تبادل کاتیون و آنیون صورت می‌دهند طی این تبادل، برخی از عناصر سنگ‌ها در آب حل شده و بالعکس بعضی عناصر آب در خلل و فرج سنگ‌ها رسوب می‌کنند. بنابراین کیفیت آب‌ها با عبور از واحدهای سنگی و ساختار طبیعی زمین دچار تغییر می‌شود.

شیمی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه به نوع سنگ‌هایی که از آن عبور می‌کند بستگی دارد، کیفیت آب زیرزمینی به طور عمده توسط سه عامل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. (۱) فرایندهای طبیعی، مانند

سنگ شناسی، سرعت جریان آب، واکنش‌های انحلالی آب با سنگ، کیفیت آب تغذیه شده و اختلاط آبخوان‌ها با همدیگر. (۲) فعالیت‌های انسانی همچون کشاورزی، تغییر در کاربری اراضی، شهرنشینی و توسعه در صنعت و افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی. (۳) آب‌های سطحی ورودی به منابع آب زیرزمینی که دارای کیفیت‌های متنوعی می‌باشند (Chan 2001).

طی مطالعاتی که در آبخوان آبرفتی واقع در نواحی خشک و نیمه‌خشک جنوب اسپانیا انجام گرفته است، تیپ آب در منطقه تغذیه کربناته بوده و با نزدیک‌تر شدن به منطقه تخلیه به کلوره تغییر یافته و همچنین مقادیر کل املاح جامد محلول در آب (TDS) نیز به دلیل وجود کانی‌های تبخیری در جهت جریان افزایش پیدا کرده است. همچنین در زمان‌ها و مکان‌های مختلف پارامترهای کیفی آب طیف وسیعی از غلظت را نشان دادند که علت این امر تغییر در لیتولوژی در مکان‌های مختلف بوده است (Herrera and Espinosa 2008).

الف- آب‌های زیرزمینی و سازندهای آذرین و دگرگونی

این سازندها به عنوان مثال، کانی‌های سیلیکاته‌ها (الیوین پیروکسن آمفیبول) و فلدسپات‌ها کمتر در آب‌های زیرزمینی انحلال حاصل می‌کند و بیشتر آب‌هایی که در تماس با این لایه‌ها هستند دارای CO_2 زیاد بوده و غالباً pH اسیدی دارند. به طور کلی کیفیت آب در سنگ‌های آذرین و دگرگونی معمولاً بسیار خوب می‌باشد.

ب- آب‌های زیرزمینی و سازندهای رسوبی

این سازندها شامل کربنات‌ها (کلسیت، دولومیت)، نهشته‌های تبخیری (ژپس، انیدریت، هالیت)، سیلت، رس و مارن بوده که بیشتر دچار انحلال در آب‌های زیرزمینی می‌گردند. اما به طور کلی کیفیت آب در سنگ‌های رسوبی بسیار متفاوت بوده به طوری که آب‌های موجود در سنگ‌های آهکی معمولاً دارای کیفیت مناسبی بوده و آب‌های عبوری از سنگ‌های تبخیری دارای کیفیت خیلی پایین می‌باشند. رس و مارن نیز به دلیل نفوذپذیری بسیار کم خود کیفیت آب را کاهش می‌دهند (دستان ۱۳۹۲). در رابطه

با سازندهای کربناته این توضیح لازم است که CO₂ موجود در آب باران به صورت اسیدکربنیک درآمده و با انحلال کلسیم تشکیل بی‌کربنات کلسیم داده که در آب محلول است و خود سبب توسعه معابر و حفره‌های آبی در این سری‌ها می‌گردد. اینگونه آب‌ها معمولاً از نظر بی‌کربنات غنی و از نظر سایر آنیون‌ها نسبتاً فقیر هستند. میزان یون کلسیم در این آب‌ها زیاد و غالباً بیشتر از منیزیم می‌باشد. هوازدهی کربنات‌ها و سیلیکات‌ها از مهم‌ترین فاکتورهای افزایش‌دهنده یون‌های اصلی در آب‌های زیرزمینی می‌باشند، و همچنین تأثیر منفی اسیدیته را نیز باید ذکر نمود به طوری‌که سرعت هوازدهی اینگونه کانی‌ها در محیط‌های اسیدی بسیار بیشتر از سرعت هوازدهی آن‌ها در محیط‌های قلیایی است.

سازندهای رسی و مارنی دارای تخلخل زیاد و نفوذپذیری کم هستند، در نتیجه سطح تماس آب زیرزمینی و این رسوبات افزایش یافته و چون این رسوبات دارای املاح شور گچ و نمک می‌باشند، لذا در مجموع املاح محلول در آب افزایش یافته و در نتیجه میزان آنیون‌های سولفات و کلر فزونی می‌گیرد. در این میان گنبد‌های نمکی مواد شیمیایی محلول در آب را افزایش می‌دهند و در بسیاری از موارد گنبد‌های نمکی به عنوان عامل اصلی شوری آب‌های زیرزمینی شناسایی شده اند (Sharafi *et al.* 2002). به طور کلی فراوان‌ترین کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب زیرزمینی، سدیم، کلسیم، بی‌کربنات و سولفات می‌باشند. معمولاً میزان یون کلر در آب زیرزمینی کم است ولی ممکن است در اثر تماس با آب‌های فسیل، نفوذ آب دریا، نشت و یا وجود لایه‌های تبخیری افزایش پیدا کند.

فارابی و همکاران (۱۳۸۵) با مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت باغ‌ملک در استان خوزستان و استفاده از تحلیل‌های آماری و نمودارهای هیدروشیمیایی به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه واکنش بین آب با سنگ، تبادل یونی معکوس و سازندهای محصور کننده دشت می‌باشد. اصلی‌ترین سازند این منطقه، سازند انحلالی گچساران بوده که بیشترین تأثیر را بر تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه دارد.

با توجه به مطالعات انجام شده در دشت مهربان (آذربایجان شرقی)، تنها منبع تأمین آب شرب دشت، منابع آب زیرزمینی می‌باشد، که تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و ورود رودخانه‌های شور موجب تخریب کیفیت منابع آب زیرزمینی این دشت گردیده است. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات مکانی کیفیت

آب زیرزمینی منطقه و تعیین عوامل مؤثر بر آن به وسیله تلفیقی از روش‌های آماری (تحلیل عاملی) و روش‌های هیدروشیمیایی (شاخص‌های اشباع و نمودارهای ترکیبی) می‌باشد. نتایج تحلیل عاملی نشان دهنده سه عامل مؤثر در ترکیب شیمیایی آب شامل: ۱- انحلال کانی‌های تبخیری و گچی، ۲- مصرف کودهای شیمیایی، ۳- انحلال هالیت و نفوذ آب‌های کلروره سدیک از رودخانه آجی‌چای می‌باشد. اصلی‌ترین سازندهای محدوده مورد مطالعه مارن‌های گچ و نمک‌دار، سیلت-مارن، کنگلومرا و آهک می‌باشند. نتایج محاسبه شاخص اشباع کانی‌ها نشان‌دهنده حالت فوق اشباع نسبت به آراگونیت، کلسیت و دولومیت و تحت اشباع نسبت به انیدریت، ژیپس و هالیت می‌باشد و نتایج نمودارهای ترکیبی نشان می‌دهد که فرآیندهایی نظیر انحلال هالیت، ژیپس، دولومیت و تبادل یونی، کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (اصغری مقدم و همکاران ۱۳۹۳).

بهاروند و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی منابع آب زیرزمینی شمال شهر خرم‌آباد و بر اساس نتایج شیمیایی نمونه‌های آب گرفته شده از سازند آسماری، به این نتیجه رسیدند که منابع آب این سازند تحت تأثیر دو نوع سازند زمین‌شناسی که از نظر لیتولوژیکی تأثیر بسزایی بر روی آب‌های زیرزمینی دارند، قرار گرفته است به طوری که آب سرچشمه گرفته از آهک‌های جنوب شرقی منطقه به علت وجود پوشش سازند گچی، قابلیت شرب خود را از دست داده ولی آب سرچشمه گرفته از آهک‌های شمال غربی منطقه به علت پوشش مارنی و ماسه سنگی از وضعیت بهتری برخوردار بوده و قابل شرب می‌باشد.

در رسوبات تبخیری گچی نمکی به دلیل قابلیت انحلال زیاد گچ و به دنبال آن منیزیم در آب و همچنین بالا بودن قابلیت انحلال بسیار زیاد کلرورها در آب، املاح سولفات‌ها و به ویژه کلروره، در آب‌های آن‌ها بالاست. مقدار کل املاح جامد محلول در آب‌های زیرزمینی مناطق گچی نمکی تا ۲۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر نیز می‌رسد (Davis and Dewiest 1986). ممون و همکاران (Memon et al. 1999) با مطالعه سنگ‌های درز و شکاف‌دار دشت رولینگ در منطقه تگزاس، بالا بودن غلظت یون کلر در نمونه‌های آب که به طور میانگین ۳۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد را به وجود سازندهای دولومیتی و ژیپسی و نمکی منطقه نسبت دادند.

ری و همکاران (Re et al. 2013) در مطالعات خود به بررسی فرآیندهای مؤثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی مناطق خشک در آبخوان ساحلی بوآرگ (Bou-Areg) پرداختند، نتایج این تحقیق، شوری بالا در آبخوان مذکور را تأیید نمود و وجود لایه‌های کربناته میوسن، انحلال آن‌ها و زمان ماندگاری طولانی بین آب و سنگ، از عوامل مهم تأثیرگذار بر افت کیفیت آب برشمرده شد. به گزارش والرئونس و همکاران (Walraevens et al. 2014) یکی از علل مهم شوری بالا در آبخوان دارالسلام تانزانیا، انحلال کلسیت و فرایند تبادل کاتیونی می‌باشد.

در تحقیق زارعی و همکاران (Zarei et al. 2013)، تحت عنوان شناخت منابع شوری با استفاده از خصوصیات هیدروشیمی آبخوان و تکنیک‌های ایزوتوپی، در منطقه کنارسیاه (Konarsiah) ایران با توجه به ظهور گنبد‌های نمکی، و وجود لایه‌های نمک در سازند گچساران و هرمز در منطقه مورد مطالعه انحلال نمک طعام منبع احتمالی شوری در سفره‌های آب زیرزمینی تشخیص داده شد، آن‌ها عنوان کردند جلوگیری از تخریب منابع طبیعی آب با کیفیت بالا، همچون پیدا کردن یک منبع جدید آب شیرین است.

۲-۱-۲- نفوذ آب شور به آبخوان‌های شیرین

نفوذ آب شور یکی از گسترده‌ترین و مهم‌ترین فرآیندهایی است که منجر به کاهش کیفیت آب در سطوح پایین‌تر از استانداردهای آب شرب و آبیاری می‌گردد، این مشکل به دلیل رشد جمعیت، تمرکز ۷۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق دشت ساحلی و بهره‌برداری آب از سفره‌های آب زیرزمینی ساحلی تشدید می‌شود. وقتی یک آبخوان روی لایه‌ای از آب شور قرار می‌گیرد و از چاهی که به قسمت شیرین آبخوان نفوذ کرده است پمپاژ صورت گیرد، به طور محلی فصل مشترک آب شور و شیرین در زیر چاه بالا می‌آید. این پدیده را بالآمدگی آب شور می‌گویند (Kemblowski 1985). فعالیت‌های بشر به عنوان مثال، شهرنشینی، توسعه کشاورزی و گردشگری در مناطق ساحلی سبب افزایش میزان شوری آب‌های زیرزمینی هستند (Jones et al. 1999).

طی مطالعات انجام شده در خراسان شمالی، با هدف بررسی هجوم آب شور از کویر مرکزی به آبخوان اسفراین، که توسط کرمی (۱۳۹۲) انجام شده است پس از نمونه‌برداری از چاه‌های منطقه، pH، هدایت الکتریکی، و غلظت یون‌های اصلی اندازه‌گیری شد. با استفاده از نتایج بدست آمده نقشه هدایت الکتریکی آبخوان رسم گردید که بر این اساس دشت اسفراین به پنج منطقه تقسیم شد، همچنین مقادیر آنیون و کاتیون‌های اصلی، هدایت الکتریکی و شاخص اشباع هالیت با یکدیگر مقایسه شدند، علاوه بر آن از نمودار پایپر نیز جهت ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی استفاده شده و در نهایت با تلفیق تمامی اطلاعات ذکر شده علت اصلی هجوم آب شور در این آبخوان، افت بیش از حد سطح آب‌های زیرزمینی در نتیجه برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان ذکر گردید.

هدف از مطالعه‌ای که توسط (اصغری‌مقدم و همکاران ۱۳۹۲) صورت گرفت، بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کههریز در ارومیه و علل شورشدگی آن می‌باشد. آن‌ها به منظور تعیین ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب منطقه، از ۱۶ چاه، یک قنات و یک چشمه نمونه‌برداری کرده و پس از تعیین مقدار عناصر و مواد موجود در آب با استفاده از نمودارهای پایپر، ویلکوکس و شولر کیفیت آب را تعیین کردند. همچنین نقشه‌های هم مقدار هدایت الکتریکی و کلر نیز تهیه شده و همبستگی بین یون کلر، عناصر اصلی و هدایت الکتریکی محاسبه شد. همبستگی مثبت بیش از ۰/۸ یون کلر به عنوان شاخص شوری در آب‌های زیرزمینی با هدایت الکتریکی نشان دهنده نقش مؤثر آن در تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت می‌باشد. در نتیجه این تحقیق از دلایل اصلی شوری در بخش‌هایی از دشت کههریز نفوذ آب دریاچه ارومیه و ایجاد پدیده بالا آمدگی (Upconing) آب شور در اثر بهره‌برداری بیش از حد عنوان گردید.

هوکساز (Hoxhaj 2005) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی خطر نفوذ آب شور در شمال شرقی مکزیک، ابتدا با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی، موقعیت زون شور را در آبخوان مشخص کرد، سپس با استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی و اندازه‌گیری پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول به این نتیجه رسید که شوری در این آبخوان بسیار بالا بوده، و علت افزایش غیرعادی هدایت الکتریکی

و یون کلر را در برخی از چاه‌های ساحلی، نفوذپذیری آب شور در آبخوان ذکر کرد. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده توسط سداو و همکاران (Sdao et al. 2009) علت شوری بالای آب زیرزمینی در حوضه گروپتاموس (Geropotamos) تأثیر دو عامل نفوذ آب شور دریا و واکنش متقابل آب با تبخیری‌های میوسن عنوان گردید.

پورناما و مرفای (Purnama and Marfai, 2012) هدف اصلی تحقیق خود را شناسایی و ارزیابی منابع شوری در آبخوان آبرفتی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که علت اصلی افزایش شوری آب عمدتاً در اثر وجود آب‌های فسیلی ساکن و نفوذ آب دریا به این آبخوان می‌باشد.

زارعی و همکاران (Zarei et al. 2013)، در مطالعاتشان تحت عنوان شناخت منابع شوری در منطقه کنارسياه (Konarsiah) ایران با استفاده از خصوصیات هیدروشیمی، نشان دادند که عبور یک گسل عمیق از منطقه مورد مطالعه امکان نفوذ آب‌های شور از میدان‌های نفت و گاز، آب‌های زمین‌گرمایی و شوراب‌های عمیق حوضه، را از اعماق به سفره‌های آب فراهم می‌کند.

والریونس و همکاران (Walraevens et al. 2014) در تحقیق خود با عنوان بررسی کیفی آبخوان دارالسلام و عوامل مؤثر بر شوری آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی، به این نتیجه رسیدند که تیپ غالب آب در آبخوان‌های مورد مطالعه سدیم کلرید بوده و علت اصلی شوری آب نزدیکی منطقه به اقیانوس هند و نفوذ آب شور به آبخوان تشخیص داده شد، آن‌ها همچنین پیشنهاد کردند برای حفظ منابع آب دارالسلام لازم است محل دقیق نفوذ آب شور از اقیانوس هند به آبخوان‌های منطقه شناسایی و بررسی شود، سیستم فاضلاب‌های خانگی توسعه یافته و مصرف آب ساکنان این منطقه مدیریت گردد.

۲-۱-۳- تبخیر و تعرق از سطح آبخوان‌ها

تبخیر در مناطقی که سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر باشد بیشتر صورت می‌گیرد، به‌علاوه اینگونه نرخ تبخیر به بافت خاک نیز بستگی دارد و هر چه رسوبات دانه ریزتر باشند بنا بر خاصیت مؤئینه در آن‌ها تبخیر بیشتر مشاهده می‌گردد و در نتیجه کیفیت آب موجود به شدت کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش روند گرم شدن کره زمین و بروز خشکسالی‌ها که در طی سال‌های اخیر رخ داده است، میزان

تبخیر در دشت‌ها افزایش پیدا کرده است. تبخیر و تعرق از سطح آب زیرزمینی به عمق سطح آب، نوع و بافت خاک و درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، شدت باد، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح آب بستگی دارد (Todd 2005).

بررسی‌های صورت گرفته توسط هان و همکارانش (Han *et al.* 2011) در شمال غرب چین بر روی هیدروژئوشیمی و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، نشانگر تبخیر شدید از سطح آب زیرزمینی و شورشدگی آن می‌باشد. در این تحقیق پس از انجام آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب، تیپ آب کلروره تعیین شد و همچنین مقدار مواد جامد محلول (TDS) در حدود ۶۵ گرم بر لیتر بدست آمد که این مقدار مربوط به نواحی با توپوگرافی مسطح، و عمق بسیار کم آب می‌باشد. منابع شوری آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های شیمیایی و ایزوتوپی مورد بررسی قرار گرفت که در نتیجه ترکیبات ایزوتوپی پایدار اثر تبخیر در آب‌های زیرزمینی کم عمق در این منطقه را تأیید کرده و نشان می‌دهد تبخیر قابل توجهی در آبخوان مورد مطالعه رخ داده است.

یکی از اهداف اصلی تحقیق راجش و همکاران (Rajesh *et al.* 2011) در هند بررسی فرآیندهای تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی بود، که طی این تحقیق فرایند تبخیر از سطح چاه‌های منطقه مورد مطالعه به عنوان عامل اصلی کاهش کیفیت این آبخوان در نظر گرفته شد، آن‌ها با رسم نمودارهای غلظت یون کلر- سدیم و کلسیم - بی‌کربنات منطقه و مقایسه آن با خط تبخیر نمونه آب زیرزمینی که دارای کمترین غلظت یونی می‌باشد، نشان دادند تبخیر از چاه‌هایی که سطح آب در آن‌ها بالاست از عوامل اصلی اثرگذار بر کیفیت آب‌های زیرزمینی در این منطقه می‌باشد. همچنین تبخیر و تعرق از سطح آب زیرزمینی یک عامل طبیعی و تحت تأثیرات اقلیم هر منطقه بوده، و علاوه بر این تبخیر از سطح آبخوان به عوامل متعددی همچون عمق سطح آب، بافت خاک، سیستم زهکشی، درجه حرارت محیط و املاح موجود در آب بستگی دارد.

۲-۱-۴- تبادل آب رودخانه و آبخوان آبرفتی

رودخانه‌ها به ویژه در ناحیه ورودی به دشت، تغذیه کننده آبخوان بوده و برخی از آن‌ها در نواحی خروجی از دشت که سطح آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین باشد زهکش آبخوان هستند (اصغری مقدم و همکاران ۱۳۹۲). در بعضی از موارد ممکن است رودخانه تغذیه کننده آبخوان، به دلایل متعددی همچون عبور از سازندهای گچی و نمکی و عبور از مناطق با خاک‌های آلوده دارای کیفیت نامناسبی بوده و در طی زمان منجر به تخریب کیفی آبخوان گردد. از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیق زارعی و همکاران (Zarei et al. 2014) بر روی دشت جناح (Janah) واقع در نواحی خشک جنوب ایران اشاره نمود، در این مطالعه، به منظور بررسی دلایل شور شدن آبخوان دشت جناح و ارائه روش‌های هیدروژئولوژیکی جلوگیری از شور شدن آبخوان مورد نظر، از ۴۰ چاه و قنات و چشمه نمونه‌برداری شده و پس از آن توزیع شوری و منابع محتمل شوری آبخوان مورد بررسی قرار گرفته است. در نتایج حاصل از این تحقیق تیپ غالب آب‌های منطقه سولفاته و کلروره تشخیص داده شده است و همچنین از علل اصلی شورشدگی آبخوان دشت جناح، نفوذ آب رودخانه مهران به آبرفت منطقه، وجود گنبد‌های نمکی و چشمه ژئوترمال می‌باشند. در جنوب دشت شوری در نتیجه اختلاط با آب چشمه ژئوترمال، و در قسمت‌های دیگر نفوذ آب رودخانه مهران به آبخوان که منجر به شور شدن تعدادی از چاه‌های این بخش گردیده، می‌باشد. رودخانه مهران در این منطقه تحت تأثیر گنبد‌های نمکی و رخنمون‌هایی از سازند گچساران دارای آبی با کیفیت پایین می‌باشد.

به طور کلی عوامل بسیاری می‌تواند بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار باشد که میزان تأثیر این عوامل، با توجه به شرایط آبخوان متفاوت می‌باشد. غلظت یون‌های اصلی در آب‌های زیرزمینی از طریق فرایندهای متفاوتی مانند انحلال، تبادل یونی و اختلاط آب‌ها می‌تواند تغییر کند. در برخی شرایط نیز فعالیت‌های انسانی همچون کشاورزی، صنعت، تغییر در کاربری اراضی، برداشت‌های بی‌رویه و غیراصولی موجب تغییراتی در کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌گردد.

۲-۲- عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی

عوامل بسیار زیادی بر عمق سطح آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار هستند که از این عوامل می‌توان به خشکسالی‌های پی در پی، کاهش بارندگی سالانه، کاهش نفوذ آب‌های جوی، کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی، و برداشتهای بی‌رویه از منابع آب اشاره کرد که در بیشتر موارد اثر همزمان این عوامل کمیت منابع آب یک منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۲-۲-۱- تخلیه و برداشت از آب‌های زیرزمینی

برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان سبب افت سطح منابع آب زیرزمینی و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی مانند کاهش کیفیت آب شده است.

در تحقیقی تحت عنوان مدیریت و توسعه منابع آبی در هند، کاهش پیوسته سطح آب زیرزمینی، خشک شدن چاه‌ها و تخریب کیفیت آب را نتیجه بهره‌برداری بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در زمینه‌های کشاورزی و صنعت می‌دانند (Krishna *et al.* 2000). از فعالیت‌های انسانی که موجب افت سطح آبخوان و سپس تخریب کیفیت آن می‌گردد، می‌توان پمپاژهای سنگین و استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در نزدیکی رودخانه را ذکر نمود که باعث نفوذ آب شور رودخانه به آبخوان شده و مواد جامد محلول را افزایش می‌دهد. در نتیجه کاهش پمپاژ و برداشت از آب‌های زیرزمینی، موجب کاهش نفوذ آب شور رودخانه به آبخوان می‌گردد و باعث بهبود کیفیت آبخوان می‌گردد (Sharafi *et al.* 2002). در چند سال اخیر طی برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها، افزایش افت و کاهش کیفیت آب زیرزمینی به یکی از مشکلات جدی در سرتاسر جهان تبدیل شده است. این موضوع بر اهمیت مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی می‌افزاید. مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی بدون داشتن دانش کافی از توزیع و گسترش آب‌های زیرزمینی شور و شیرین و تعیین فرآیندهای تأثیرگذار در سیر تکاملی آن امکان‌پذیر نمی‌باشد (Glynn and Plummer 2005).

مطالعات انجام شده بر روی تغییرات کمی و کیفی آبخوان منطقه مورسیا (Murcia)، واقع در جنوب شرق اسپانیا، نشان داد که سطح ایستابی این آبخوان دچار افت سالانه قابل ملاحظه‌ای در حدود ۵ متر شده است. بهره‌برداری‌های بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی علت اصلی این افت می‌باشد. کاهش سطح

ایستایی در آبخوان مورسیا منجر به کاهش ذخیره آبخوان، خشک شدن چاه‌ها، چشمه‌ها و یا کاهش دبی آن‌ها، افزایش عمق آب و پر هزینه شدن پمپاژ و در نهایت تغییر در تیپ آب زیرزمینی از سدیم-بی‌کربنات به سدیم-کلرید شده است (Rodriguez 2012).

با توجه به بررسی‌هایی که بر روی سطح آب زیرزمینی در یک دوره طولانی مدت (از ۱۹۳۰ تا ۲۰۱۰) در تگزاس صورت گرفته، سطح ایستایی در این منطقه دچار افت قابل ملاحظه‌ای شده است. در این تحقیق به منظور بررسی بلند مدت روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی و شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات به وجود آمده، از روش‌های آماری، مدلسازی و مشاهدات بدست آمده از سطح آب در مناطق مختلف تگزاس استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین سطح آب زیرزمینی از ۱۴ متر در سال ۱۹۳۰، به ۳۶ متر در سال ۲۰۰۰ کاهش یافته است. به گونه‌ای که کاهش سطح آب در سراسر تگزاس اغلب روندی لگاریتمی داشته و بسیاری از مناطق دچار کم‌آبی شده‌اند. در نهایت علل اصلی افت سطح ایستایی در منطقه، برداشت‌های بی‌رویه، الگوی غلط مصرف آب، توسعه در شهرنشینی، کشاورزی آبی، زمین‌شناسی و خواص خاک عنوان شد. استفاده از روش‌های آماری قوی همچون رگرسیون در این تحقیق نشان داد که می‌توان جزئیات بیشتری را در رابطه با روند تغییرات سطح آب و عوامل مرتبط با آن به ما نشان دهد (Chaudhuri and Ale 2014).

اژدری و کاظمی (Ajdary and Kazemi 2014) در تحقیق خود به بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آبخوان دشت شاهرود پرداخته و از داده‌های سطح آب ۲۹ پیزومتر و همچنین داده‌های شیمی آب آنالیز شده برای ۳۱ حلقه چاه انتخایی در دشت استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی منطقه و همچنین کاهش بارندگی، موجب کاهش تراز آب زیرزمینی در یک دوره ۱۶ ساله (۱۹۹۳ تا ۲۰۰۹) و افت ۱۱/۴ متری شده است. که این مقدار افت معادل کاهش ۲۱۶ میلیون متر مکعب آب از ذخیره آبخوان می‌باشد. همچنین در این تحقیق مشخص شد که شوری آب زیرزمینی در سال‌های مختلف متفاوت بوده ولی در طول زمان دارای یک روند افزایشی می‌باشد، به طوری که در این دوره ۱۶ ساله هدایت الکتریکی ۲۴ درصد افزایش یافته است. در نتیجه تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین عامل خروجی آب بوده که شامل پمپاژ چاه و تخلیه به وسیله

قنات و چشمه می‌باشد، این امر موجب کاهش ذخیره منابع آب شده و در نتیجه تخریب کیفی آبخوان‌های تحت تأثیر را در پی خواهد داشت.

۲-۲-۲- اقلیم

از عوامل مهم تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی، اقلیم منطقه می‌باشد. تغییرات آب و هوایی می‌تواند اثرات زیادی بر چرخه آب از طریق بارش، نفوذ، تبخیر و تعرق، رواناب و رطوبت خاک داشته باشد (Ranjani et al. 2006). بارندگی از اساسی‌ترین پارامترهای هواشناسی بوده و بیشترین نقش را در شکل‌گیری منابع آب هر منطقه دارد. به طور کلی میزان بارندگی و تغییرات آن یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده سطح آب زیرزمینی می‌باشد به طوری که با افزایش میزان بارش حجم آب بیشتری وارد آبخوان شده و در نتیجه میزان تغذیه افزایش می‌یابد، که این عامل اثر خود را به صورت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد و برعکس با کاهش میزان بارندگی حجم تغذیه به آبخوان کمتر شده و موجب پایین رفتن سطح آبخوان می‌گردد، آب‌های زیرزمینی تنها منبع آب در مناطق خشک می‌باشند، در نتیجه کمیت و کیفیت آب تغذیه‌ای در این مناطق به طور اساسی به مقدار پمپاژ و برداشت از این آب‌ها بستگی دارد. علاوه بر این منشاء طبیعی تغذیه سفره در مناطق خشک محدود به نفوذ در طی سیلاب می‌باشد که معمولاً نامنظم بوده و مقدار کمی هم دارد (Oren et al. 2004). مسلمی (۱۳۹۰) در تحقیقی به ارزیابی بارندگی و نقش آن در تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت بسطام پرداخت، در این تحقیق بر اساس افت سطح آب زیرزمینی، دشت به سه قسمت افت زیاد، افت کم و افت متوسط تقسیم گردید، بیشترین مقدار افت مربوط به قسمت‌هایی از دشت بود که بیشترین تراکم چاه‌های بهره‌برداری در آن محدوده قرار گرفتند و کمترین مقدار افت مربوط به قسمتی از دشت در نظر گرفته شد که در آن قسمت آبخوان آبرفتی بوده و توسط رودخانه اصلی تغذیه می‌گردد، همچنین تعداد چاه‌های بهره‌برداری و پمپاژ در این محدوده ناچیز می‌باشد.

۲-۲-۳- خشکسالی

پدیده خشکسالی در طول دوره وقوع خود، منابع آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد به طوری که طی آن مقدار بارش‌ها در منطقه مورد نظر از میانگین درازمدت آن برای منطقه کمتر است. به عبارتی خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که ممکن است در هر شرایط اقلیمی به وجود آید. بنابراین پدیده خشکسالی ممکن است علاوه بر مناطق خشک و کم بارش، در مناطق مرطوب نیز رخ بدهد. همچنین خشکسالی یک پدیده مطلق نبوده و نشان‌دهنده کمبود رطوبت نسبی می‌باشد، در این صورت افزایش تقاضای آب نیز می‌تواند خشکسالی ایجاد کند حتی در شرایطی که بارندگی به طور طبیعی بوده باشد. از مهم‌ترین علائم این پدیده می‌توان به کاهش جریان‌ات سطحی، افت سطح آب زیرزمینی و کاهش رطوبت خاک اشاره نمود (علیزاده ۱۳۹۰).

طی بررسی عوامل مؤثر در تغییر نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت کههریز، میزان بارندگی، تبخیر از سطح آب زیرزمینی و میزان نفوذ آب از رودخانه‌ها توسط اصغری مقدم و همکاران (۱۳۹۲) مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج نشان‌دهنده وقوع پدیده خشکسالی بوده است. همچنین با بررسی میزان تخلیه از آب‌های زیرزمینی دشت‌های محدوده مطالعاتی مشخص گردید که میزان تخلیه از آبخوان دشت کههریز بیش از مقدار مجاز بوده و این امر در کنار سایر عوامل هواشناسی و زمین‌ساختی باعث کاهش شدید سطح آب زیرزمینی و پس از آن کاهش کیفیت آب و وقوع پدیده تهاجم شوری از سوی دریاچه به این مناطق گردیده است.

نیومن و گوس (Newman and Goss 2000) حوضه آبریز مورای-دارلینگ (Moorai-darling) در اسپانیا را از لحاظ ژئومورفولوژیکی و اقلیمی مستعد تجمع املاح نمک‌ها دانسته و وجود اراضی مسطح، بارش کم و تبخیر زیاد را از عوامل مؤثر در شوری آب‌های زیرزمینی منطقه می‌دانند، همچنین به عقیده ایشان، در زمان کاربری اراضی و توسعه آبیاری در این اراضی، تخلیه آب‌های زیرزمینی صورت گرفته، که خود یکی دیگر از عوامل شوری می‌باشد. ترکیب شیمیایی اجزاء محلول در آب متأثر از واکنش‌های مختلفی است که در تقابل بین آب و مواد آبخوان اتفاق می‌افتد. فعالیت‌های بشر همچون، تغییر کاربری

اراضی، استفاده نامناسب از منابع آب و تغییر در چرخه هیدرولوژی می‌تواند باعث تغییرات آب و هوایی محلی شود (Collischonn *et al.* 2001).

پاندا و همکاران (Panda *et al.* 2007) در پژوهشی برای شناختن و یافتن روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه (ارسیا) Orissa هند و تأثیر خشکسالی و دخالت بشر از روش‌های آماری نافرانسجی من- کندال استفاده کردند. نتایج آنان افت چند متری سطح آب در این منطقه را نشان داد. همچنین با بررسی‌های صورت گرفته علل اصلی این افت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت‌های بشر در این منطقه بوده و تغذیه در سال‌های مرطوب برای جبران این مقدار افت کافی نبوده است.

پیترز و همکاران (Peters *et al.* 2008)، به منظور بررسی چگونگی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، ۱۰ زنجیره‌ی زمانی ۱۰۰۰ ساله را از تغذیه و تخلیه‌ی آب‌های زیرزمینی را با استفاده از روش نمونه‌گیری نزدیکترین همسایه تولید کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که طول دوره خشکسالی با استفاده از روش مقادیر حدی با دوره‌ی بازگشت طولانی بر تخلیه بیشتر از تغذیه اثر دارد. آن‌ها در تحقیق خود نشان دادند کمبود بارندگی در سراسر سیستم هیدرولوژیکی باعث خشکسالی می‌شود. همچنین خشکسالی‌های هواشناسی باعث کاهش سطح آب زیرزمینی شده و تعداد خشکسالی‌ها علت جابجایی توزیع خشکسالی‌ها می‌باشد.

کلاو و همکاران (Klove *et al.* 2013) در مقاله‌ای تحت عنوان تأثیرات تغییر آب و هوا بر آب‌های زیرزمینی و اکوسیستم‌های وابسته، عنوان کردند که؛ در دهه‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌های متعدد استفاده از آب‌های زیرزمینی بیشتر شده و موجب تغییرات عمده و بزرگ در کیفیت و کمیت آبخوان گردیده است. تغییرات آب و هوایی به صورت نوسانات سالانه در سطح آب‌های زیرزمینی خود را نشان می‌دهد، که این نوسانات به طور منظم و یا نامنظم می‌باشند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که الگوی آب زیرزمینی تحت تأثیر فرایندهای هواشناسی بوده و برای شناخت این تأثیرات به مطالعاتی در مقیاس زمانی بلند مدت حدود ۷۰ تا ۱۰۰ سال نیاز می‌باشد.

زارعی و همکاران (Zarei et al. 2013) طی مطالعات خود در منطقه کنارسیاه دریافتند که محدوده مورد مطالعه بر روی یک نوار خشک و نیمه‌خشک با بارش سالیانه کم، و تبخیر زیاد از سطح آب‌های کم عمق قرار گرفته است که این مسئله عاملی برای کاهش سطح ایستابی و افزایش شوری آب‌های سطحی و زیرزمینی این منطقه محسوب می‌شود. آب‌های زیرزمینی شور و بی‌کیفیت از مشکلات عمده در کشورهای با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد.

با توجه به مطالعات فوق، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخریب کیفیت و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی برداشت بی‌رویه از منابع آبی، اثر سازندهای زمین‌شناسی، تبخیر و تعرق از سطح آبخوان و کاهش بارندگی می‌باشد. علاوه بر موارد ذکر شده، عوامل انسانی و طبیعی بسیار زیادی در چرخه آب دخالت داشته که در اکثر موارد اثر همزمان این پارامترها موجب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و همچنین تخریب کیفیت آن می‌گردد. متأسفانه در سال‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت، گسترش کشاورزی، توسعه مناطق شهری، افزایش روزافزون شهرک‌های صنعتی و همچنین دخالت عوامل طبیعی همچون کاهش بارندگی‌ها و خشکسالی‌های پی در پی، برداشت از منابع آب زیرزمینی افزایش چشمگیری یافته است. این روند به گونه‌ای است که میزان تغذیه در شرایط طبیعی پاسخگوی میزان تخلیه و برداشت از آبخوان‌ها نمی‌باشد. ادامه پیدا کردن این روند در آینده موجب کاهش مکرر سطح ایستابی در آبخوان‌ها و منفی شدن بیلان آب‌های زیرزمینی شده و در نتیجه شاهد فرونشست در دشت‌ها، نفوذ آب شور به آبخوان‌های شیرین و مسائلی از این قبیل خواهیم بود. در چنین مواردی باید مدیریتی جامع و یکپارچه برای جلوگیری از تخریب کامل آبخوان‌ها انجام گیرد. از آنجایی که در بیشتر مناطق برداشت از آب زیرزمینی باعث افت آبخوان و افزایش شوری گردیده است بایستی برای کنترل سطح ایستابی، برداشت از آب‌های زیرزمینی را کاهش داده و یا مقدار برداشت برابر با مقدار تغذیه سفره باشد. همچنین لازم است پایش کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به طور مداوم و جدی در تمامی مناطق به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی بیشتری به منابع آب زیرزمینی دارند انجام شود.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل، روند انجام کار برای بررسی و ارزیابی تخریب کیفی آبخوان اردستان به طور مختصر ارائه می‌گردد. به‌طور کلی فعالیت‌های صورت گرفته برای انجام این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه مطالعاتی اردستان
- تهیه نقشه زمین‌شناسی پایه، با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان، انارک، لطیف و شهراب
- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان اردستان
- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان اردستان

۳-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آبخوان اردستان

جهت بررسی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، اولین گام جمع‌آوری اطلاعات موجود در رابطه با آن می‌باشد. این آمار و اطلاعات شامل سطح آب و اندازه‌گیری‌های کیفی است که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان از پیزومترها و چاه‌های آب موجود در دشت گردآوری شده‌اند. داده‌های کیفی دشت اردستان از سالهای آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳ و داده‌های سطح آب مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳ می‌باشند. علاوه بر این اطلاعات دیگری همچون بیلان آب و ضرایب ذخیره نیز از این سازمان جمع‌آوری شد، که آن‌ها نیز در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین بسیاری از اطلاعات بدست آمده از شرکت آب منطقه‌ای به صورت دستی برداشت و سپس جهت انجام محاسبات بعدی وارد نرم‌افزار آماری سیگما پلات (Sigma plot) گردید. برای تعیین مشخصات اقلیم

منطقه که شامل مقدار بارندگی سالانه، متوسط درجه حرارت و تبخیر می‌باشد، از آمار ایستگاه هواشناسی موجود که توسط اداره هواشناسی شهرستان اردستان اندازه گیری شده بود، استفاده گردید.

۳-۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه مورد مطالعه

یکی از مهم‌ترین اطلاعات موجود برای هر منطقه به لحاظ مطالعات زمین‌شناسی، وجود نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه‌های توپوگرافی مربوط به آن منطقه می‌باشد. محدوده دشت اردستان در نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان، انارک، لطیف و شهرباب قرار گرفته است، برای ترسیم نقشه پایه پس از موزائیک کردن چهار نقشه ذکر شده، واحدهای لیتولوژی و ساختاری محدوده مورد مطالعه در محیط نرم افزار Arc GIS تعیین و در نهایت نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه گردید. همچنین به منظور دقت بیشتر در پردازش داده‌ها، تصاویر ماهواره‌ای لندست و نرم‌افزار Google Earth نیز با نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تطبیق داده شد.

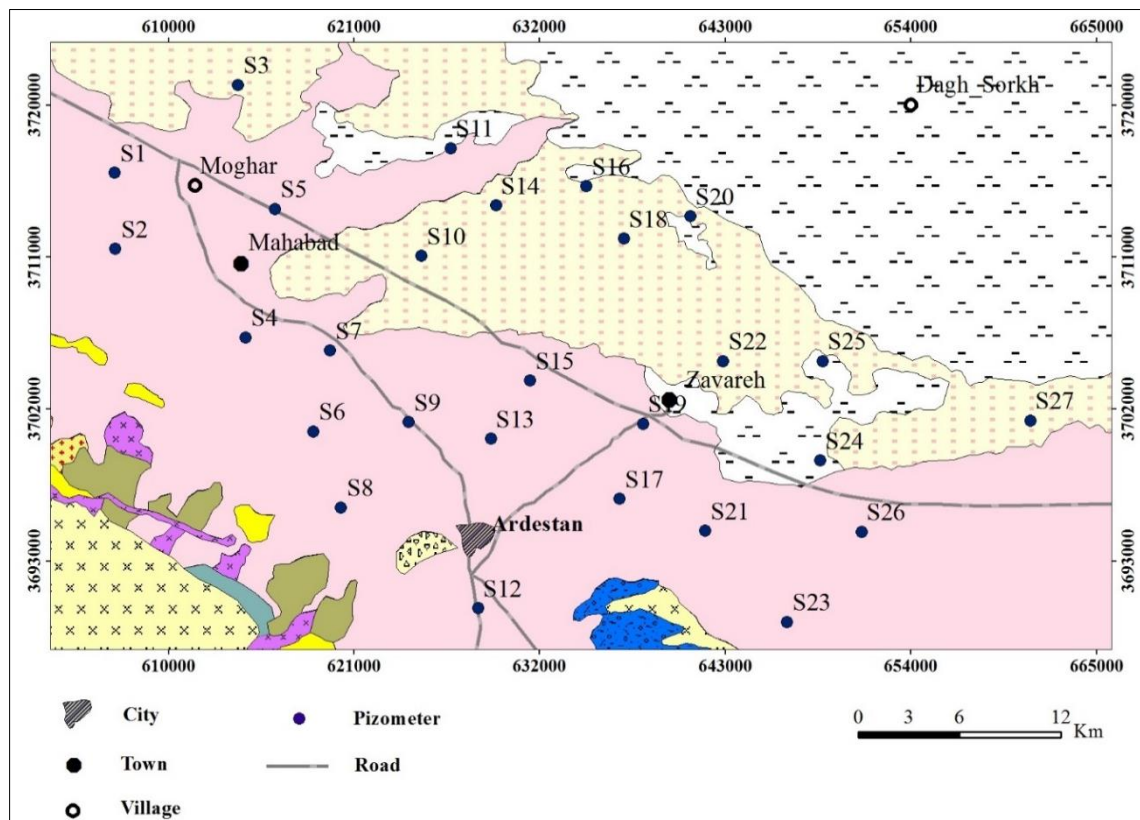
۳-۳- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان اردستان

جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی دشت اردستان از داده‌های آماری ۲۸ ساله سطح آب زیرزمینی (۱۳۹۳-۱۳۶۵) در ۲۷ پیزومتر که دارای کامل‌ترین آمار و بهترین پراکندگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند، استفاده گردید. نمونه‌برداری از پیزومترهای یاد شده به صورت ماهانه انجام گرفته است. موقعیت پیزومترهای موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

الف- بررسی تغییرات درازمدت سطح آب زیرزمینی با استفاده از هیدروگراف معرف

هیدروگراف معرف یا واحد دشت، نشان‌دهنده میانگین کل دشت بوده و تغییرات را به صورت کلی نشان می‌دهد. در این مطالعه نیز، به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد نظر هیدروگراف واحد برای دوره مطالعاتی ۲۸ ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۵) با استفاده از آمار مربوط به ۲۷ پیزومتر انتخابی موجود در دشت ارائه گردیده است (شکل ۳-۱). اندازه‌گیری در پیزومترهای مورد نظر به صورت ماهیانه انجام گرفته است. لازم به ذکر است که ماه بهمن به دلیل کمترین نوسانات در سطح

آب زیرزمینی منطقه مبنای مطالعات انجام شده در نظر گرفته شد. 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.



شکل ۳-۱- موقعیت پیزومترهای انتخابی در دشت اردستان

ب- ارزیابی نقشه هم‌پتانسیل منطقه

به منظور ارزیابی‌های هیدرولوژیکی آبخوان، مقایسه سریع و تفسیرهای دقیق‌تر تغییرات سطح آب، جهت عمومی جریان آب زیرزمینی و بررسی مناطق تخلیه و تغذیه، نقشه‌های هم‌پتانسیل و نقشه عمق سطح آب زیرزمینی منطقه نیز برای این دوره مطالعاتی به صورت دستی ترسیم و سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS رقومی شده و تهیه گردید. همچنین برای بررسی تغییرات سطح آب در

دراز مدت، ابتدا نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۶۵ و سپس نقشه هم‌پتانسیل مربوط به سال ۱۳۹۳ تهیه و با یکدیگر مقایسه شد.

ج- بررسی وضعیت افت سطح آب زیرزمینی

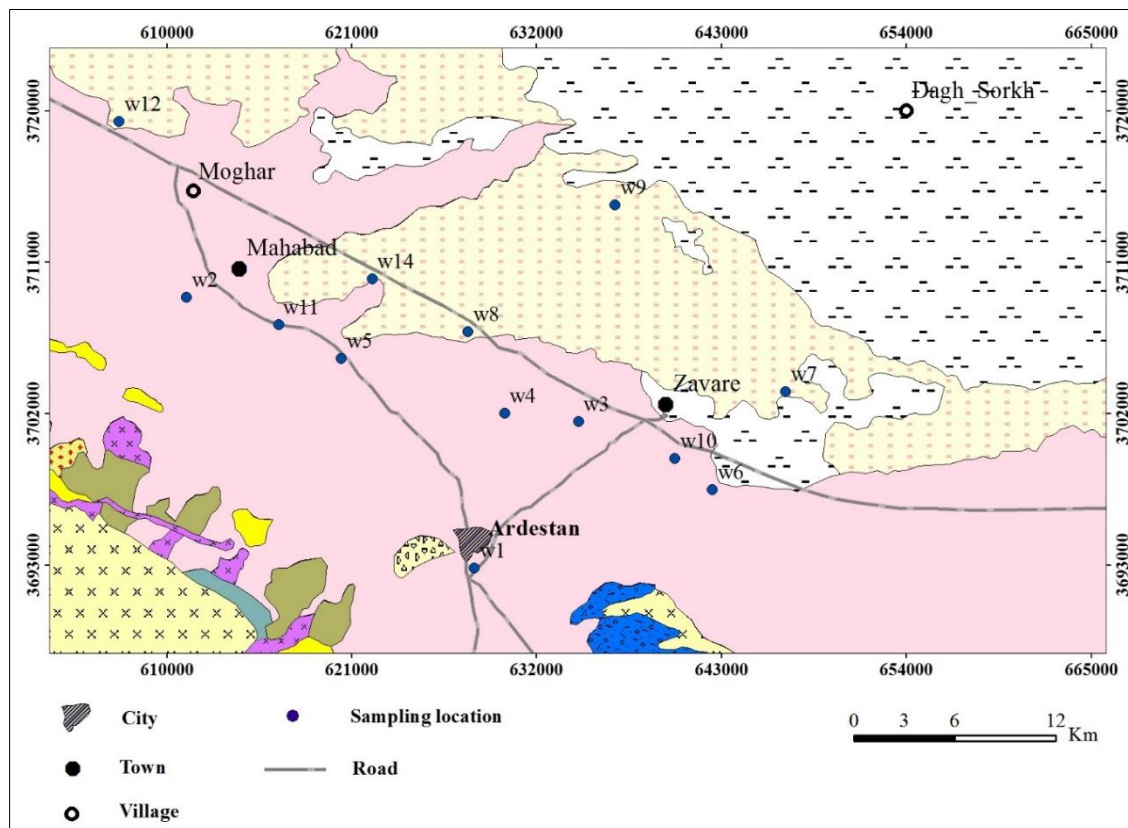
جهت ارزیابی دراز مدت افت آبخوان، میزان افت سطح آب زیرزمینی طی دوره مطالعاتی ۲۸ ساله برای پیرومترهای انتخابی موجود در دشت محاسبه و هیدروگراف معرف برای هر پیرومتر به طور جداگانه ترسیم گردید. پس از انجام این کار با استفاده از نتایج بدست آمده و دسته‌بندی هیدروگراف‌های مذکور، منطقه مورد مطالعه بر اساس افت به سه زون (افت ناچیز، افت متوسط و افت زیاد) تقسیم شد. پس از آن جهت سهولت در مقایسه، هیدروگراف معرف مربوط به هر یک از زون‌های یاد شده در نرم‌افزارهای Excel و Sigma Plot ترسیم و بر روی محور مختصات به نمایش گذارده شده است.

د- ترسیم نقشه عمق سطح آب‌های زیرزمینی منطقه

به منظور بررسی تغییرات عمق و سطح دسترسی به آب‌های زیرزمینی نقشه‌های عمق آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه رسم شده و جهت مقایسه این تغییرات در دوره آماری ۲۸ ساله، نقشه عمق مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ در نرم افزار Arc GIS به صورت خطوط هم‌عمق تهیه و ارائه گردید.

۳-۴- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

از دیگر بخش‌های مهم در مطالعه آبخوان، بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی می‌باشد. بدین جهت از داده‌های ۱۹ ساله هیدروژئوشیمیایی (۱۳۷۴-۱۳۹۳) دشت اردستان، شامل pH، هدایت الکتریکی (EC) و غلظت آنیون و کاتیون‌های اصلی (سدیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات، منیزیم و کلسیم)، در ۱۴ چاه تعیین شده توسط اداره آب استان اصفهان در این دشت استفاده گردید (شکل ۳-۲). به منظور تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی و بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های مذکور، موارد زیر انجام شده است:



شکل ۳-۲- موقعیت نقاط نمونه برداری در آبخوان اردستان

الف- ترسیم نقشه هدایت الکتریکی

برای مقایسه و تفسیر سریع تغییرات کیفی در منابع آب می توان از نقشه های مختلف کیفی از قبیل نقشه های هدایت الکتریکی استفاده نمود. این پارامتر معمولاً در محل نمونه برداری اندازه گیری می شود. واحد آن نیز میکروموس بر سانتی متر است. نقشه های هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه پس از تقسیم دوره مطالعاتی به دو دهه ابتدایی و انتهایی برای سال های (۱۳۷۴ و ۱۳۹۳) ابتدا به صورت دستی رسم و سپس با استفاده از نرم افزار Arc GIS رقومی شده و با یکدیگر مقایسه گردید.

ب- ترسیم نقشه های غلظت کاتیون ها و آنیون های اصلی

در ادامه برای تفسیر راحت تر مقادیر آنیون ها و کاتیون ها از قبیل سدیم، کلسیم، کلر، بی کربنات و سولفات، و تغییرات مکانی آن ها از ابتدا تا انتهای دشت اقدام به تهیه نقشه این یون ها گردید. بدین

منظور نمونه‌برداری از چاه‌های انتخابی در بهمن ماه ۱۳۹۳ انجام و توسط شرکت آب منطقه‌ای آنالیز گردیدند. رسم نقشه‌های مذکور با استفاده از نتایج بدست آمده برای هر کدام از این پارامترها در ۱۴ چاه انتخابی موجود دشت اردستان طی دوره مورد نظر انجام گردید. بدین صورت که مقادیر محاسبه شده بر روی نقشه منطقه پلات شده و نمودارها به صورت دستی رسم شدند. پس از آن همانند دیگر نقشه‌ها وارد نرم‌افزار Arc GIS گشته و رسم گردیدند.

ج- تهیه نمودارهای کیفی

برای تعیین نوع و تیپ آب‌ها، مشخص نمودن آنیون و کاتیون غالب در آن‌ها، درک رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و بررسی کیفیت آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت نمودارهای مختلفی همچون استیف، شولر، ویلکاکس و پایپر قابل استفاده می‌باشد که برای ترسیم آن‌ها در آبخوان دشت اردستان از نرم‌افزارهای AQQA، PHREEQC، Rockworks و Chemistry استفاده شد.

د- رسم نمودارهای ترکیبی و بررسی شاخص‌های اشباع کانی‌های مهم

به‌طور کلی برای درک بهتر واکنش‌ها و تبادلات یونی صورت گرفته در آبخوان، و یا به عبارتی تعیین فرایندهای تأثیرگذار بر شیمی آب‌های زیرزمینی از نمودارهای ترکیبی همچون نمودار مجموع کلسیم و منیزیم در برابر مجموع سولفات و بی‌کربنات، نمودار نسبت کلر به سدیم در برابر کل مواد جامد محلول و یا نمودار مقدار سدیم در برابر مقدار کلر استفاده می‌گردد. جهت رسم این نمودارها برای نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار آماری Sigmaplot استفاده شد. علاوه بر نمودارهای مذکور، شاخص اشباع کانی‌های مهم موجود در منطقه نیز محاسبه شده است. در این مطالعه نیز برای اندازه‌گیری شاخص اشباع کانی‌های هالیت، ژیپس، دولومیت و کلسیت از PHREEQC نرم‌افزار استفاده شد.

فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت اردستان

مدیریت منابع آب به ویژه آب‌های زیرزمینی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت خاصی برخوردار است. عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در بیشتر مناطق کشور از جمله دشت اردستان در استان اصفهان شده است. در این فصل با استفاده از اطلاعات آماری سازمان آب منطقه‌ای اصفهان و امور آب شهرستان اردستان طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۶۵، روند تغییرات کمی و طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳ روند تغییرات کیفی آبخوان بررسی و نمودارها و نقشه‌های مربوطه ترسیم و تفسیر گردیده‌اند. در بخش اول روند تغییرات سطح آبخوان بررسی و با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه (Sigma plot و Arc GIS 9.3) نمودارهای افت، نقشه‌های هم‌پتانسیل، نقشه‌های عمق سطح آب زیرزمینی و هیدروگراف معرف آبخوان ترسیم و در نهایت زون‌بندی دشت بر اساس تغییرات افت در طی سال‌های آماری موجود صورت گرفت. در بخش دوم، پارامترهای شیمیایی، روند تغییرات هدایت الکتریکی و تغییرات کیفیت آبخوان جهت مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت بررسی شدند.

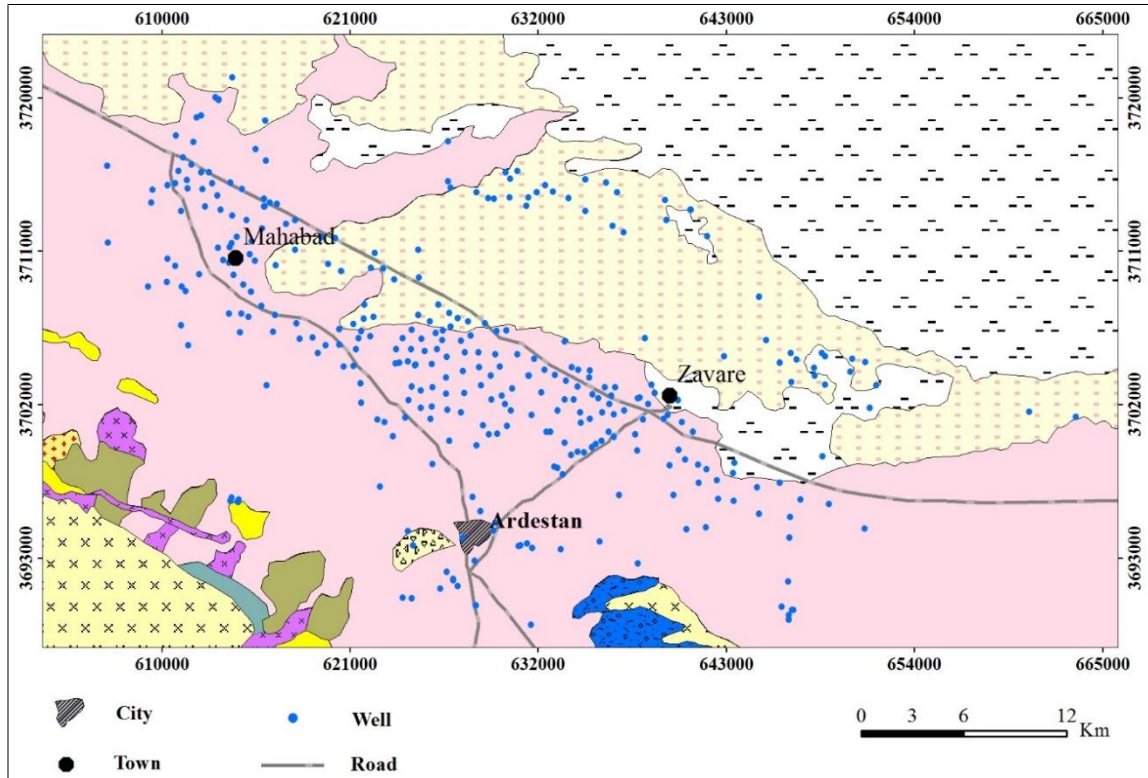
۴-۱- معرفی دشت اردستان

آبخوان موجود در شهرستان اردستان با وجود بارندگی‌های بسیار کم و قرارگیری منطقه در نوار خشک و نیمه‌خشک کشور تشکیل شده و منبع آب مناسبی جهت مصارف مختلف به شمار می‌رود. از عوامل مهم افزایش ذخیره این آبخوان می‌توان به وجود یک رشته گسل گرابنی در ارتفاعات

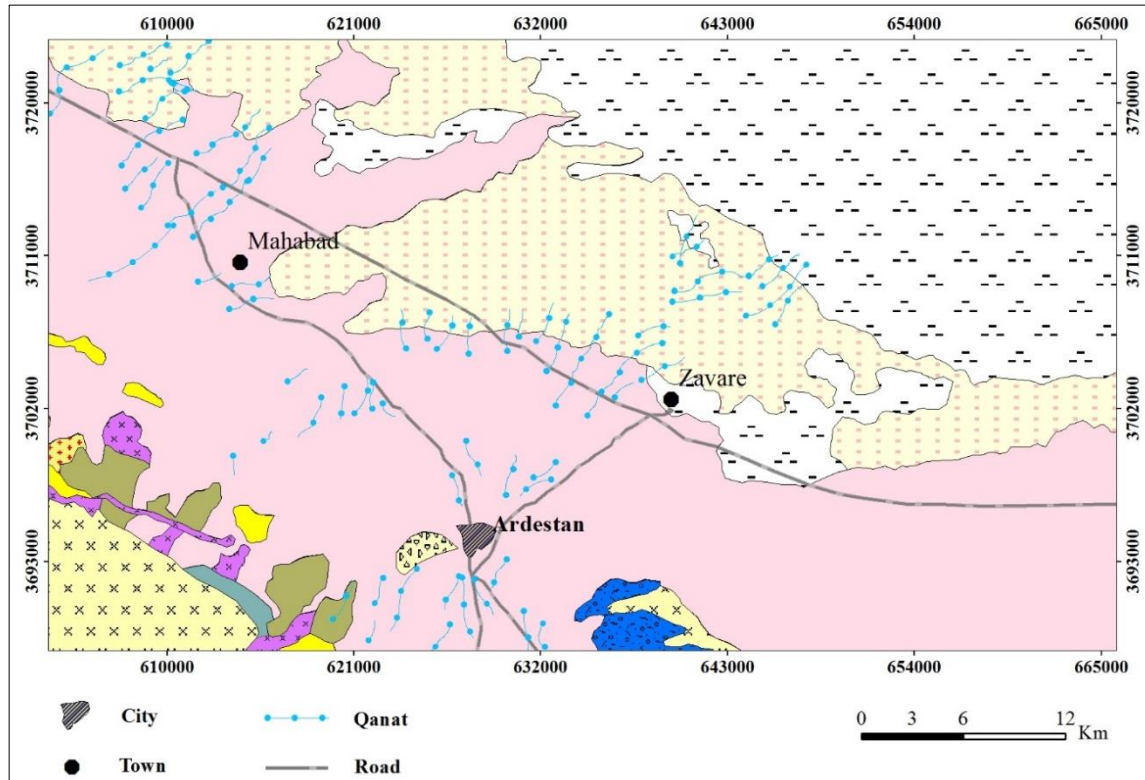
جنوبی دشت اردستان، اشاره نمود. آبخوان مورد نظر عمدتاً از سمت ارتفاعات جنوبی و به مقدار کمتری از سمت ارتفاعات جنوب غربی واقع در اطراف دشت تغذیه می‌شود. در بخش‌های جنوبی دشت وجود ارتفاعات باعث افزایش شیب شده و با نزدیک شدن به مرکز و شمال دشت مقدار شیب کاهش یافته است. بنابراین روند کلی شیب در دشت اردستان جنوبی شمالی بوده که این امر با تغذیه و تخلیه آبخوان همخوانی دارد. وسعت آبخوان اردستان بالغ بر ۱۳۶۹ کیلومتر مربع است که در یک گستره آبرفتی با مساحت حدود ۴۳۷۵ کیلومتر مربع قرار گرفته است. سنگ بستر آبخوان در نقاط مختلف متفاوت بوده و عموماً از جنس رسوبات تبخیری دوران سوم می‌باشد. عبور آب و تماس با سنگ بستر مارنی نیز عاملی جهت شوری آب زیرزمینی آبخوان‌های آبرفتی است. ضخامت آبرفت نیز در مناطق مختلف متفاوت و حداکثر به حدود ۳۰۰ متر (بر اساس نتایج حاصل از ژئوتکنیک انجام شده در بخشی از محدوده آبخوان) بالغ می‌گردد. بر اساس مطالعات هیدروژئولوژیکی انجام گرفته در این دشت تعداد ۳۰ چاه پیزومتری، ۹۲ رشته قنات و ۲۹۷ حلقه چاه مجاز و غیرمجاز وجود دارد، که از بین این تعداد ۱۴ حلقه چاه بهره‌برداری، ۲۷ چاه پیزومتری و ۴ رشته قنات توسط سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان جهت نمونه‌برداری و مطالعه انتخاب گردیده است. علاوه بر این تعدادی از پیزومترها از محدوده مطالعاتی خارج شده‌اند (دفتر مطالعات منابع آب استان اصفهان ۱۳۹۳). اندازه‌گیری سطح آب در شبکه‌های پیزومتری در این محدوده اولین بار در سال ۱۳۶۳ شروع شده و تاکنون ادامه دارد. بنابراین، شبکه پیزومتری آبخوان اردستان جمعاً به مدت ۳۰ سال فعال می‌باشد. مختصات جغرافیائی چاه‌های پیزومتری مورد مطالعه در دشت اردستان در جدول (۴-۱) ارائه شده است. شکل‌های (۴-۱ و ۴-۲) موقعیت جغرافیایی تمامی چاه‌ها و قنات‌های موجود در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- موقعیت چاه‌های پیزومتری در دشت اردستان

ردیف	محل پیزومتر	UTMX	UTMY
۱	موغار ۱	۶۰۶۷۹۳	۳۷۱۶۰۰۰
۲	پیزومتر موغار	۶۰۶۸۵۰	۳۷۱۱۵۰۶
۳	جعفر آباد موغار-تخریب	۶۱۴۱۰۵	۳۷۲۱۲۰۹
۴	مه‌آباد	۶۱۴۵۷۲	۳۷۰۶۲۴۷
۵	مه‌آباد راه آهن	۶۱۶۳۰۵	۳۷۱۳۸۶۴
۶	کسوج ۱	۶۱۸۵۸۵	۳۷۰۰۶۸۹
۷	سه‌آمیة	۶۱۹۵۵۵	۳۷۰۵۴۸۶
۸	کسوج ۲	۶۲۰۲۱۶	۳۶۹۶۱۸۴
۹	چهار میل	۶۲۴۲۰۷	۳۷۰۱۲۴۱
۱۰	حسین آباد	۶۲۴۹۹۰	۳۷۱۱۰۸۵
۱۱	گرگی آباد	۶۲۶۷۱۰	۳۷۱۷۴۶۰
۱۲	کچو مثقال	۶۲۸۳۳۴	۳۶۹۰۲۲۰
۱۳	کچور ستاق	۶۲۹۱۰۱	۳۷۰۰۲۵۷
۱۴	چهارباغ پایین	۶۲۹۴۰۷	۳۷۱۴۰۶۵
۱۵	امیران	۶۳۱۴۳۷	۳۷۰۳۶۹۹
۱۶	علی آباد میرزا عبدالکریم	۶۳۴۷۵۷	۳۷۱۵۲۰۷
۱۷	سه کیلومتری تل آباد	۶۳۶۷۳۱	۳۶۹۶۷۰۱
۱۸	کریم آباد	۶۳۶۹۷۰	۳۷۱۲۱۰۶
۱۹	زواره	۶۳۸۱۲۶	۳۷۰۱۱۳۵
۲۰	دشتی آباد زواره	۶۴۰۹۰۷	۳۷۱۳۴۳۱
۲۱	دره باغ	۶۴۱۸۱۰	۳۶۹۴۸۰۱
۲۲	زواره تثبیت شن	۶۴۲۸۶۴	۳۷۰۴۸۶۴
۲۳	مزدآباد بالا	۶۴۶۶۵۱	۳۶۸۹۴۰۳
۲۴	مزد آباد پائین	۶۴۸۶۰۵	۳۶۹۸۹۷۰
۲۵	علی آباد منصوریه	۶۴۸۷۵۰	۳۷۰۴۸۵۵
۲۶	پنج کیلومتری جاده شهراب	۶۵۱۰۷۱	۳۶۹۴۷۳۷
۲۷	جهان آباد	۶۶۱۰۶۲	۳۷۰۱۳۳۲

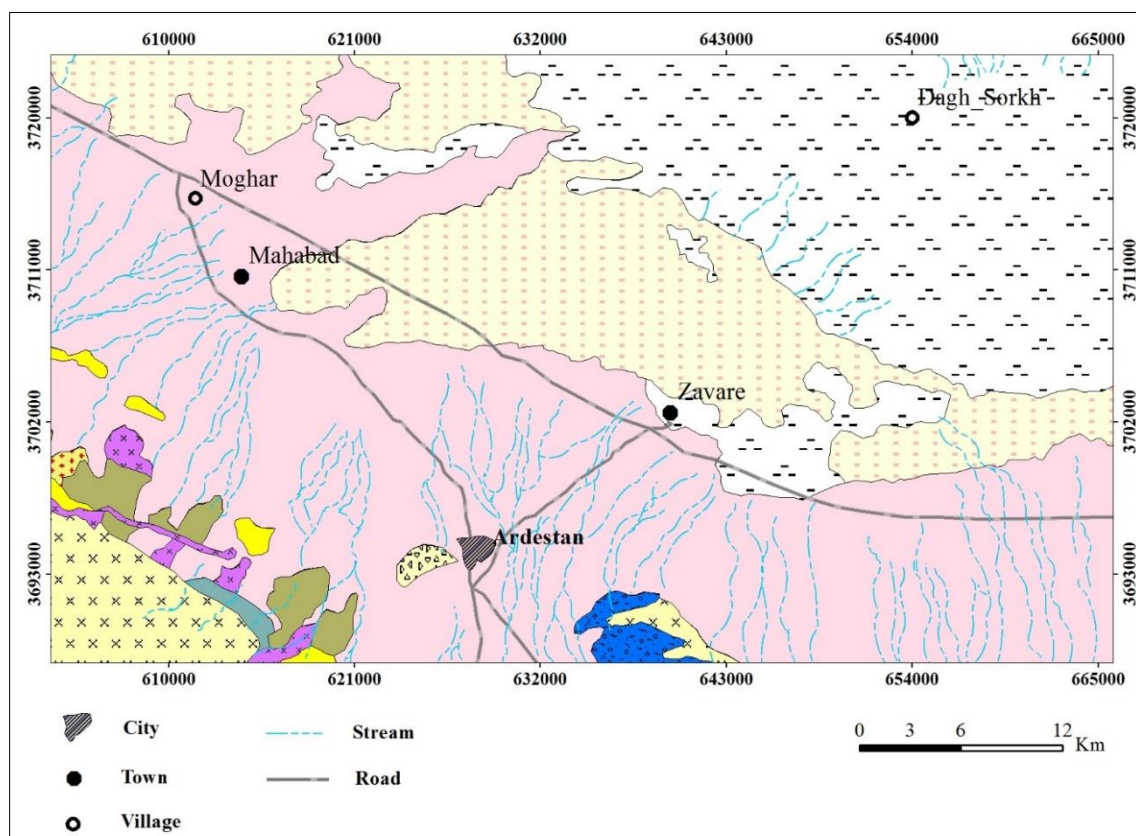


شکل ۴-۱- موقعیت چاه‌های بهره برداری در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۲- موقعیت قنات‌های موجود در محدوده مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه رودخانه دائمی وجود ندارد و تنها در هنگام بارندگی‌های شدید ممکن است آبراهه‌ها و مسیل‌های موجود در دشت فعال شوند. بنابراین، در دشت اردستان آب‌های سطحی نقشی در تأمین آب مصرفی نداشته و تقریباً تمام آب مصرفی منطقه از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. شکل (۳-۴) آبراهه‌های موجود در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴- آبراهه‌های موجود در دشت اردستان

از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخریب کیفیت آب زیرزمینی در دشت اردستان می‌توان به سازندهای تبخیری دوران سوم زمین‌شناسی اشاره نمود که عموماً در دامنه ارتفاعات واقع گردیده‌اند. سازندهای دوران سوم به دلیل داشتن املاح تبخیری می‌توانند یکی از عوامل مؤثر بر شوری آب‌های زیرزمینی منطقه باشند.

۴-۲- ارزیابی نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت اردستان

نقشه‌های هم‌پتانسیل سطح‌ایستابی به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، مناطق تغذیه

فصل چهارم: بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت اردستان

و تخلیه آبخوان، شیب هیدرولیکی و همچنین بررسی وضعیت تبادل آب زیرزمینی با منابع آب سطحی و ارتباط آبخوان با سازندهای زمین‌شناسی ترسیم می‌گردد. بررسی وضعیت آبخوان در دو محدوده زمانی مختلف با رسم این گونه نقشه‌ها امکان‌پذیر بوده و همچنین تشخیص وجود گسل‌ها و تغییرات تراوایی سفره آب زیرزمینی نیز از کاربردهای نقشه‌های هم‌پتانسیل می‌باشد. به همین منظور نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت اردستان در دو نوبت با استفاده از داده‌های بهمن ماه سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ تهیه و با یکدیگر مقایسه گردیده است. نقشه‌های مذکور به ترتیب در شکل‌های (۴-۴) و (۴-۵) قابل مشاهده می‌باشد. دو نوبت مذکور جهت بررسی وضعیت آبخوان در گذشته و وضعیت کنونی آن با توجه به افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و افزایش مقدار پمپاژ انتخاب گردید. داده‌های مورد استفاده برای نقشه‌های هم‌پتانسیل دشت اردستان در جدول (۴-۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که تراز آب زیرزمینی در هر یک از چاه‌های پیژومتری با استفاده از اختلاف بین عمق آب زیرزمینی در هر چاه و ارتفاع نقاط نشانه آن‌ها بدست آمده است.

جدول ۴-۲- ارتفاع سطح ایستابی دشت اردستان در بهمن ماه ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳

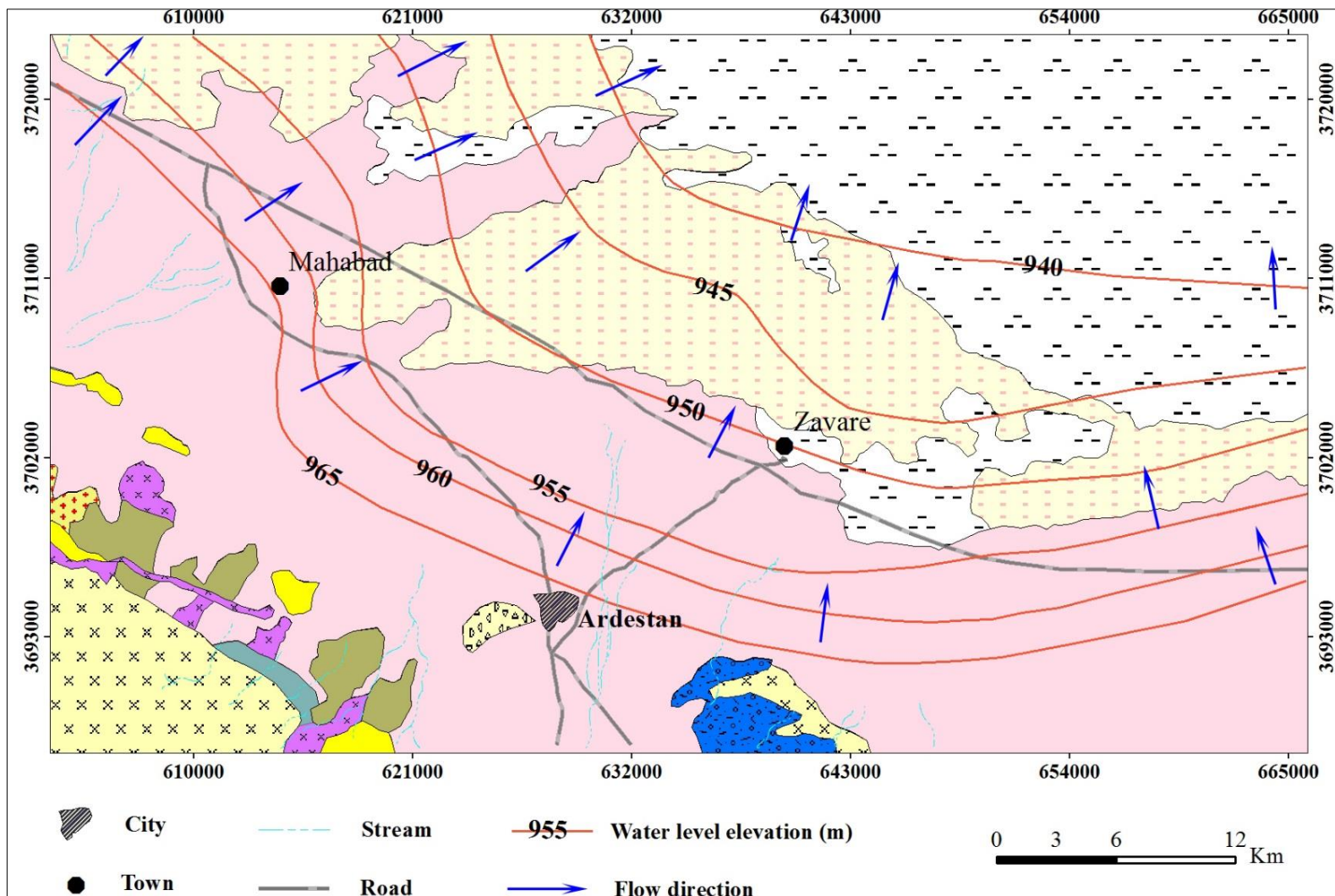
علامت ایستابی	نام محل	مختصات بر حسب UTM		ارتفاع سطح ایستابی از آب‌های آزاد (متر)	
		X	Y	بهمن ۱۳۶۵	بهمن ۱۳۹۳
S1	موغار ۱	۶۰۶۷۹۳	۳۷۱۶۰۰۰	۹۵۷/۶۴	۹۱۶/۳۰
S2	پیژومتر موغار	۶۰۶۸۵۰	۳۷۱۱۵۰۶	۹۶۴/۳۶	۹۱۸/۰۰
S3	جعفر آباد موغار	۶۱۴۱۰۵	۳۷۲۱۲۰۹	۹۵۲/۵۱	۹۴۴/۰۰
S4	مهاباد	۶۱۴۵۷۲	۳۷۰۶۲۴۷	۹۶۱/۹۹	۹۱۱/۱۰
S5	مهاباد راه آهن	۶۱۶۳۰۵	۳۷۱۳۸۶۴	۹۵۸/۵۲	۹۴۲/۶۰
S6	کسوج ۱	۶۱۸۵۸۵	۳۷۰۰۶۸۹	۱۰۹۰/۲۳	۱۰۸۸/۳۰
S7	سهامیه	۶۱۹۵۵۵	۳۷۰۵۴۸۶	۹۵۴/۳۵	۹۱۱/۸۱
S8	کسوج ۲	۶۲۰۲۱۶	۳۶۹۶۱۸۴	۱۱۸۷/۱۱	۱۱۸۳/۸۳
S9	چهار میل	۶۲۴۲۰۷	۳۷۰۱۲۴۱	۹۴۷/۹	۹۱۴/۴۳
S10	حسین آباد	۶۲۴۹۹۰	۳۷۱۱۰۸۵	۹۴۹/۱۷	۹۳۸/۴۰

ادامه جدول ۴-۲

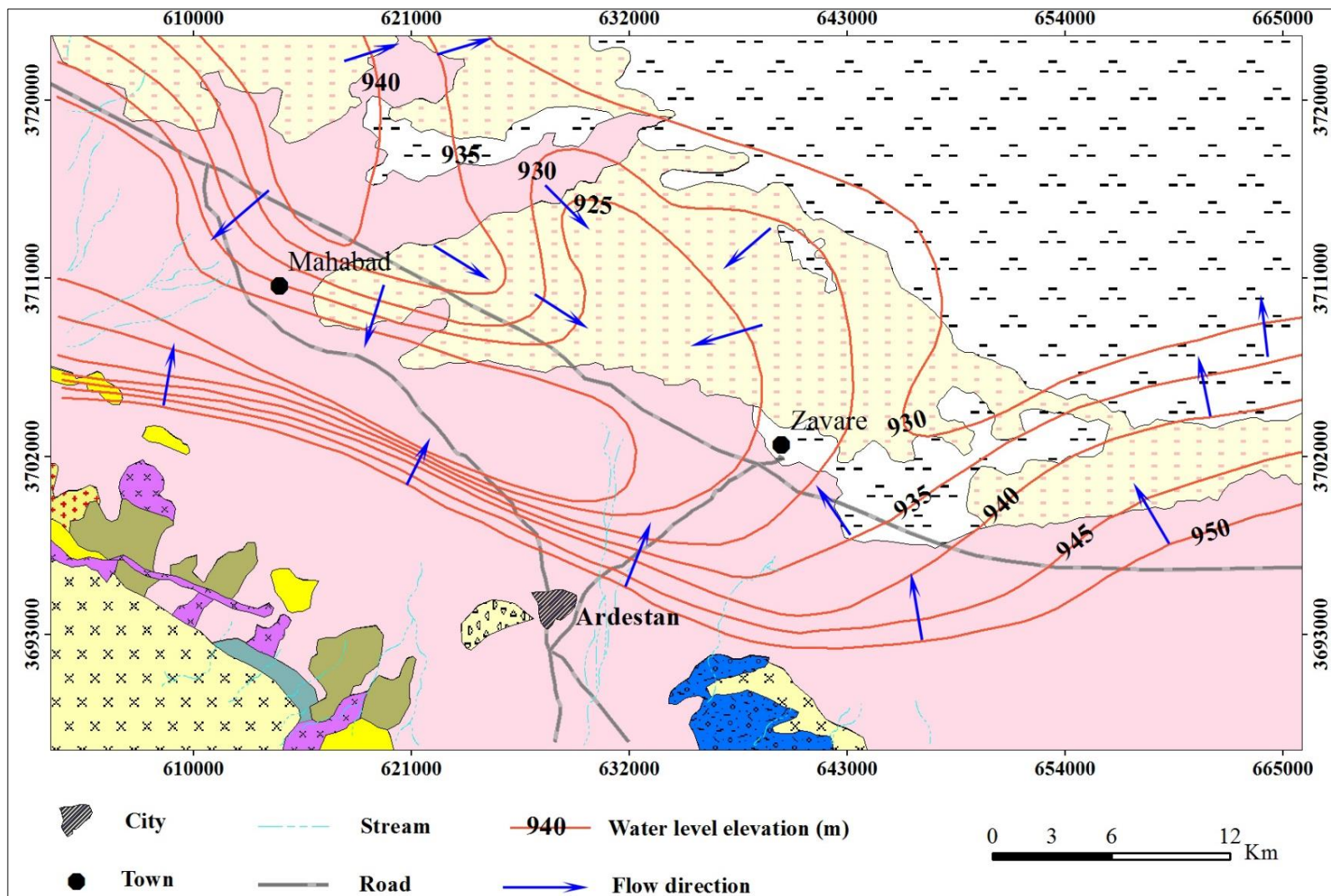
علامت انحصاری	نام محل	مختصات بر حسب UTM		ارتفاع سطح ایستابی از آب‌های آزاد (متر)	
		X	Y	بهمن ۱۳۶۵	بهمن ۱۳۹۳
S11	گرگی آباد	۶۲۶۷۱۰	۳۷۱۷۴۶۰	۹۴۷/۶۸	۹۳۲/۴۰
S12	کچو مثقال	۶۲۸۳۳۴	۳۶۹۰۲۲۰	۱۰۵۷/۵	۱۰۵۴/۸۳
S13	کچور ستاق	۶۲۹۱۰۱	۳۷۰۰۲۵۷	۹۵۱/۵۳	۹۱۷/۸۶
S14	چهارباغ پایین	۶۲۹۴۰۷	۳۷۱۴۰۶۵	۹۴۵/۵۲	۹۲۲/۵۵
S15	امیران	۶۳۱۴۳۷	۳۷۰۳۶۹۹	۹۵۱/۳۸	۹۱۹/۹۰
S16	علی آباد میرزاعبدالکریم	۶۳۴۷۵۷	۳۷۱۵۲۰۷	۹۳۹/۹۴	۹۳۰/۱۹
S17	تل آباد	۶۳۶۷۳۱	۳۶۹۶۷۰۱	۹۵۴/۳۱	۹۳۱/۱۳
S18	کریم آباد	۶۳۶۹۷۰	۳۷۱۲۱۰۶	۹۴۴/۲۳	۹۲۶/۸۰
S19	زواره	۶۳۸۱۲۶	۳۷۰۱۱۳۵	۹۵۳/۰۲	۹۲۶/۶۱
S20	دشتی آباد زواره	۶۴۰۹۰۷	۳۷۱۳۴۳۱	۹۴۰/۹۳	۹۳۰/۱۵
S21	دره باغ	۶۴۱۸۱۰	۳۶۹۴۸۰۱	۹۵۶/۰۶	۹۳۷/۸۰
S22	زواره تثبیت شن	۶۴۲۸۶۴	۳۷۰۴۸۶۴	۹۴۴/۴۲	۹۳۰/۲۰
S23	مزدآباد بالا	۶۴۶۶۵۱	۳۶۸۹۴۰۳	۱۲۱۷/۲۱	۱۲۱۴/۴۰
S24	مزد آباد پائین	۶۴۸۶۰۵	۳۶۹۸۹۷۰	۹۵۲/۸۳	۹۳۹/۰۰
S25	علی آباد منصوریه	۶۴۸۷۵۰	۳۷۰۴۸۵۵	۹۴۲/۳۸	۹۲۷/۷۰
S26	جاده شهراب	۶۵۱۰۷۱	۳۶۹۴۷۳۷	۹۵۷/۴۱	۹۴۵/۸۰
S27	جهان آباد	۶۶۱۰۶۲	۳۷۰۱۳۳۲	۹۵۰/۸۰	۹۴۴/۳۸

با توجه به نقشه هم‌پتانسیل آبخوان اردستان در سال ۱۳۶۵ (شکل ۴-۴)، بالاترین تراز آب زیرزمینی مربوط به قسمت‌های جنوبی و غربی دشت و پایین‌ترین تراز آب زیرزمینی مربوط به نواحی شمال و شمال شرقی دشت می‌باشد. همچنین ارتفاعات منطقه و شیب توپوگرافی دشت (روند جنوب غربی شمال شرقی) نشان می‌دهد که جریان‌های سطحی و جریان آب زیرزمینی همسو بوده و از سمت جنوب و غرب به سمت شرق و شمال شرقی می‌باشد. به طور کلی آبخوان اردستان توسط ارتفاعات موجود در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی تغذیه شده و در جهت شیب طبیعی منطقه به قسمت‌های شمال و

شمال شرقی در انتهای کویر دق سرخ تخلیه می‌گردد. همانطور که ملاحظه می‌شود در قسمت‌های میانی و انتهایی دشت، گرادیان هیدرولیکی سطح آب‌های زیرزمینی به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. دلیل این مطلب عمدتاً به خاطر کاهش مقدار جریان آب زیرزمینی و کاهش شیب سنگ بستر در این مناطق می‌باشد.



شکل ۴-۴- نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت اردستان در بهمن ماه ۱۳۶۵



شکل ۴-۵- نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت اردستان در بهمن ماه ۱۳۹۳

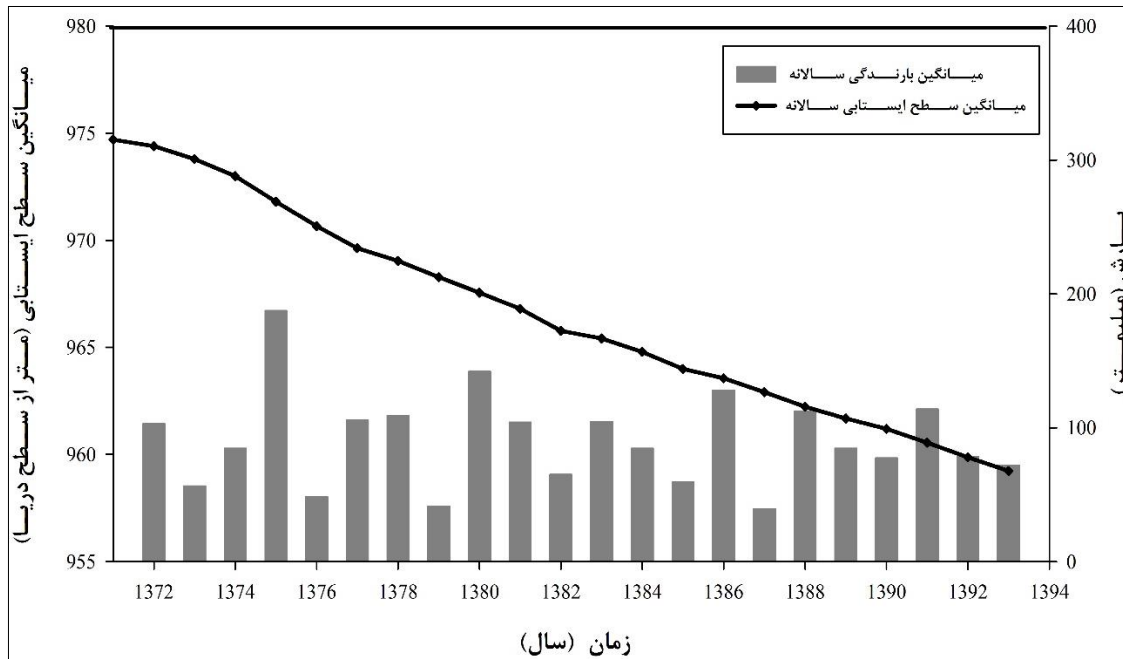
همان‌طور که از شکل صفحه قبل قابل ملاحظه است تفاوت‌های بسیار زیادی در نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۶۵ در مقایسه با نقشه هم‌پتانسیل سال ۱۳۹۳ وجود دارد. مقایسه نقشه‌های مذکور نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی طی این دوره ۲۸ ساله، در نقاط مختلف آبخوان در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۶۵ به طور قابل توجهی پایین افتاده است. علاوه بر این گرادیان هیدرولیکی سطح آب‌های زیرزمینی در ورودی‌های دشت و بخش‌های مرکزی آن در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۶۵ به مقدار زیادی افزایش یافته است. این مسأله حاکی از افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در دشت اردستان می‌باشد. به گونه‌ای که گرادیان هیدرولیکی در این بخش از دشت در سال ۱۳۶۵ حدود ۰/۲ درصد بوده و در سال ۱۳۹۳ به ۱ الی ۱/۵ درصد افزایش یافته است. به عبارتی گرادیان هیدرولیکی در این فاصله زمانی حدود ۵ الی ۷ برابر افزایش یافته است. این مسأله سبب بهم خوردن تعادل و روند طبیعی جریان آب در آبخوان شده و در نتیجه باعث هجوم آب‌شور از مناطق کویری شمالی (منطقه تخلیه) به قسمت‌های میانی دشت شده است. به دلیل برداشت زیاد آب در بخش‌های مرکزی دشت، که در واقع بخش‌هایی با کاربری کشاورزی می‌باشد، افت شدیدی در سطح سفره مشاهده می‌شود. هنگامی که یک لایه آبدار به وسیله تعداد زیادی چاه عمیق مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد در اثر ایجاد مخروط افت، سطح آب پایین می‌رود و اختلاف پتانسیل بین این نواحی و نواحی مجاور زیاد می‌شود. این پدیده را به وضوح می‌توان در نقشه هم‌پتانسیل دشت اردستان در سال ۱۳۹۳ مشاهده کرد و علت این امر برداشت‌های بیشتر از تغذیه آبخوان، بر هم زدن تعادل هیدرولیکی آبخوان در مرکز و غرب دشت و کاهش تغذیه مناسب طی سال‌های اخیر به دلیل بروز پدیده خشک‌سالی می‌باشد. این عوامل سبب کاهش قابل توجه تراز سطح ایستابی نسبت به سال ۱۳۶۵ گردیده است. به دلیل واقع شدن منطقه مورد مطالعه در ناحیه بیابانی کشور و خشک بودن این مناطق و عدم وجود جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب شرب در منطقه به شمار می‌روند و با ادامه برداشت بی‌رویه و عدم مدیریت صحیح با شدت هرچه بیستر تخریب خواهد شد. با توجه به شکل (۴-۵) همچنین ملاحظه می‌شود که یک زون تغذیه‌ای در شمال غربی دشت به چشم می‌خورد. یکی از دلایل مهم

پیدایش این زون تغذیه‌ای به افت بسیار بالای سطح آب‌های زیرزمینی در جنوب غرب این زون مربوط می‌شود. دلیل دیگر پیدایش زون تغذیه‌ای مذکور، مربوط به ماسه‌ای بودن بافت رسوبات در این منطقه، تغذیه نسبتاً بالای آن و برداشت کمتر از آب‌های زیرزمینی این بخش می‌باشد.

۴-۳- ارزیابی روند افت دراز مدت در آبخوان اردستان

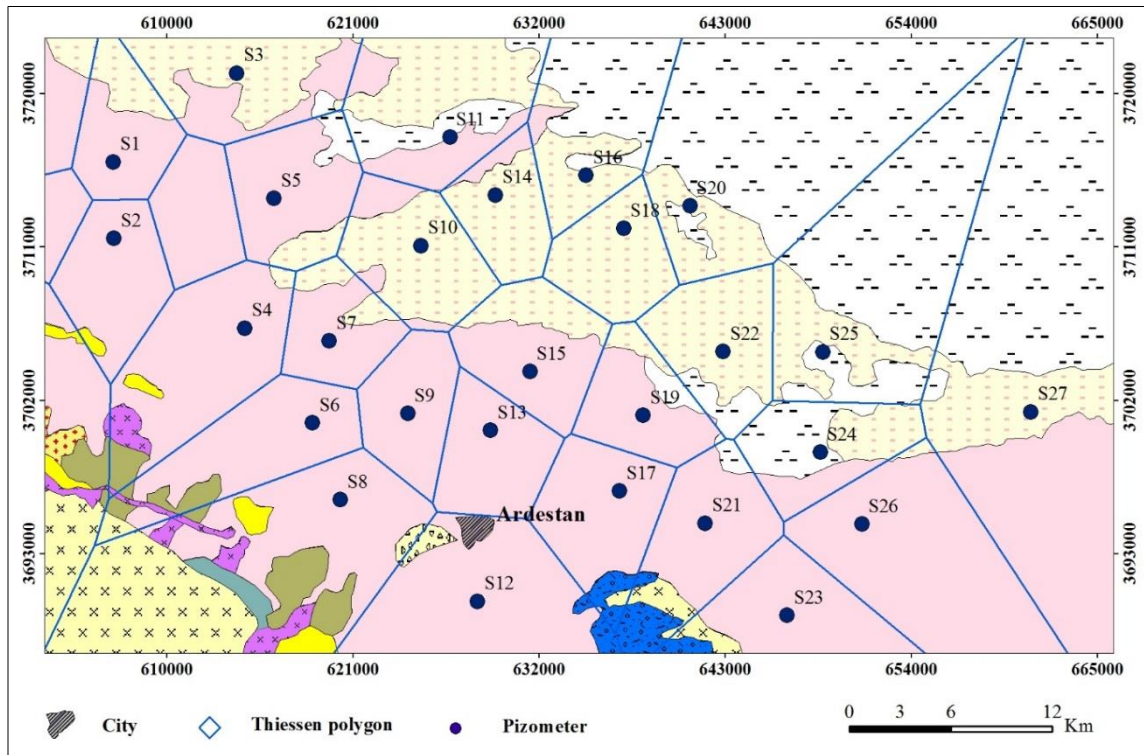
رایج‌ترین روش ارزیابی تغییرات درازمدت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌ها، استفاده از هیدروگراف واحد می‌باشد. هیدروگراف واحد دشت، میانگینی از سطح ایستابی در نقاط مختلف دشت می‌باشد. از آنجایی که بارندگی تغذیه کننده اصلی منابع آب زیرزمینی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، معمولاً بر روی هیدروگراف معرف دشت‌ها بارندگی سالانه نیز نشان داده می‌شود. سپس تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه با توجه به تغییرات بارندگی سالانه منطقه تفسیر می‌شود.

با بررسی تغییرات ماهانه سطح آب زیرزمینی در طی سال‌های آماری موجود، داده‌های مربوط به ماه بهمن به علت تغییرات ناچیز سطح آب زیرزمینی، به‌عنوان داده‌های مناسب برای ارزیابی افت آبخوان دشت اردستان انتخاب گردیدند. شکل (۴-۶) هیدروگراف واحد دشت را برای یک دوره ۲۰ ساله (سال‌های آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲) نشان می‌دهد. اطلاعات مربوط به پیژومترها از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۹۳ موجود می‌باشد ولی مقادیر بارش سالانه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۳ موجود بوده که این امر باعث گردید هیدروگراف مذکور طی یک دوره ۲۰ ساله ترسیم گردد. لازم به ذکر است که برای بدست آوردن افت متوسط سالانه ابتدا سطح دشت بر اساس پیژومترهای موجود در آن تیسنبندی شده و مساحت چندضلعی‌های تیسن در مقدار افت متوسط پیژومتر مربوطه ضرب شده و در نهایت مقدار متوسط افت سالانه هر پیژومتر در سطح دشت به روش میانگین گیری وزنی بدست آمد. شکل (۴-۷) نقشه تیسنبندی دشت اردستان را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶- هیدروگراف واحد بلند مدت دشت اردستان

با توجه به هیدروگراف واحد دشت اردستان، تغییرات سطح آب زیرزمینی در این منطقه دارای روند پیوسته نزولی می‌باشد. به این ترتیب که متوسط سطح آب زیرزمینی منطقه در سال ۱۳۷۱-۱۳۷۰، برابر با ۹۷۴/۵ متر از سطح دریا بوده و با ۱۶ متر افت به حدود ۹۵۸/۵ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ رسیده است. همچنین هیچ رابطه معناداری بین مقدار بارندگی و تراز سطح ایستابی در دشت مشاهده نمی‌شود و روند نزولی آبخوان طی این سال‌ها، عمدتاً توسط برداشت‌های بیش از حد از سفره آب زیرزمینی کنترل می‌گردد. از مهم‌ترین دلایل این امر ناچیز بودن بارش‌های منطقه به دلیل قرارگیری آن در ناحیه خشک و نیمه‌خشک کشور، بالا بودن تبخیر و برداشت‌های بیشتر از میزان تغذیه‌ی آبخوان می‌باشد.



شکل ۴-۷- نقشه تیسن‌بندی آبخوان اردستان

۴-۴- بررسی وضعیت بیلان آبخوان اردستان در یک دوره ۳۱ ساله

جهت بررسی هرچه دقیق‌تر و روشن‌تر وضعیت آبخوان اردستان از لحاظ تغییرات سطح ایستابی، جدول (۳-۴) ارائه گردیده است. همان‌طور که در جدول زیر مشاهده می‌شود، میانگین تغییرات سطح ایستابی و میانگین تغییرات حجمی آبخوان از سال ۱۳۶۳ تا سال ۱۳۹۳ به نمایش گذاشته شده است. با توجه به این اطلاعات ملاحظه می‌شود که متوسط سالانه تغییر سطح ایستابی در آبخوان اردستان حدود ۰/۶۸ متر بوده و مجموع افت سطح ایستابی در این دوره آماری حدود ۲۰ متر می‌باشد. به عبارتی ارتفاع متوسط سطح آب زیرزمینی در این دشت سالانه حدود ۶۸ سانتی‌متر پایین می‌افتد که این میزان افت رقم بسیار بالایی بوده و گویای کاهش ذخیره آبخوان و منفی بودن بیلان دشت می‌باشد. میزان کاهش ذخیره سفره آب زیرزمینی به طور میانگین سالانه نیز در طی این مدت با توجه به مساحت آبخوان (1369 km^2) و متوسط ضریب ذخیره آن (۰/۰۵) برابر با ۴۶/۱۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است (معادله ۴-۱). افت مداوم و کاهش شدید حجم ذخیره آبخوان در طی سال‌های گذشته به علت

برداشت‌های بی‌رویه و کاهش تغذیه به علت خشک‌سالی‌های اخیر بوده و نشان‌دهنده روند نابودی آبخوان می‌باشد.

$$S = \frac{V_w}{A \cdot \Delta h} \quad \text{معادله (۱-۴)}$$

در معادله فوق، S ضریب ذخیره، V_w حجم تخلیه یا به عبارتی مقدار کسری آب در آبخوان بر حسب میلیون متر مکعب، A مساحت آبخوان بر حسب کیلومتر مربع و Δh افت متوسط سالانه دشت بر حسب متر می‌باشد. با توجه به محاسبات انجام شده مقدار کلی کاهش ذخیره آبخوان در یک دوره ۳۱ ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۳) $1384/3$ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

جدول ۴-۳- بررسی وضعیت بیلان آبخوان اردستان در یک دوره آماری ۳۱ ساله

(مساحت آبخوان برابر با ۱۳۶۹ کیلومتر مربع و متوسط ضریب ذخیره آبخوان ۵ درصد می‌باشد)

سال آبی	مقدار تغییر سالانه سطح ایستابی در آبخوان (متر)	مقدار تغییر سالانه حجم ذخیره آبخوان (میلیون مترمکعب)
۱۳۶۳-۶۴	-۱/۰۳	-۷۰/۵۰
۱۳۶۴-۶۵	-۰/۷۴	-۵۰/۶۵
۱۳۶۵-۶۶	-۰/۷۹	-۵۴/۰۷
۱۳۶۶-۶۷	-۱/۰۴	-۷۱/۱۸
۱۳۶۷-۶۸	-۱/۰۵	-۷۱/۸۶
۱۳۶۸-۶۹	-۱/۰۶	-۷۲/۵۵
۱۳۶۹-۷۰	-۰/۸۷	-۵۹/۵۴
۱۳۷۰-۷۱	-۰/۷۵	-۵۱/۳۳
۱۳۷۱-۷۲	-۰/۶۶	-۴۵/۱۷
۱۳۷۲-۷۳	-۰/۱۱	-۷/۵۳
۱۳۷۳-۷۴	-۰/۱۸	-۱۲/۳۲
۱۳۷۴-۷۵	-۰/۷۰	-۴۷/۹۱
۱۳۷۵-۷۶	-۰/۵۰	-۳۴/۲۲
۱۳۷۶-۷۷	-۰/۸۳	-۵۶/۸۱

جدول ۴-۳- ادامه

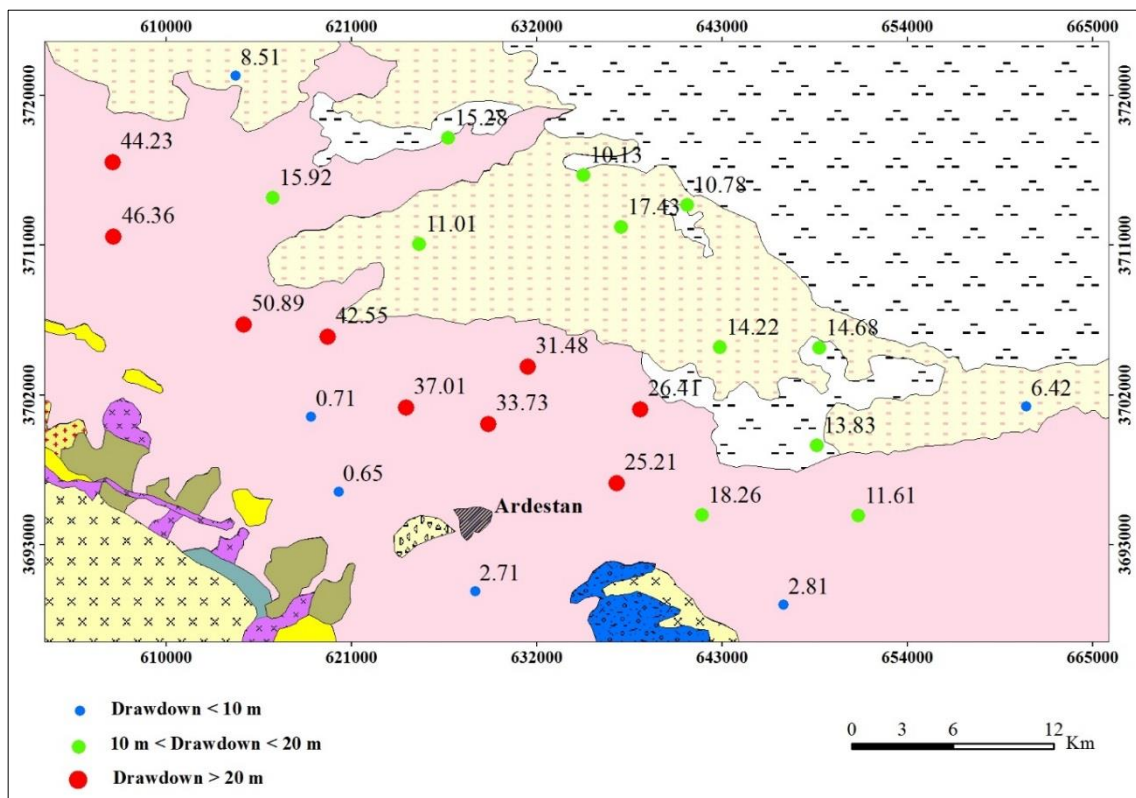
سال آبی	مقدار تغییر سالانه سطح ایستابی در آبخوان (متر)	مقدار تغییر سالانه حجم ذخیره آبخوان (میلیون مترمکعب)
۱۳۷۷-۷۸	-۰/۸۸	-۶۰/۲۳
۱۳۷۸-۷۹	-۰/۵۶	-۳۸/۳۳
۱۳۷۹-۸۰	-۰/۸۶	-۵۸/۸۶
۱۳۸۰-۸۱	-۰/۴۳	-۲۹/۴۳
۱۳۸۱-۸۲	-۱/۰۰	-۶۸/۴۴
۱۳۸۲-۸۳	-۰/۳۹	-۲۶/۶۹
۱۳۸۳-۸۴	-۰/۵۲	-۳۵/۵۹
۱۳۸۴-۸۵	-۰/۶۶	-۴۵/۱۱
۱۳۸۵-۸۶	-۰/۵۲	-۳۵/۵۹
۱۳۸۶-۸۷	-۰/۵۵	-۳۷/۶۴
۱۳۸۷-۸۸	-۰/۵۷	-۳۹/۰۱
۱۳۸۸-۸۹	-۰/۵۰	-۳۴/۲۲
۱۳۸۹-۹۰	-۰/۵۵	-۳۷/۹۲
۱۳۹۰-۹۱	-۰/۵۴	-۳۷/۱۶
۱۳۹۱-۹۲	-۰/۶۴	-۴۳/۸۰
۱۳۹۲-۹۳	-۰/۷۴	-۵۰/۶۴
جمع	-۲۰/۰۱	-۱۳۸۴/۳

۴-۵- تقسیم‌بندی دشت بر اساس مقدار افت

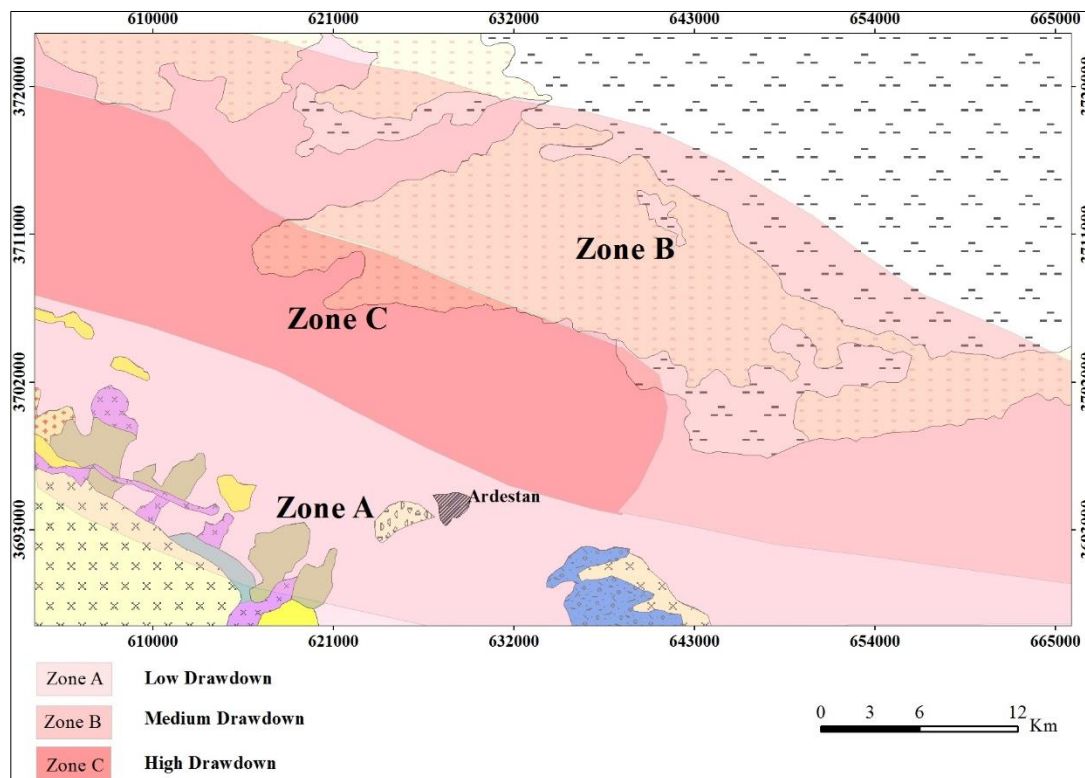
شکل (۴-۸) مقدار افت سطح آب‌های زیرزمینی را در دشت اردستان برای دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر افت سطح آب زیرزمینی در این دشت بسیار متفاوت بوده و از ۰/۶۵ متر تا ۵۰/۸۹ متر متغیر می‌باشد. بر اساس افت سطح آب‌های زیرزمینی، دشت اردستان به سه زون A، B و C تقسیم شده است (شکل ۴-۹). همانطور که از شکل (۴-۹)

ملاحظه می‌شود، کمترین مقادیر افت مربوط به پیزومترهایی است که در نوار جنوبی دشت واقع شده‌اند (Zon A). این زون با مقدار افت متوسط ۱/۷ متر در جبهه ورودی دشت قرار دارد. رخنمون‌های سنگی قرار گرفته در این زون شامل واحدهای آذرین بوده که نسبت به دیگر مناطق دشت دارای ارتفاع بیشتری می‌باشند. وجود این ارتفاعات و تعداد زیادی گسل میزان تغذیه در این بخش را افزایش داده و از طرفی تعداد اندک چاه‌های بهره‌برداری از عوامل افت ناچیز در منطقه به حساب می‌آیند. شکل (۴-۱۰) تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و زون‌های ذکر شده را بطور همزمان نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر افت مربوط به پیزومترهای واقع در زون C می‌باشد. پیزومترهای این زون با مقدار افت متوسط ۳۷/۶ متر، در محدوده‌ای قرار گرفته‌اند که از مرکز دشت به سمت شمال غرب دشت کشیده شده است. از مهم‌ترین علل افت بسیار زیاد سطح آب‌های زیرزمینی در زون C می‌توان به تمرکز بالای چاه‌های بهره‌برداری و برداشتهای بی‌رویه در این محدوده اشاره نمود. با توجه به شکل (۴-۱۰) نیز ملاحظه می‌شود که بیشترین تعداد چاه‌های بهره‌برداری موجود در دشت واقع در زون C می‌باشند که این موضوع تأییدی بر پمپاژ و تخلیه آب‌های زیرزمینی و مقدار افت بسیار زیاد در این محدوده است. طی بازدیدی که از این منطقه صورت گرفت مشخص شد که تعداد زمین‌های کشاورزی فعال در این بخش بسیار زیاد بوده و به دلیل قرارگرفتن منطقه در نوار خشک و نیمه‌خشک کشور، تنها منبع آب مصرفی برای کشاورزی سنتی در این ناحیه منابع آب زیرزمینی است. لازم به ذکر است که پمپاژ آب از چاه‌های موجود بدون هیچ‌گونه محدودیت و مدیریتی توسط مسئولین مربوطه صورت می‌گیرد. علاوه بر این، شهرک‌های صنعتی اردستان و شهرهای همجوار آن (زواره، مهاباد و موغار) در همین بخش، یعنی زون C قرار گرفته که عامل مهم دیگری در برداشتهای بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به شمار می‌رود. همچنین محل تراکم زمین‌های کشاورزی و به‌طور کلی تراکم جمعیت در دشت اردستان دقیقاً با زون C ذکر شده مطابقت نشان می‌دهد. این موضوع به درک ما در مورد برداشتهای غیرمجاز از آبخوان و ارتباط آن با میزان افت بالا در این بخش کمک زیادی می‌کند. همانطور که در شکل (۴-۹) مشاهده می‌شود، بخش وسیعی از دشت اردستان به لحاظ مقدار افت در

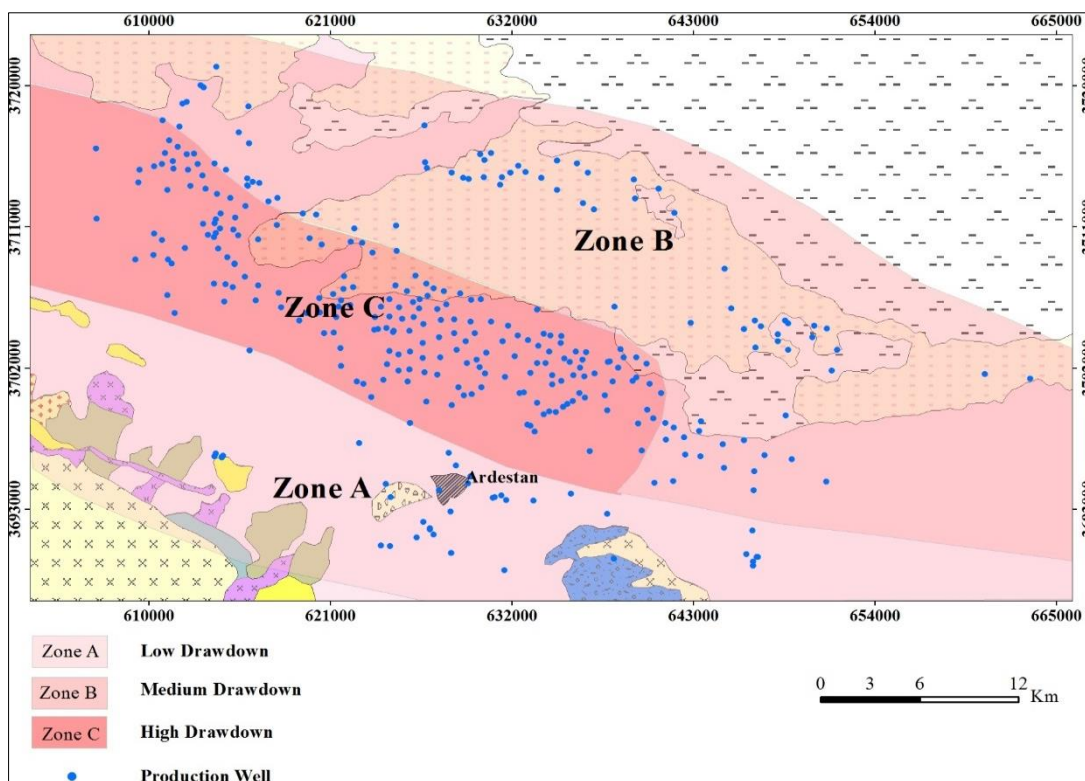
حد واسط زون‌های A و C قرار گرفته است (زون B). این زون با مقدار افت متوسط ۱۴/۲ متر در بخش‌های انتهایی دشت اردستان واقع شده است. در این بخش تا حدودی از شدت افت نسبت به زون C کاسته می‌شود. علت این مسئله تمرکز کمتر چاه‌های بهره‌برداری و همچنین برداشت کمتر از آب‌های زیرزمینی به دلیل کیفیت پایین آب می‌باشد. در بازدیدهای صورت گرفته از این محدوده نیز مشاهده گردید که از تراکم جمعیت و حجم زمین‌های کشاورزی در این منطقه کاسته شده و برداشت از منابع آب زیرزمینی به علت کاهش کیفیت آن بسیار محدود گردیده است. در بخش انتهایی و خروجی دشت به دلیل کاهش شیب توپوگرافی زمین، افزایش زمان ماندگاری آب، دانه ریز شدن بافت خاک و وجود پهنه‌های رسی نمکی آب‌های زیرزمینی از کیفیت مناسبی برخوردار نبوده که خود عاملی دیگر جهت برداشت‌های کمتر به حساب می‌آید.



شکل ۴-۸- میزان افت سطح آب در پیزومترهای موجود در دشت، طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳

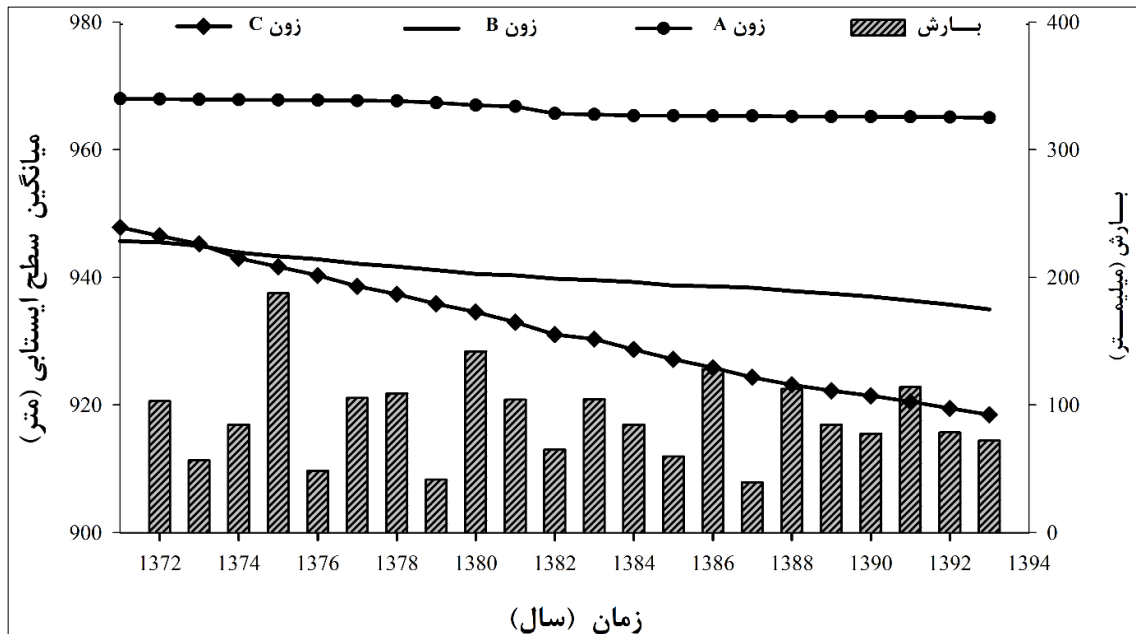


شکل ۴-۹- نقشه زون بندی شده آبخوان دشت اردستان



شکل ۴-۱۰- زون بندی و موقعیت چاه های بهره برداری در دشت اردستان

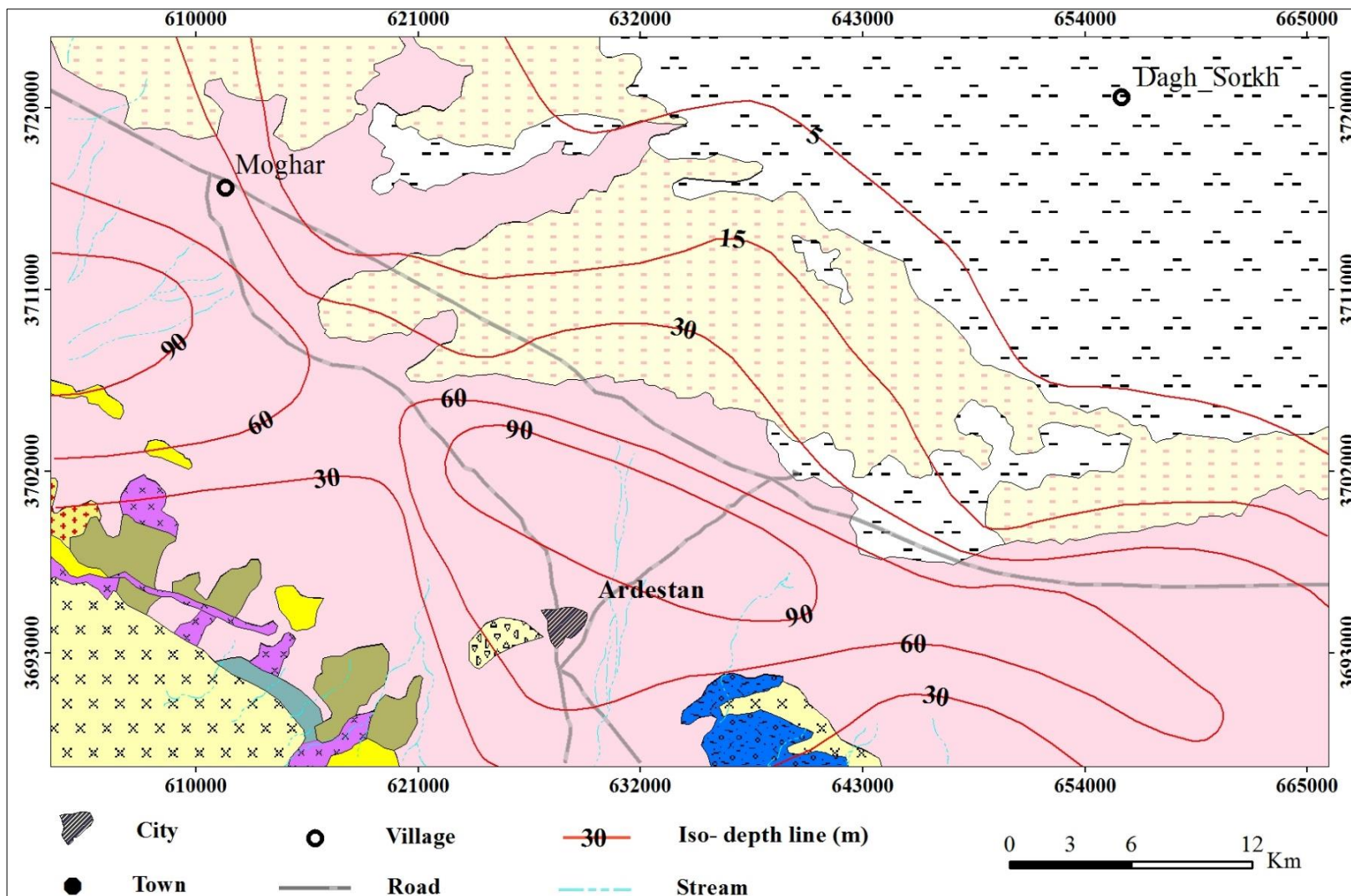
در شکل (۴-۱۱) هیدروگراف معرف میانگین برای هر سه زون در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۳ ترسیم شده است. همان‌طور که در این نمودار نیز مشاهده می‌گردد مقدار شیب هیدروگراف C بسیار بیشتر از شیب مربوط به هیدروگراف A می‌باشد. به‌طور کلی این تفاوت در هیدروگراف‌های هر سه زون تأییدی بر تقسیم‌بندی‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس افت می‌باشد.



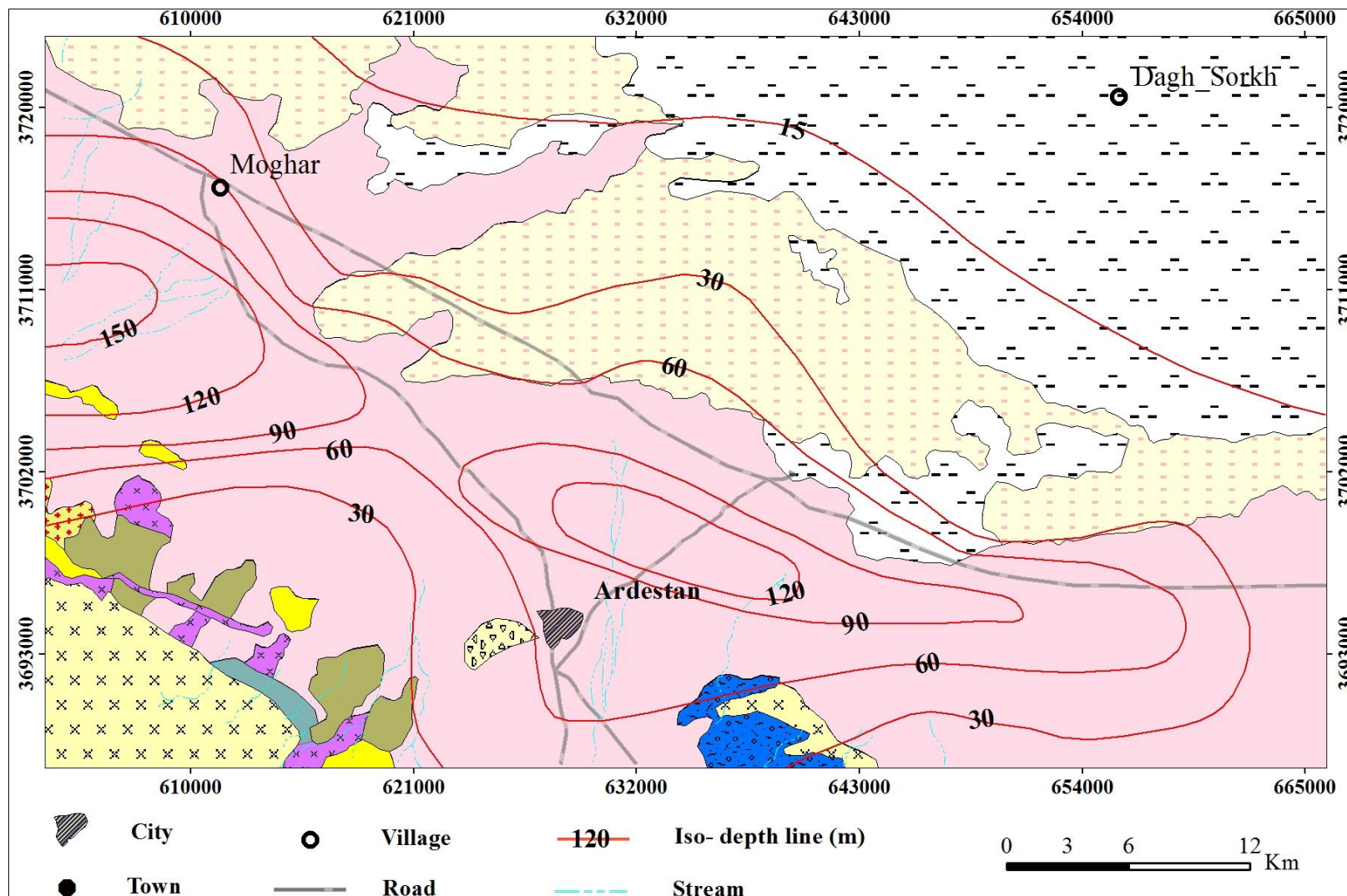
شکل ۴-۱۱- هیدروگراف واحد میانگین مربوط به زون‌های A، B و C در دشت اردستان

۴-۶- نقشه عمق سطح آب زیرزمینی در دشت اردستان

نقشه‌های عمق آب زیرزمینی نشان‌دهنده فاصله سطح ایستابی تا سطح زمین می‌باشند. این‌گونه نقشه‌ها جهت محاسبه تبخیر از سطح آب زیرزمینی، حفاری چاه‌ها، بررسی فرونشست زمین و مطالعه طرح‌های تغذیه مصنوعی کاربرد دارند. به‌طور کلی دقیق‌ترین اطلاعاتی که می‌توان از نقشه‌های عمق استخراج نمود، عمق دسترسی به آب زیرزمینی می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات عمق آب زیرزمینی دشت اردستان در یک دوره ۲۸ ساله، از داده‌های سطح آب بهمن ماه ۱۳۶۵ و بهمن ماه ۱۳۹۳ استفاده شده است. بدین صورت که نقشه‌های عمق آب زیرزمینی برای سال ۱۳۶۵ و سال ۱۳۹۳ ترسیم و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) به ترتیب نقشه‌های عمق سطح آب زیرزمینی در دشت اردستان را به ترتیب برای سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ نشان می‌دهند.



شکل ۴-۱۲- نقشه عمق سطح آبهای زیرزمینی دشت اردستان در سال ۱۳۶۵



شکل ۴-۱۳- نقشه عمق سطح آب‌های زیرزمینی دشت اردستان در سال ۱۳۹۳

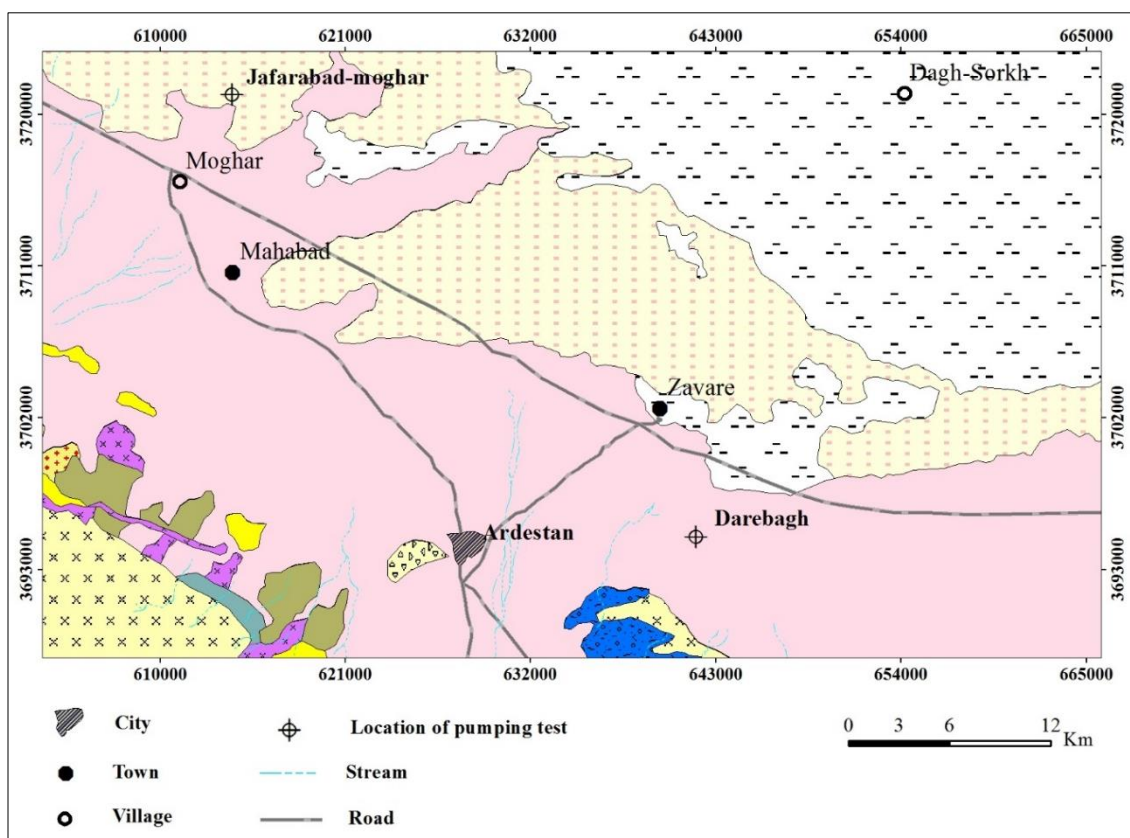
مقایسه نقشه‌های عمق سطح آب زیرزمینی دشت اردستان در سال ۱۳۶۵ و سال ۱۳۹۳، بیانگر روند افزایشی عمق دسترسی به آب زیرزمینی در کل دشت با گذشت زمان می‌باشد به طوری که میانگین وزنی عمق آب زیرزمینی در کل دشت در سال ۱۳۶۵ برابر با ۴۲/۹۸ متر، و در سال ۱۳۹۳ برابر با ۵۷ متر می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش ۱۵ متری عمق دسترسی به آب زیرزمینی در این دوره ۲۸ ساله می‌باشد. همان‌طور که در نقشه عمق سال ۱۳۹۳ قابل مشاهده است، افزایش بیش از اندازه عمق آب زیرزمینی مربوط به بخش‌های مرکزی و غربی آبخوان بوده که به دلیل برداشت‌های بی‌رویه در طی سال‌های اخیر و پایین افتادن سطح آب زیرزمینی می‌باشد. تغییرات ایجاد شده در نقشه عمق سطح آب زیرزمینی سال ۱۳۹۳ همخوانی بسیار زیادی با نقشه هم پتانسیل مربوط به سال ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. کمترین مقدار تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی نیز در قسمت‌های جنوبی دشت قابل مشاهده می‌باشد. قسمت جنوبی (ورودی دشت) در بخش مخروط افکنه‌ای آن قرار گرفته و تغذیه در این منطقه بالا است. در قسمت‌های خروجی دشت (بخش‌های شمالی) نیز به دلیل کم شدن ارتفاعات و همچنین کاهش برداشت، از عمق دسترسی به آب زیرزمینی کاسته می‌شود.

۴-۷- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان اردستان

ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان به کمک آزمایش پمپاژ مشخص می‌گردند. این ضرایب نشان‌دهنده خصوصیات فیزیکی آبخوان بوده و بیانگر توانایی آبخوان در ذخیره‌سازی و انتقال آب هستند. در محدوده مطالعاتی اردستان جمعاً دو حلقه چاه اکتشافی به نام‌های چاه اکتشافی جعفرآباد موغار و چاه اکتشافی دره‌باغ، حفاری گردیده است (شکل ۴-۱۴). چاه‌های مزبور هر یک دوبار در زمان‌های مختلف مورد آزمایش پمپاژ قرار گرفته‌اند. ضرایب هیدرودینامیک لایه آبدار در این دو چاه در جدول (۴-۴) ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده به ویژه در مورد چاه دره‌باغ با توجه به اختلاف بسیار بین دو مرحله، به احتمال زیاد از دقت بسیار کمی برخوردار هستند که لازم است مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۴-۴- ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

محاسبه به روش تاپس			موقعیت UTM		نام چاه پمپاژ شده
S (%)	T ₂ (m ² /day)	T ₁ (m ² /day)	محور Y	محور X	
-	-	۸۰ تا ۱۳۰	۳۷۲۱۲۰۹	۶۱۴۱۰۵	جعفر آباد موغار
۵/۵ تا ۶/۹	۸۹۳۳	۲۸۰۰ تا ۳۳۰۰	۳۶۹۴۸۰۱	۶۴۱۸۱۰	دره باغ



شکل ۴-۱۴- موقعیت چاه‌های اکتشافی جعفرآباد موغار و دره باغ در دشت اردستان

۴-۸- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان اردستان

مطالعات مربوط به هیدروژئوشیمی آبخوان‌ها معمولاً جهت شناخت تغییرات املاح آب زیرزمینی در طول مسیر حرکت، بررسی اثرات زمین‌شناسی منطقه بر آب‌های زیرزمینی و همچنین تعیین محل

تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی انجام می‌گردد. به منظور بررسی خصوصیات کیفی آبخوان پارامترهایی همچون دمای آب، pH و هدایت الکتریکی در محل نمونه‌برداری و مقدار یون‌های اصلی در محل آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌گردند. همچنین نقشه‌ها و نمودارهای هیدروژئوشیمیایی شامل نقشه هدایت الکتریکی، نقشه یون‌های اصلی (مانند کلر، سولفات، بی‌کربنات، سدیم، کلسیم و منیزیم)، 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 می‌گیرد. علاوه بر این، نمودارهای متنوع دیگری نیز برای ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که مهم‌ترین آن‌ها شامل نمودار پایپر، استیف، شولر و ویلکاکس می‌باشند. به منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان اردستان، در بهمن ماه ۱۳۹۳ از ۱۴ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق انتخابی در منطقه مورد نظر نمونه‌برداری به عمل آمد. اندازه‌گیری پارامترهای ذکر شده، آنالیز و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها تحت شرایط استاندارد در آزمایشگاه مربوط به شرکت آب منطقه‌ای اصفهان صورت گرفت. موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری در منطقه در فصل سوم ارائه گردیده است. جدول (۴-۵) نتایج آنالیزهای بدست آمده از چاه‌های مذکور و همچنین جدول (۴-۶) سایر پارامترهای مهم کیفی محاسبه شده را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵- مقادیر پارامترهای هیدروژنوشیمیایی چاه‌های انتخابی در دشت اردستان

درصد خطا	Sum Anion	غلظت آنیون‌ها (epm)			Sum Cation	غلظت کاتیون‌ها (epm)				EC $\mu\text{mohs/cm}$	مختصات جغرافیایی		محل نمونه برداری	شماره چاه
		HCO ₃	Cl	SO ₄		Ca	Mg	Na	K		Y	X		
2.28	34.7	2.7	19	13	35.5	8.4	7	20	0.1	3700	3692832	628293	علی آقاشاهی	W1
0.89	45.1	9.1	23	13	44.7	12.2	7	25	0.5	4350	3708930	611176	اکبر مهابادی	W2
10.07	46.2	2.2	28	16	51.1	13	12	26	0.1	5700	3701538	634468	هنرستان بهمن زواره	W3
9.13	39.7	2.7	22	15	43.5	11.8	5.5	27	0.2	5850	3702035	630076	گروه سلمان	W4
2.18	55	1.5	35	18.5	53.81	17	4.8	32	0.01	5800	3705307	620374	حیدر یزدانی	W5
4.01	43.2	3.2	26	14	41.5	8.4	8	25	0.1	4120	3697508	642436	محمد جعفری	W6
6.32	38.3	1.3	26	11	40.8	8.8	6.8	25	0.2	4210	3703324	646787	دخیل رسولی	W7
1.11	44.7	2.4	25	17.3	45.2	11.6	6.4	27	0.2	5700	3706878	627899	گروه میثم	W8
1.08	73.3	2.3	54	17	74.1	21.6	10.4	42	0.1	7300	3714432	636654	رضا طبسی	W9
8.79	61.7	2.7	39	20	56.5	14	6.3	36	0.2	6200	3699345	640210	گروه محمدی	W10
2.42	54.2	4.2	33	17	52.9	15.5	6	31	0.4	5650	3707295	616644	محمد زارعی - آزادگان	W11
2.73	36.8	5	19	12.8	37.82	8.6	6	23	0.22	5100	3719367	607155	سید احمد حسینی	W12
2.17	69.6	4.6	40	25	68.1	16	11	41	0.1	6450	3702674	638788	نصرالله مرتضوی	W13
1.26	55.2	2.2	34	19	55.9	17.5	5.2	33	0.2	5850	3710043	622216	گروه رضا معینی	W14

جدول ۴-۶- مقادیر سایر پارامترهای محاسبه شده چاه‌های منطقه اردستان

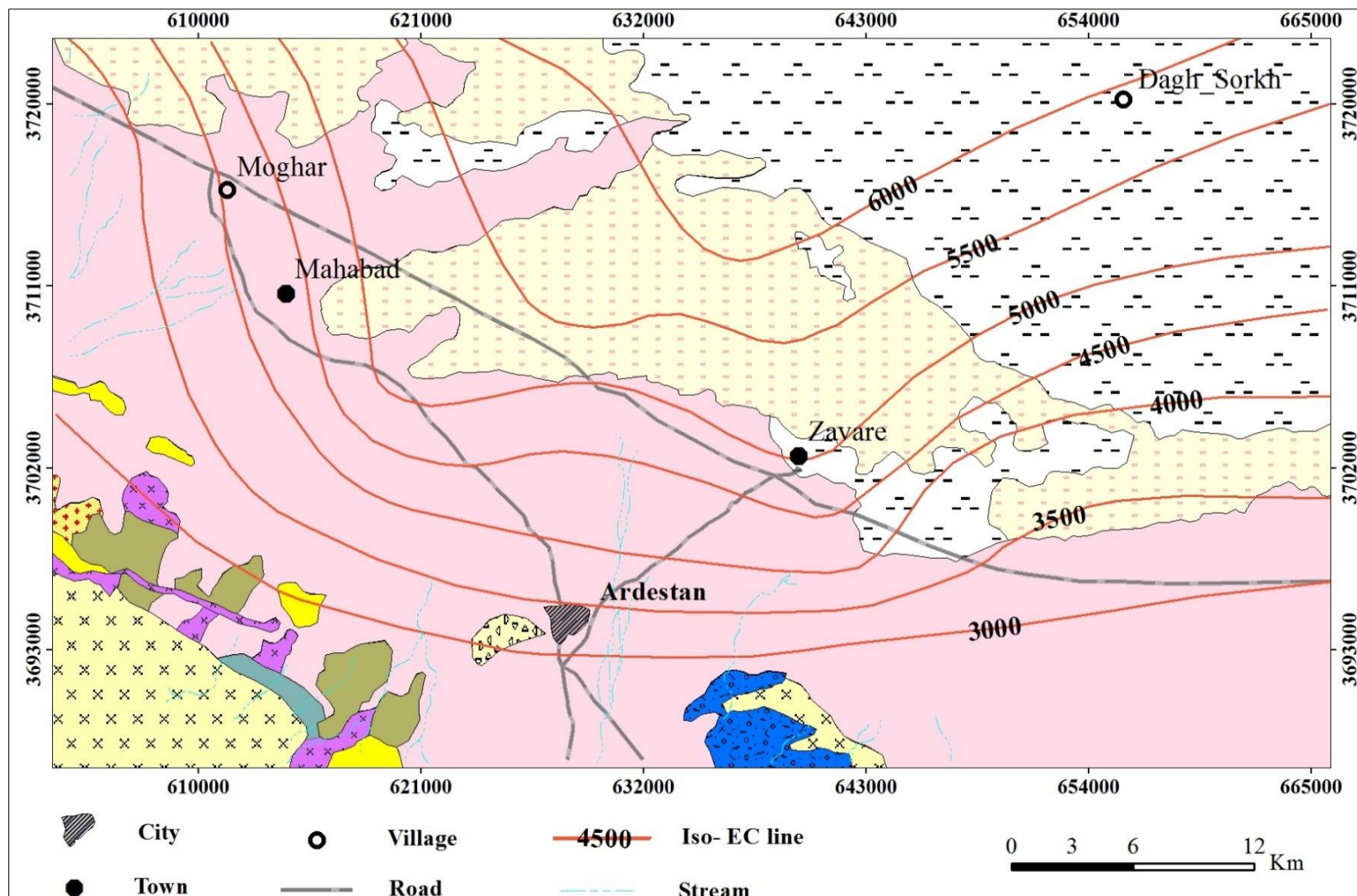
شماره چاه	TDS (mg/l)	Total Hardness (mg/l as CaCO ₃)	Na%	S.A.R	pH
W1	۲۳۵۴	۷۶۴/۴	۵۶/۶۲	۵/۸۰	۷/۷
W2	۳۰۴۵	۷۲۵/۲	۵۷/۰۵	۶/۳۱	۷/۴
W3	۴۳۴۷	۹۵۴/۴	۵۱/۰۸	۵/۹۷	۷/۴
W4	۲۹۹۶	۱۱۲۹/۲	۶۰/۲۳	۶/۸۲	۷/۹
W5	۴۰۷۴	۱۰۷۰/۲	۵۹/۴۹	۷/۲۷	۷/۹
W6	۲۸۸۴	۱۰۸۷/۸	۶۰/۴۸	۷/۱۰	۷/۸
W7	۲۹۴۰	۸۹۹/۸	۶۱/۷۶	۷/۱۶	۸
W8	۳۳۱۱	۸۶۰/۶	۶۰/۱۸	۷/۰۲	۸/۱
W9	۵۱۰۳	۱۲۴۰/۴	۵۶/۸۲	۸/۱۱	۷/۲
W10	۴۳۳۳	۱۳۴۱/۲	۶۴/۰۷	۸/۶۹	۸/۱
W11	۳۹۵۵	۱۰۱۱/۶	۵۹/۳۶	۷/۲۱	۷/۷
W12	۲۴۳۶	۷۷۶/۲	۶۱/۴۰	۶/۷۵	۷/۹
W13	۴۵۵۷	۱۵۹۲/۵	۶۰/۳۵	۸/۸۴	۷/۲
W14	۴۰۴۶	۸۱۳/۶	۵۹/۳۹	۷/۴۴	۷/۵

۴-۸-۱- ارزیابی مقادیر هدایت الکتریکی در دشت اردستان

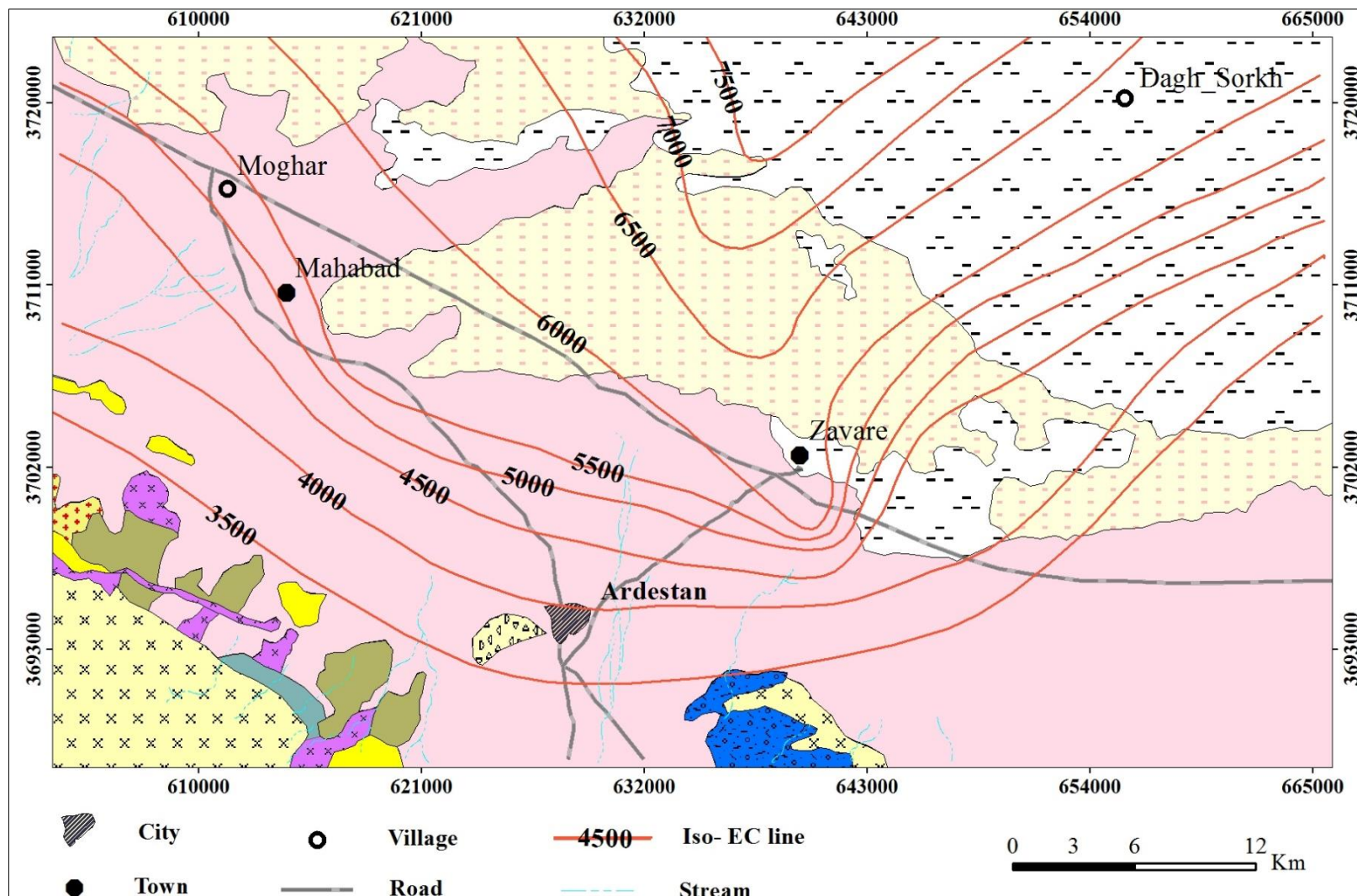
هدایت الکتریکی (Electrical conductivity) یکی از پارامترهای کیفی آب می‌باشد که به دلیل رابطه مستقیم آن با کل مواد جامد حل شده در آب، از مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی آب به شمار می‌رود (Todd 2005). این شاخص کیفی آب به سادگی و با دقت بسیار بالا توسط دستگاه هدایت‌سنج در هر دو حالت سر زمین و در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری می‌باشد. عوامل بسیاری بر

روی مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تأثیرگذار می‌باشند که از جمله آن می‌توان به لیتولوژی و زمین‌شناسی آبخوان، نوع سنگ بستر، مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان، سرعت حرکت آب در زیر زمین، مقدار بارش‌های جوی، میزان هدایت الکتریکی آب‌ها سطحی که به زیر زمین نفوذ می‌کنند، مقدار بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی، زهاب‌های کشاورزی، ورود فاضلاب‌ها و رواناب‌های مختلف از جمله پساب‌های شهری و صنعتی و نفوذ آب‌شور به آبخوان اشاره نمود. به منظور بررسی وضعیت املاح موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه و تغییرات زمانی و مکانی آن، نقشه هدایت الکتریکی منطقه در سال ۱۳۹۳ با استفاده از نتایج مندرج در جدول (۴-۵) ترسیم گردید. علاوه بر آن جهت بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در طول دوره ۱۸ ساله نقشه هدایت الکتریکی مربوط به سال ۱۳۷۴ (قدیمی‌ترین آمار کیفی مربوط به آب‌های زیرزمینی منطقه در سال ۱۳۷۴ گردآوری شده است) نیز ترسیم و سپس با نقشه هدایت الکتریکی مربوط به سال ۱۳۹۳ مقایسه گردید. شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) به ترتیب نقشه‌های هدایت الکتریکی آبخوان اردستان در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۳ را نشان می‌دهند. بررسی روند کلی منحنی‌های هدایت الکتریکی در هر دو نقشه نشان‌دهنده افزایش شوری آب زیرزمینی در جهت جریان می‌باشد، به گونه‌ای که میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از جنوب و جنوب غربی آبخوان به سمت شمال و شمال شرقی آن افزایش داشته و بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی مربوط به منحنی‌های همین بخش (خروجی دشت) می‌باشد. این روند تحت تأثیر جبهه تغذیه در جنوب و جنوب غرب آبخوان، دانه ریز شدن بافت خاک، کاهش شیب، افزایش زمان ماندگاری آب و آب‌های برگشتی کشاورزی در جهت جریان می‌باشد. علاوه بر این مقایسه دو نقشه فوق نشان می‌دهد که با گذشت زمان (طی یک دوره ۱۸ ساله) میزان هدایت الکتریکی دشت به طور میانگین افزایش چشمگیری داشته است. به طوری که مقادیر هدایت الکتریکی منطقه در سال ۱۳۷۴، از ۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در جنوب و جنوب غربی دشت (بالا دست منطقه) به ۶۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در قسمت‌های شمالی (پایین

دست منطقه) افزایش می‌یابد و همین مقادیر در سال ۱۳۹۳، از ۳۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در بخش‌های ورودی دشت به ۷۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در بخش‌های شمالی و خروجی دشت تغییر کرده است. علاوه بر این، همان‌طور که در نقشه هدایت الکتریکی سال ۱۳۹۳ مشاهده می‌گردد، خطوط هدایت الکتریکی در جنوب زواره یک فشردگی و تعقر قابل توجهی در خلاف جهت عمومی جریان آب زیرزمینی نشان می‌دهند. چنین پدیده‌ای نشانگر هجوم آب شور از بخش‌های شمالی آبخوان (مناطق تخلیه) به سمت بخش‌های جنوبی آبخوان (مناطق تغذیه‌ای) می‌باشد. از دلایل اصلی هجوم آب شور و افزایش مقادیر هدایت الکتریکی در این دشت می‌توان به پایین افتادن سطح آب زیرزمینی در اثر برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان و تا حدودی کاهش مقدار بارش در منطقه اشاره کرد. با توجه به اینکه لیتولوژی در بخش‌های جنوبی (ورودی دشت) عمدتاً از واحدهای آذرین تشکیل شده است و همچنین مجاورت این منطقه با نواحی تغذیه‌ای آبخوان و در نتیجه زمان کمتر اقامت آب در آبخوان، در این قسمت آب زیرزمینی دارای املاح کمتر و در نتیجه هدایت الکتریکی کمتر می‌باشد. اما با نزدیک شدن به نواحی مرکزی و شمالی دشت به علت نزدیک شدن به محل تخلیه، دانه ریز شدن بافت خاک، وجود سازندهای گچی-نمکی و کاهش نفوذپذیری، آب‌های زیرزمینی دارای هدایت الکتریکی بالا و کیفیت نامناسبی می‌باشند.

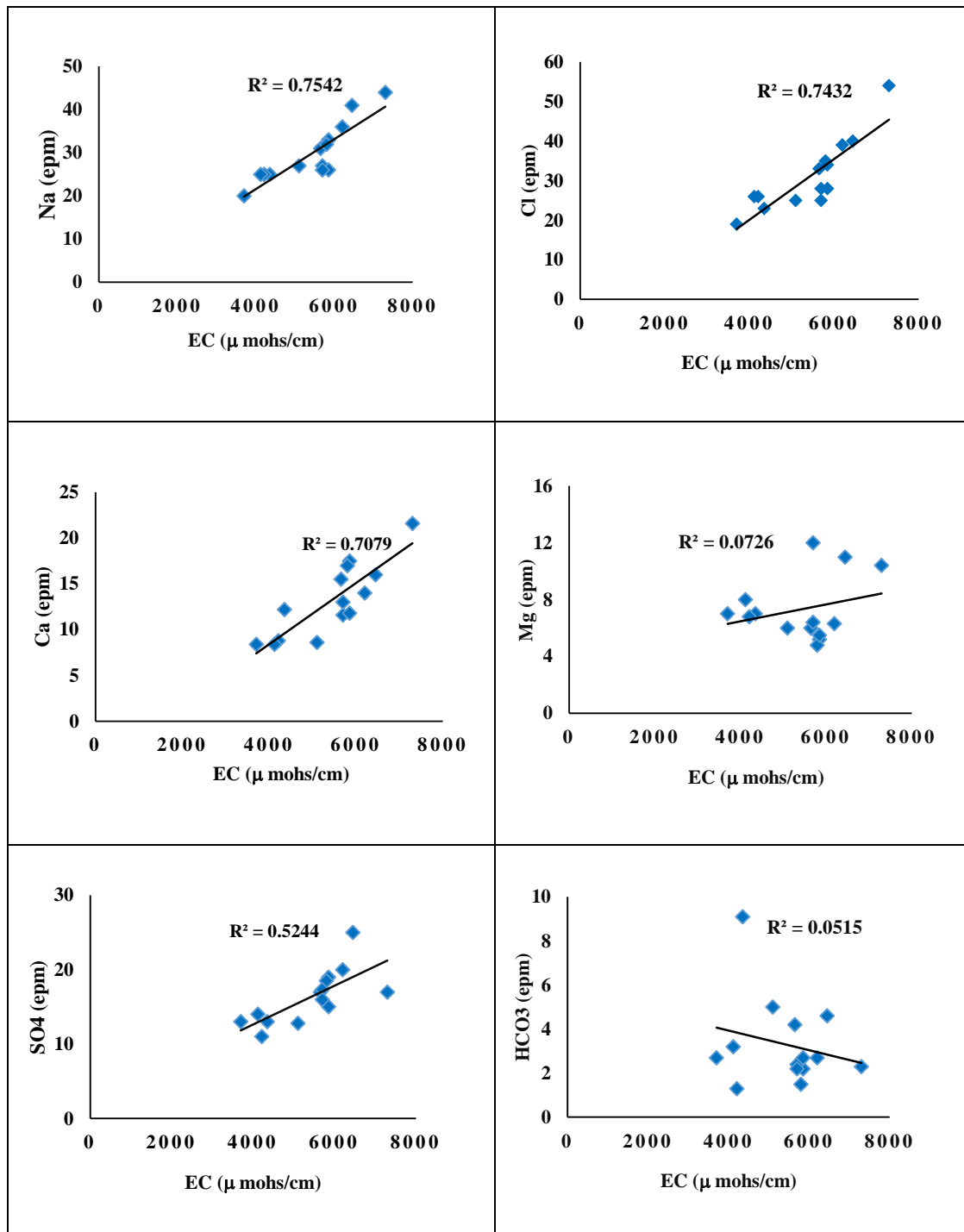


شکل ۴-۱۵- نقشه هدایت الکتریکی دشت اردستان در سال ۱۳۷۴



شکل ۴-۱۶- نقشه هدایت الکتریکی دشت اردستان در سال ۱۳۹۳

به منظور تعیین ارتباط بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف، نمودار غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات، کلر و بی‌کربنات در برابر مقادیر هدایت الکتریکی ترسیم شده است (شکل ۴-۱۷).

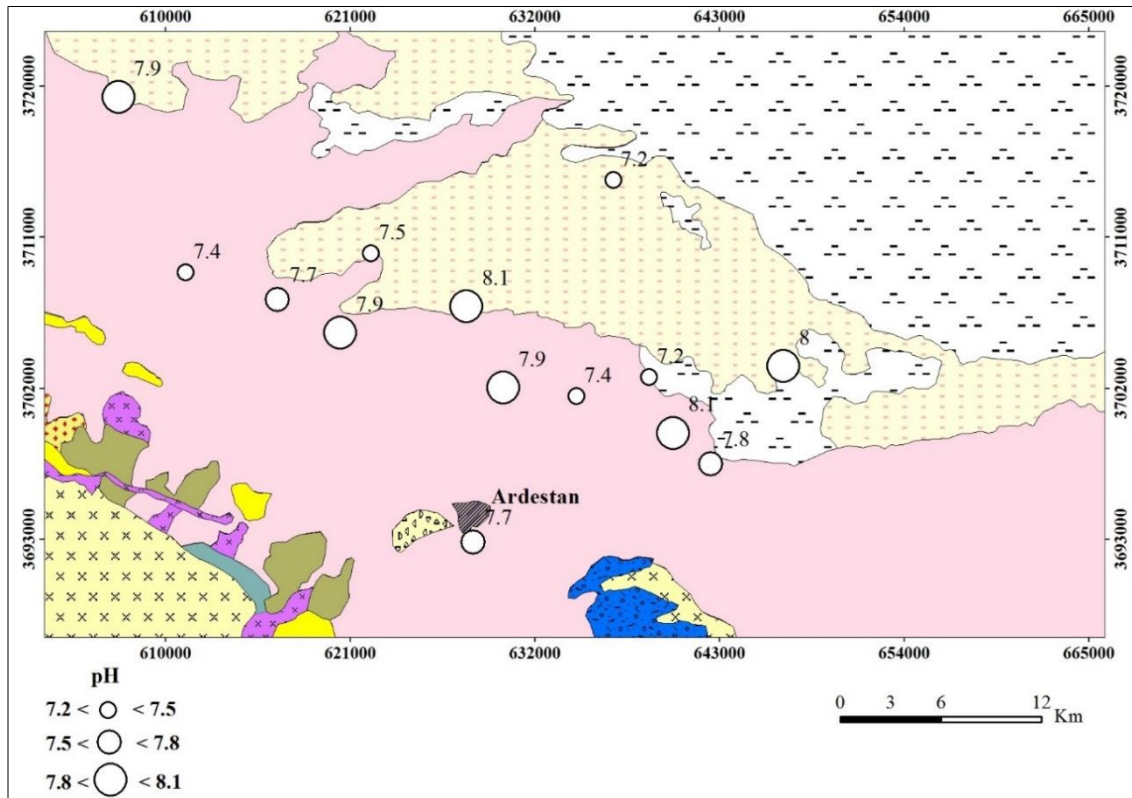


شکل ۴-۱۷- نمودار رابطه‌ی یون‌های مختلف در مقابل هدایت الکتریکی در دشت اردستان

با توجه به نمودارهای ترسیم شده ملاحظه می‌شود که به غیر از یون‌های منیزیم و بی‌کربنات بقیه یون‌ها با مقادیر هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی را نشان می‌دهند. علاوه بر این بهترین رابطه بین غلظت یون‌ها و مقادیر هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به یون‌های سدیم، کلر، کلسیم و سولفات می‌باشد. در واقع، یون‌های سدیم و کلر بیشترین همبستگی با هدایت الکتریکی را نشان می‌دهند که به نوعی بیانگر تخریب کیفیت آب زیرزمینی در این دشت است.

۴-۸-۲- ارزیابی مقادیر pH در دشت اردستان

pH یکی دیگر از خواص فیزیکوشیمیایی آب و نشان‌دهنده مقدار یون هیدروژن موجود در آب بوده که می‌تواند بر روی انحلال مواد و فعالیت‌های بیولوژیکی آن اثر بگذارد. میزان pH آب به عواملی همچون مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و درجه حرارت آب وابسته است، به گونه‌ای که با افزایش دما و مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، pH کاهش و با افزایش میزان یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب، pH نیز افزایش می‌یابد. از این رو، بررسی تغییرات زمانی و مکانی pH در سفره آب زیرزمینی جهت شناخت و درک بهتر سیستم هیدروژنوشیمی آبخوان لازم می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، pH آب چاه‌های انتخابی همانند هدایت الکتریکی در محل چاه‌ها با pH متر اندازه‌گیری شده و نتایج بدست آمده در جدول (۴-۶) درج شده است. با توجه به جدول مذکور ملاحظه می‌گردد که مقادیر pH نمونه‌های آب در دشت اردستان بین ۷/۲ و ۸/۱ متغیر بوده است. هم‌چنین میانگین pH برابر با ۷/۷ می‌باشد. شکل (۴-۱۸) مقادیر pH مربوط به چاه‌های انتخابی در دشت اردستان را نشان می‌دهد، و همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های آب اکثراً دارای pH بازی می‌باشند.



شکل ۴-۱۸- مقادیر pH نمونه‌های آب زیرزمینی در دشت اردستان

۴-۸-۳- ارزیابی غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی

یون‌های مختلف با توجه به غلظت خود تأثیر بسزایی بر وضعیت هیدروژئوشیمیایی آبخوان‌ها داشته، از این رو مطالعه و بررسی آن‌ها جهت شناخت تغییرات شیمی آب‌های زیرزمینی لازم می‌باشد. در این بخش به بررسی تغییرات یون‌های اصلی در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه اردستان پرداخته می‌شود. غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده مربوط به منطقه مورد مطالعه در جدول (۴-۵) درج شده است. همانطور که از اطلاعات جدول مذکور ملاحظه می‌شود، یون‌های کلر و سدیم بیشترین و یون بی‌کربنات کمترین مقادیر را در بین کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی به خود اختصاص داده‌اند. کاتیون‌های اصلی سدیم، کلسیم و منیزیم و آنیون‌های اصلی کلر و سولفات می‌باشند که به طور جداگانه به اختصار توضیح داده می‌شوند.

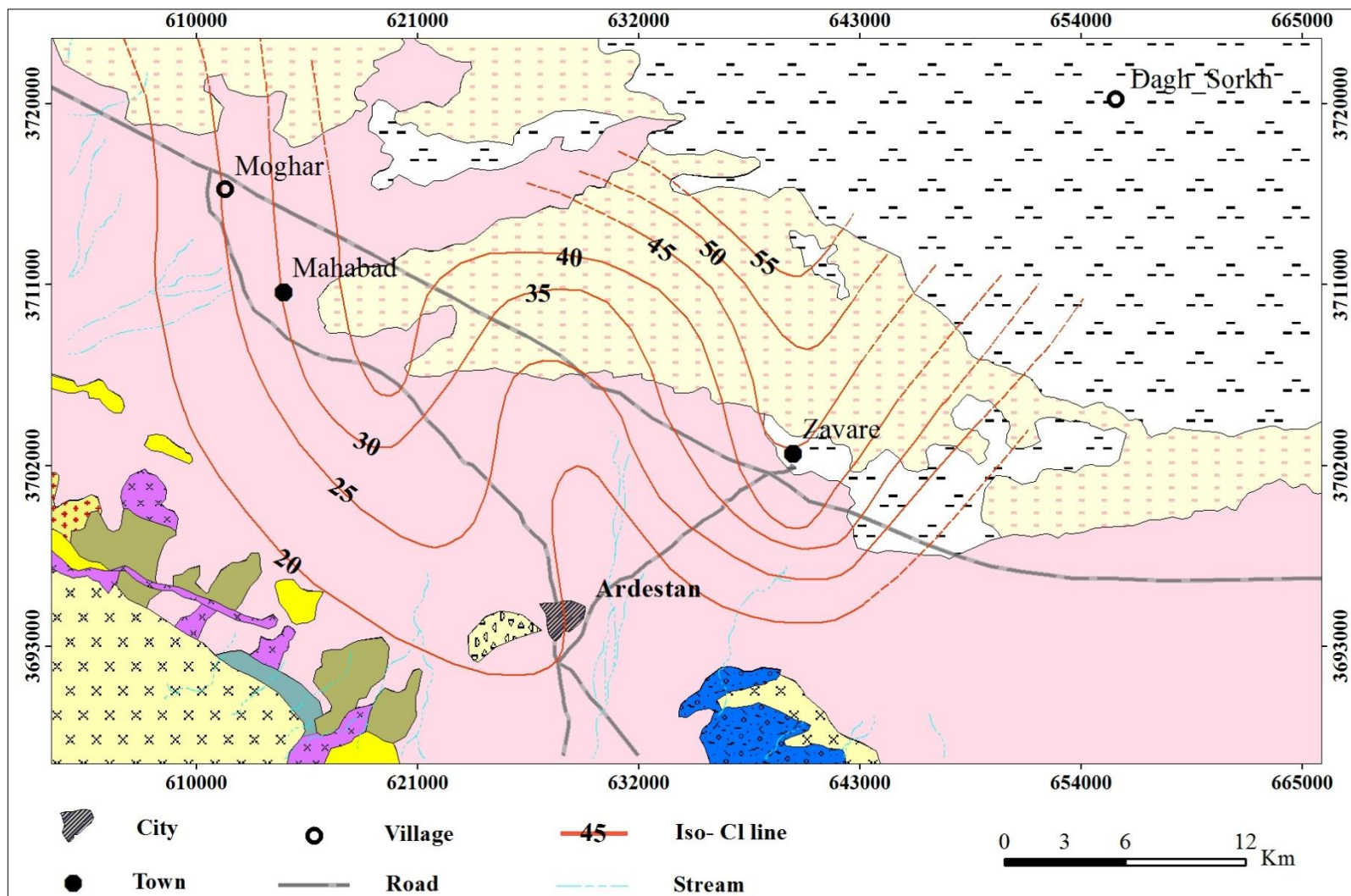
الف- ارزیابی غلظت کلر

مقدار یون کلر در آب یکی از عوامل مهم تعیین کننده کیفیت آب برای مصارف شرب بوده و ازدیاد آن به ویژه در مواردی که منشاء آن هالیت (Halite) باشد سبب افزایش شوری می‌گردد. یون کلر به دلیل

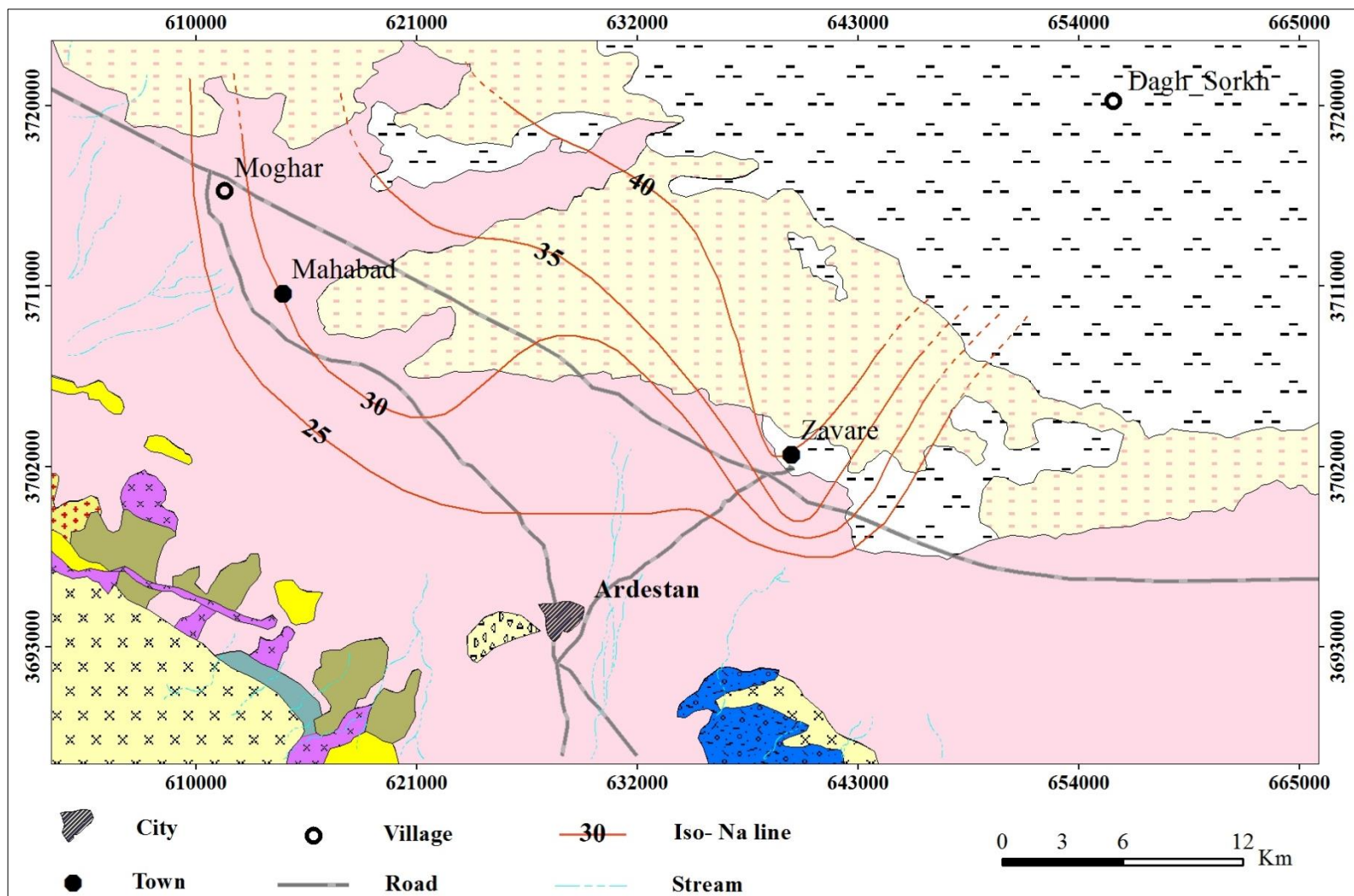
خواص فیزیکوشیمیایی خود و خصوصیات فاز جامد از مهم‌ترین پارامترها برای بررسی منشاء آب شور قلمداد می‌شود. این یون تغییرات خیلی جزئی در کوتاه مدت و بلند مدت در اثر برخورد با سازندهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد، اما تحت تأثیر فرایندهای زمین‌شناسی، تبادل یونی و جذب سطحی قرار نمی‌گیرد. به دلیل بالا بودن میزان این یون در آب شور، می‌تواند به عنوان ردیاب در تعیین منشاء آب شور استفاده شود. در اکثر موارد منشاء یون کلر در آب‌های زیرزمینی انحلال هالیت و یا نفوذ آب شور دریا به آبخوان‌های ساحلی است. از همین رو غلظت‌های بالای این یون در آب زیرزمینی می‌تواند به سادگی مورد ارزیابی قرار گیرد. در رابطه با منشاء کلر در دشت اردستان می‌توان گفت عامل اصلی افزایش یون کلر انحلال رسوبات گچی و نمکی (هالیت) می‌باشد. با توجه به شرایط اقلیمی، قرارگیری منطقه در حاشیه کویر (شرایط محیطی خشک و نیمه‌خشک) و تبخیر زیاد وجود اینگونه رسوبات قابل توجیه می‌باشد. همانطور که در جدول (۴-۵) قابل ملاحظه است، برای تمامی نمونه‌های برداشته شده در دشت اردستان، کلر مهم‌ترین آنیون می‌باشد. شکل (۴-۱۹) نقشه کلر را برای بهمن ماه ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. کمترین مقادیر کلر مربوط به بخش‌های جنوب-جنوب غربی دشت و بیشترین مقدار آن مربوط به بخش‌های شمال-شمال شرقی می‌باشد. با مقایسه نقشه‌های کلر و هدایت الکتریکی ملاحظه می‌شود که روند عمومی این دو نقشه کم و بیش با یکدیگر همخوانی دارند.

ب- ارزیابی غلظت سدیم

یکی از فراوانترین فلزات قلیایی موجود در جدول تناوبی عناصر و یکی از مهم‌ترین کاتیون‌های موجود در آب‌های زیرزمینی بوده و رابطه مستقیمی با درجه شوری آب نشان می‌دهد. منشاء اصلی سدیم در آب‌های زیرزمینی را می‌توان انحلال هالیت، هوازگی و به مقدار کمتری انحلال فلدسپات‌ها دانست. برای تمامی نمونه‌های برداشته شده در دشت اردستان، سدیم مهم‌ترین کاتیون می‌باشد. برای تمام نمونه‌هایی که غلظت کلر آن‌ها بالا می‌باشد غلظت سدیم نیز بالا است. بنابراین، غلظت این کاتیون نیز همانند غلظت کلر با مقادیر هدایت الکتریکی مطابقت خوبی را نشان می‌دهد. شکل (۴-۲۰) نقشه سدیم را برای بهمن ماه ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار سدیم از حدود ۲۰ تا ۴۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در منطقه متغیر بوده و همچون مقادیر کلر، کمترین و بیشترین مقدار یون سدیم به ترتیب مربوط به بخش‌های جنوب-جنوب غربی و شمال-شمال شرقی دشت اردستان می‌باشد.



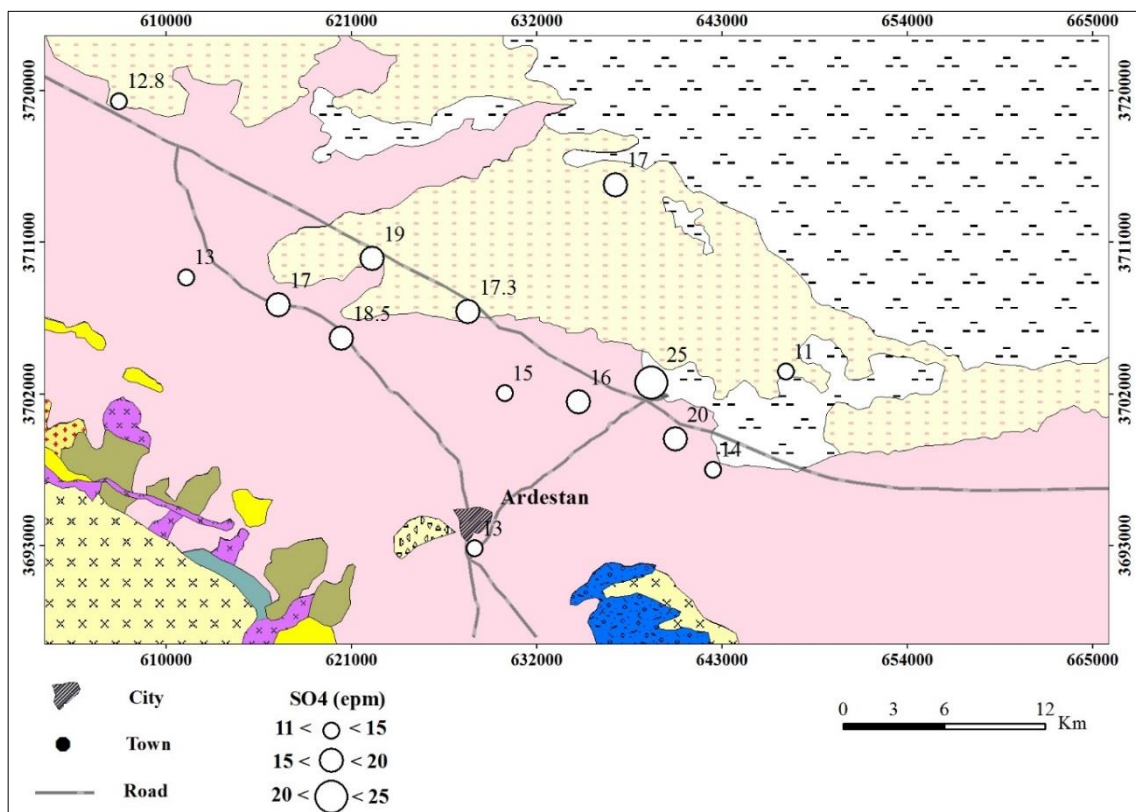
شکل ۴-۱۹- نقشه کلر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان در بهمن ماه ۱۳۹۳



شکل ۲-۲- نقشه سدیم نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان در بهمن ماه ۱۳۹۳

ج- ارزیابی غلظت سولفات

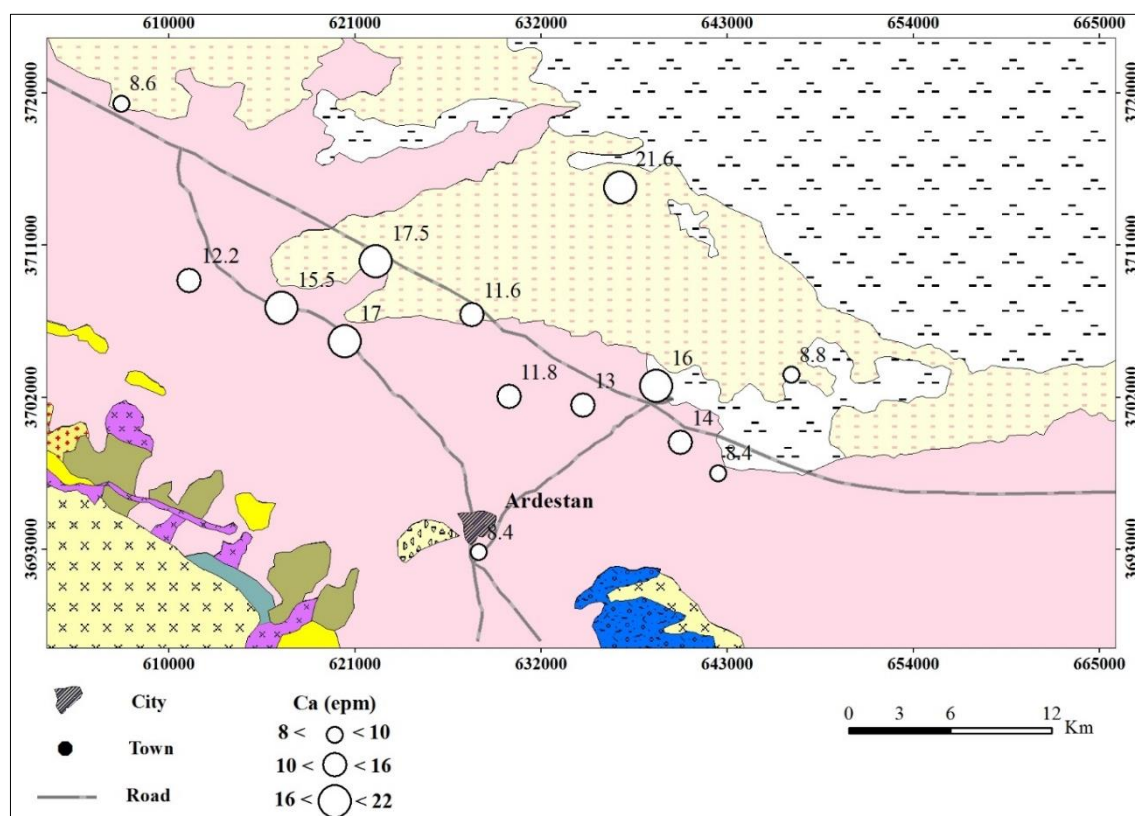
دومین آنیون غالب نمونه‌های برداشته شده از دشت اردستان، آنیون سولفات می‌باشد. سولفات نیز یکی از آنیون‌های مهم مؤثر بر افزایش هدایت الکتریکی بوده و منشاء اصلی آن در محدوده مورد مطالعه، وجود ژئوپس در سازندها و رسوبات تبخیری منطقه می‌باشد. شکل (۴-۲۱) نقشه سولفات به صورت تغییرات مکانی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور، ملاحظه می‌شود که مقادیر این آنیون از حدود ۱۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در بخش‌های جنوبی دشت (ورودی آبخوان) تا حدود ۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در محدوده مرکز و قسمت‌های شمالی دشت متغیر است. تغییرات غلظت آنیون سولفات در مناطق مختلف دشت اردستان، تا حدودی با تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی مطابقت دارد.



شکل ۴-۲۱- غلظت یون سولفات در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان

ه- ارزیابی غلظت کلسیم

کلسیم یکی از کاتیون‌های مهم در اغلب منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، این کاتیون برای اکثر نمونه‌ها، پس از سدیم کاتیون غالب می‌باشد. منشأ کلسیم در آب عمدتاً به سنگ‌های آهکی، دولومیتی و سنگ گچ مربوط می‌شود (کرمی ۱۳۹۲). مقدار بالای کلسیم در نمونه‌های آب منطقه را نیز می‌توان به وجود سازندهای گچی در این بخش و تغذیه اندک آبخوان نسبت داد. همانطور که از شکل (۴-۲۲) ملاحظه می‌شود غلظت یون کلسیم در محدوده‌ای که بیشترین افت را نشان می‌دهد، در مقایسه با بقیه مناطق بیشتر است. مقادیر این یون در منطقه از حدود ۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تا حدود ۲۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بوده و همخوانی نسبتاً ضعیفی را با مقادیر هدایت الکتریکی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۲- غلظت یون کلسیم در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان

۴-۸-۴- بررسی روند تغییرات سختی آب

میزان سختی آب به غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب وابسته است و بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم بیان می‌شود. سختی آب، بسته به میزان ترکیبات معدنی موجود در آب، ساختار زمین‌شناسی ناحیه، منبع آب مورد برداشت و نیز شرایط اقلیمی منطقه، از نقطه ای به نقطه دیگر متفاوت می‌باشد. سختی کل با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌گردد (Todd 2005).

$$H_T = 2.5 \text{ Ca} + 4.1 \text{ Mg} \quad \text{معادله ۴-۲}$$

جدول (۴-۷) سختی آب‌ها را بر اساس طبقه بندی ارائه شده توسط (Todd 2005) نشان می‌دهد. با عنایت به جدول مذکور و مقایسه آن با مقادیر سختی درج شده در جدول (۴-۶) ملاحظه می‌شود که تمامی نمونه‌های مورد نظر در رده آب‌های خیلی سخت قرار می‌گیرند. مقادیر سختی در کل دشت بسیار بالا بوده و از حدود ۷۲۵ تا ۱۵۹۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم در حال تغییر می‌باشد. با توجه به وجود کانی‌های گچی در رسوبات منطقه سختی غیر کربناته بالای آب زیرزمینی در آبخوان اردستان قابل توجیه می‌باشد.

جدول ۴-۷- طبقه بندی آب بر اساس سختی (Todd 2005)

سختی (mg/l as CaCO ₃)	نوع آب
۰-۷۵	نرم
۷۵-۱۵۰	کمی سخت
۱۵۰-۳۰۰	سخت
۳۰۰<	خیلی سخت

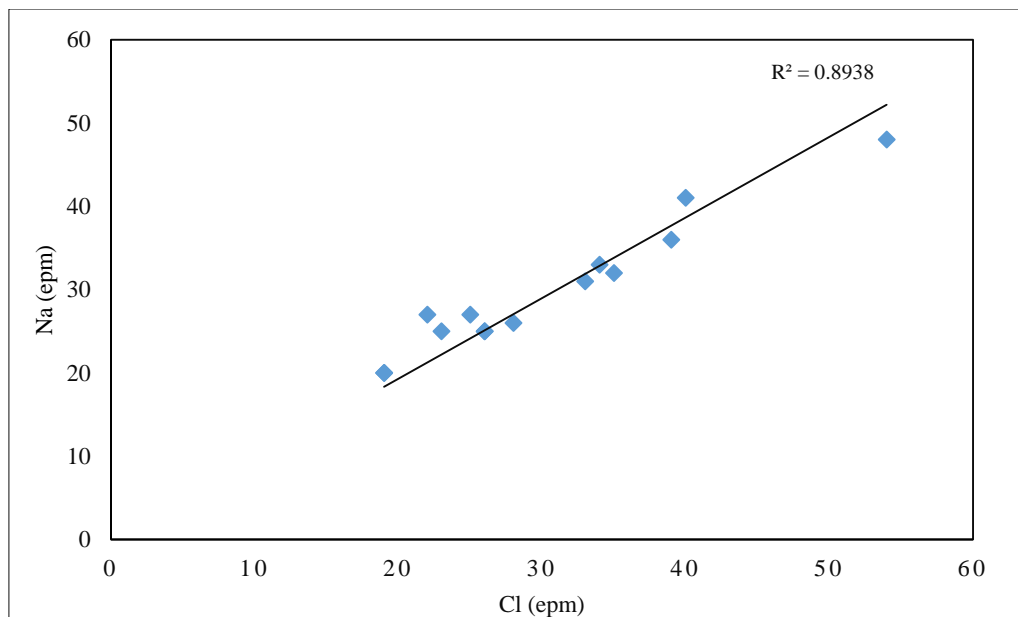
۴-۸-۵- نمودارهای ترکیبی هیدروژئوشیمیایی در منطقه

همانطور که مشاهده شد غلظت یون‌های موجود در آب زیرزمینی در بخش‌هایی از دشت اردستان تحت تأثیر روند طبیعی جریان نبوده و در برخی از قسمت‌های آبخوان تغییراتی را نشان می‌دهد. به

منظور بررسی دقیق تر هیدروژئوشیمی آبخوان دشت اردستان (مطالعه رابطه یون‌ها، نسبت‌های یونی و مجموعه‌های یونی)، از تعدادی نمودارهای ترکیبی استفاده شده است که در ادامه ارائه می‌شوند:

الف - نمودار سدیم - کلر

ترسیم نمودار غلظت سدیم در برابر غلظت کلر در صورتی که رابطه خطی خوبی را نشان دهد می‌تواند شاهی بر انحلال رسوبات تبخیری حاوی سدیم و کلر باشد (کرمی ۱۳۸۹). به عبارت دیگر، در آب‌های طبیعی اگر نسبت یون‌های سدیم و کلر یک باشد، منشاء آن‌ها از انحلال هالیت است. بر اساس این نمودار در شکل (۴-۲۳) یک رابطه خطی با شیب نزدیک به یک بین این دو یون مشاهده می‌شود و تأییدی بر انحلال رسوبات تبخیری همچون هالیت در منطقه می‌باشد. چنین رابطه‌ای معمولاً در مناطقی که کیفیت آب تخریب شده است، مشاهده می‌شود.

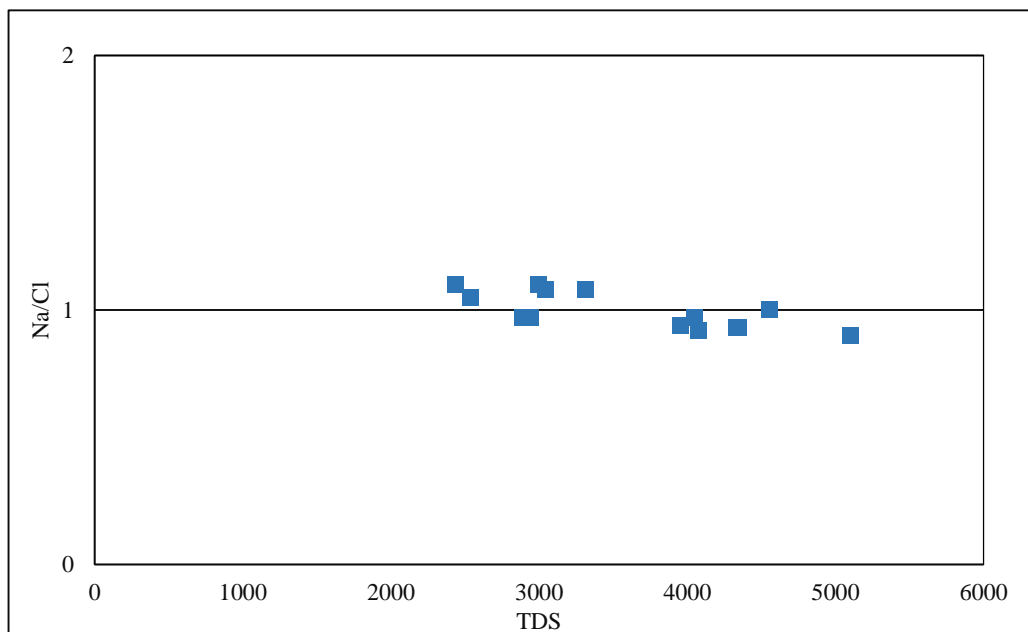


شکل ۴-۲۳- نمودار غلظت سدیم در برابر غلظت کلر

ب- نمودار نسبت سدیم به کلر در برابر کل املاح محلول در آب

نمودار ترکیبی Na/Cl در مقابل TDS جهت تعیین تبادلی یونی در نمونه‌های آب دشت اردستان

ترسیم شده است (شکل ۴-۲۴). بر اساس این نمودار نمونه‌هایی که در بالای خط $Na/Cl=1$ قرار می‌گیرند دارای منشاء دوگانه بوده و علاوه بر انحلال هالیت، فرایند تبادل یونی نیز در آن‌ها مشاهده می‌گردد (جلالی ۱۳۹۲). همچنین در نمونه‌هایی که زیر خط مذکور قرار گرفته‌اند تبادل یونی معکوس رخ داده است. همانطور که در شکل (۴-۲۴) ملاحظه می‌شود تقریباً تمام نقاط با انحراف اندکی روی خط $Na/Cl=1$ قرار گرفته‌اند که غالب بودن انحلال هالیت را نشان می‌دهد.

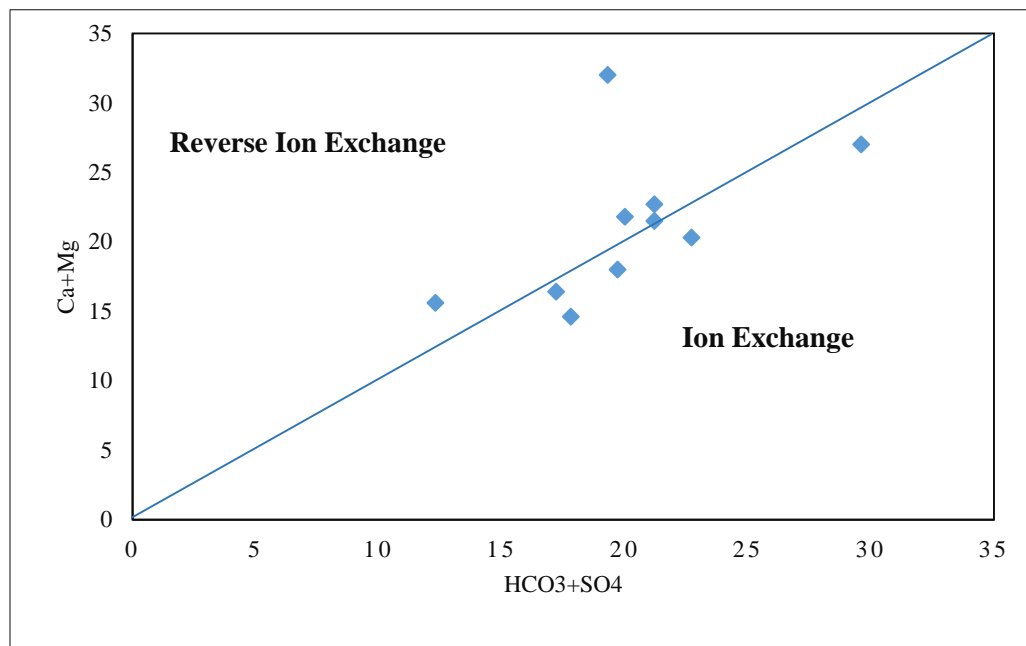


شکل ۴-۲۴- نمودار نسبت سدیم به کلر در برابر کل املاح محلول در آب

ج- نمودار مجموع کلسیم و منیزیم - مجموع سولفات و بی‌کربنات

نمودار مجموع غلظت‌های کلسیم و منیزیم در برابر مجموع غلظت‌های سولفات و بی‌کربنات معمولاً به منظور تعیین منشاء یون‌های سولفات، بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نمودار نقاطی که روی خط شیب ۴۵ درجه قرار گرفته‌اند انحلال ژپس، نقاطی که در زیر این خط واقع شده‌اند تبادل یونی، و نقاط بالای آن تبادل یونی معکوس را نشان می‌دهند (کرمی ۱۳۸۹). همانطور که در شکل (۴-۲۵) ملاحظه می‌گردد، تعدادی از نمونه‌های آب مورد مطالعه

تبادل یونی و تعدادی از نمونه‌ها نیز تبادل یونی معکوس را بیان می‌کنند. برای مثال زمانی که در محیط آبگین یون سدیم جایگزین یون کلسیم می‌شود، می‌توان گفت تبادل یونی معکوس و زمانی که یون کلسیم جایگزین یون سدیم می‌شود تبادل یونی مستقیم رخ داده است.

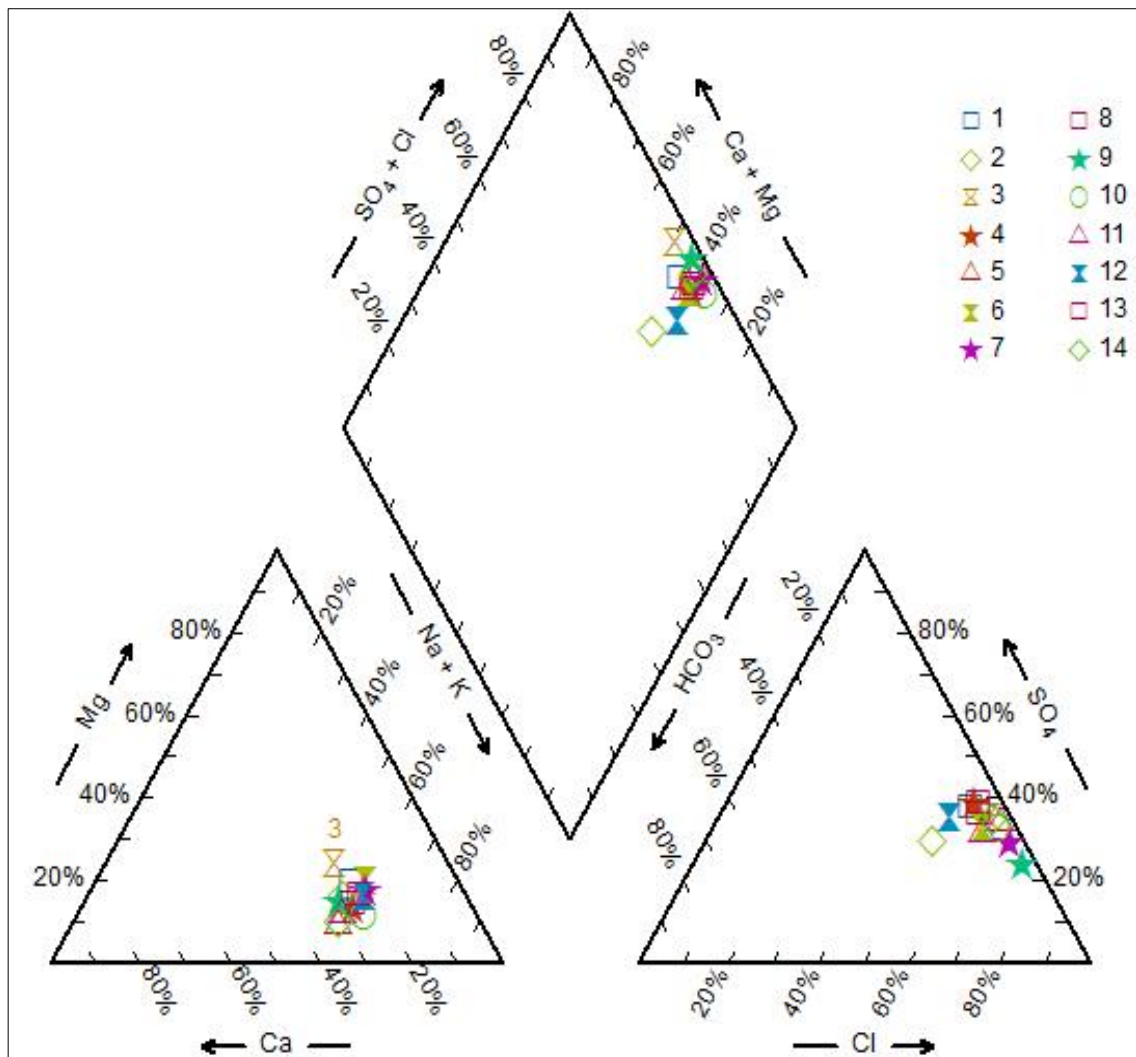


شکل ۴-۲۵- نمودار مجموع غلظت کلسیم و منیزیم در برابر مجموع سولفات و کربنات

۴-۸-۶- بررسی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در دشت اردستان

یکی از نمودارهای متداول جهت بررسی هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی نمودار پایپر (Piper) می‌باشد. در نمودار ترکیبی پایپر مثلث سمت راست نشان‌دهنده درصد اکسی‌والان آنیون‌ها و مثلث سمت چپ نشان‌دهنده درصد اکسی‌والان کاتیون‌ها می‌باشد و درون هر مثلث می‌تواند به چهار ناحیه با زون‌های غالب و غیر غالب تقسیم گردد. در واقع از این نمودار برای تعیین رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی، مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان و ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی استفاده می‌شود. زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی بیانگر غالب بودن اسیدهای ضعیف و یا اسیدهای قوی، عناصر قلیایی و یا قلیایی خاکی می‌باشد. شکل (۴-۲۶) نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب

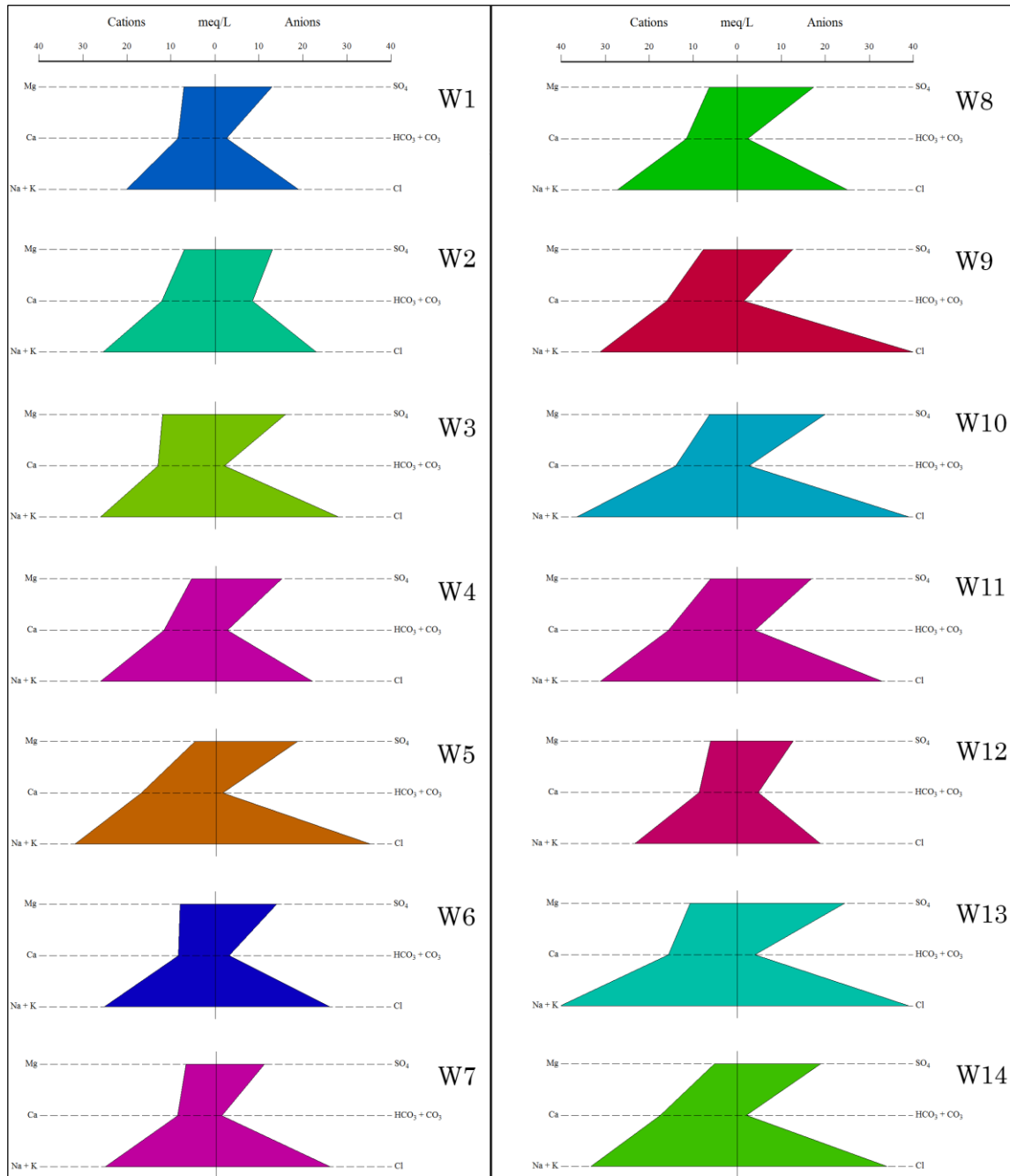
زیرزمینی دشت اردستان را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌ها در سمت راست لوزی نزدیک به گوشه قرار دارند که بیانگر شوری آب‌های منطقه و غلبه مطلق اسیدهای قوی می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که عناصر قلیائی (Na+K) بر عناصر قلیائی خاکی (Ca+Mg) غلبه دارند.



شکل ۴-۲۶- نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان

۴-۸-۷- ارزیابی تیپ آب در دشت اردستان

جهت بررسی فرمول یونی آب و یا تعیین تیپ آب از نمودار استیف (Stiff) استفاده می‌شود. یکی از روش‌های مناسب برای مقایسه سریع و آسان ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب نمودار استیف می‌باشد. با استفاده از این نمودار نه تنها تیپ و رخساره آب به سادگی قابل تشخیص است، بلکه الگوی پلیگون‌های ایجاد شده می‌تواند برای طبقه‌بندی نمونه‌ها بسیار مناسب باشد. همانطور که در شکل (۴-۲۷) مشاهده می‌شود، تیپ بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه اردستان کلروره و رخساره آن‌ها سدیک است که علت اصلی آن تخریب شدید کیفیت آب در این منطقه می‌باشد. علاوه بر این در بعضی از نمونه‌های آب زیرزمینی (مربوط به چاه‌های W3، W8، W10 و W13) مقادیر بالای آنیون سولفات مشاهده می‌گردد. چاه‌های مذکور در قسمت‌های مرکزی دشت و نزدیک به سازندهای انحلالی گچی-نمکی قرار دارند. با توجه به لیتولوژی این بخش از منطقه و انحلال کانی‌های سولفات‌ها همچون ژپس مقادیر بالای سولفات در این نمونه‌ها قابل توجه می‌باشد. با توجه به الگوهای مختلف نمودار استیف نمونه‌های آب دشت اردستان می‌توان نمونه‌های آب این دشت را بر اساس نسبت منیزیم و کلسیم به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل نمونه‌هایی می‌شود که مقادیر کلسیم و منیزیم آن‌ها تقریباً برابر بوده (W1، W3، W6 و W7) و گروه دیگر شامل نمونه‌هایی است که مقدار کلسیم آن‌ها بیشتر از مقدار منیزیم آن‌ها می‌باشد. همچنین بر اساس مقایسه مساحت پلیگون‌های بدست آمده مشاهده می‌شود که نمونه‌های شماره W5، W9، W10، W11، W13 و W14 دارای بیشترین مقادیر املاح در آب هستند. این نمونه‌ها مربوط به چاه‌های واقع در قسمت‌های انتهایی دشت، جایی که زمان ماندگاری آب در سازند به بیشترین حد خود رسیده است می‌باشند.

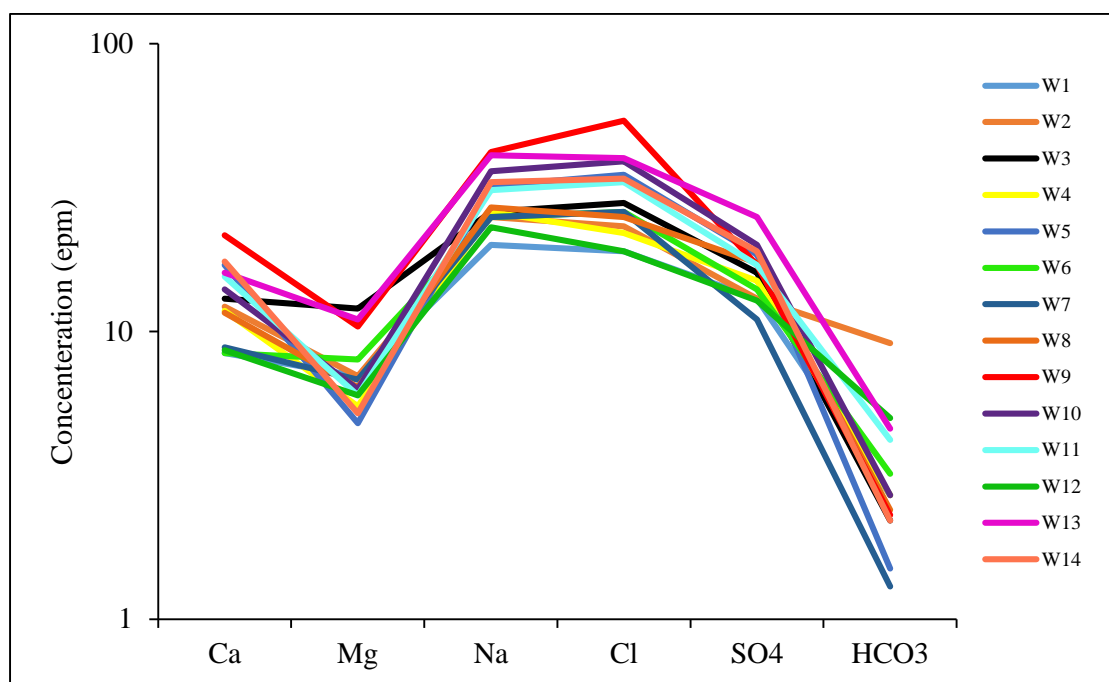


شکل ۴-۲۷- نمودار استیف نمونه‌های آب دشت اردستان

۴-۸-۸- بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی

نمودار شولر (Schoeller) به منظور بررسی روند مقادیر یون‌های اصلی موجود در آب، مقایسه سریع و همزمان تعداد زیادی از نمونه‌های آب و یکسان بودن یا نبودن منشأ آنها استفاده می‌شود. در نمودار نیمه لگاریتمی شولر غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر و بی‌کربنات بر روی محور

عمودی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر با مقیاس لگاریتمی درج شده است. در این نمودار اگر خطوطی که مقادیر یون‌ها را به هم متصل می‌کنند برای نمونه‌های مختلف موازی باشند می‌توان استنباط کرد که نمونه‌ها دارای منشأ یکسان هستند (Todd and Mays 2005). بر اساس نمودار رسم شده (شکل ۴-۲۸) مشاهده می‌شود که روند منحنی غلظت یون‌ها برای اکثریت نمونه‌ها تقریباً مشابه می‌باشد که بیانگر یکسان بودن منشأ آن‌ها است.



شکل ۴-۲۸- نمودار شولر نمونه‌های آب دشت اردستان

۴-۸-۹- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی

برای ارزیابی آب مصرفی در کشاورزی و آبیاری باید پارامترهای هدایت الکتریکی، شوری، درصد سدیم، نسبت جذبی سدیم و خطر منیزی را در نظر گرفت. مناسب بودن آب برای مصارف کشاورزی به تأثیر مواد معدنی موجود در آب بر روی گیاه و خاک مربوط می‌شود (Huang 2015). غلظت بالای سدیم باعث کاهش نفوذپذیری خاک شده و به طور غیرمستقیم بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد. این اثرات ناشی از جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم توسط یون‌های سدیم در رس‌ها و کلوئیدهای خاک است (کرمی ۱۳۹۲). میزان این جانشینی معمولاً با نسبت جذب سدیم (SAR) برآورد می‌شود که با معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

در این معادله غلظت یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. در صورتی که نسبت جذب سدیم کمتر از ۴ باشد، خاک از نظر مقدار سدیم مشکلی ندارد. اما اگر این نسبت از ۱۳ بیشتر شود خاک سدیمی در نظر گرفته می‌شود. در جدول (۴-۸) مقادیر نسبت جذب سدیم برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان ارائه شده است. همانطور که در این جدول قابل مشاهده است، مقدار نسبت جذب سدیم برای تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان بیشتر از ۴ و به طور میانگین برای کل دشت ۷ در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس می‌توان گفت خاک‌های منطقه نیز در معرض خطر سدیمی شدن قرار گرفته‌اند و برای کشاورزی نامناسب می‌باشند.

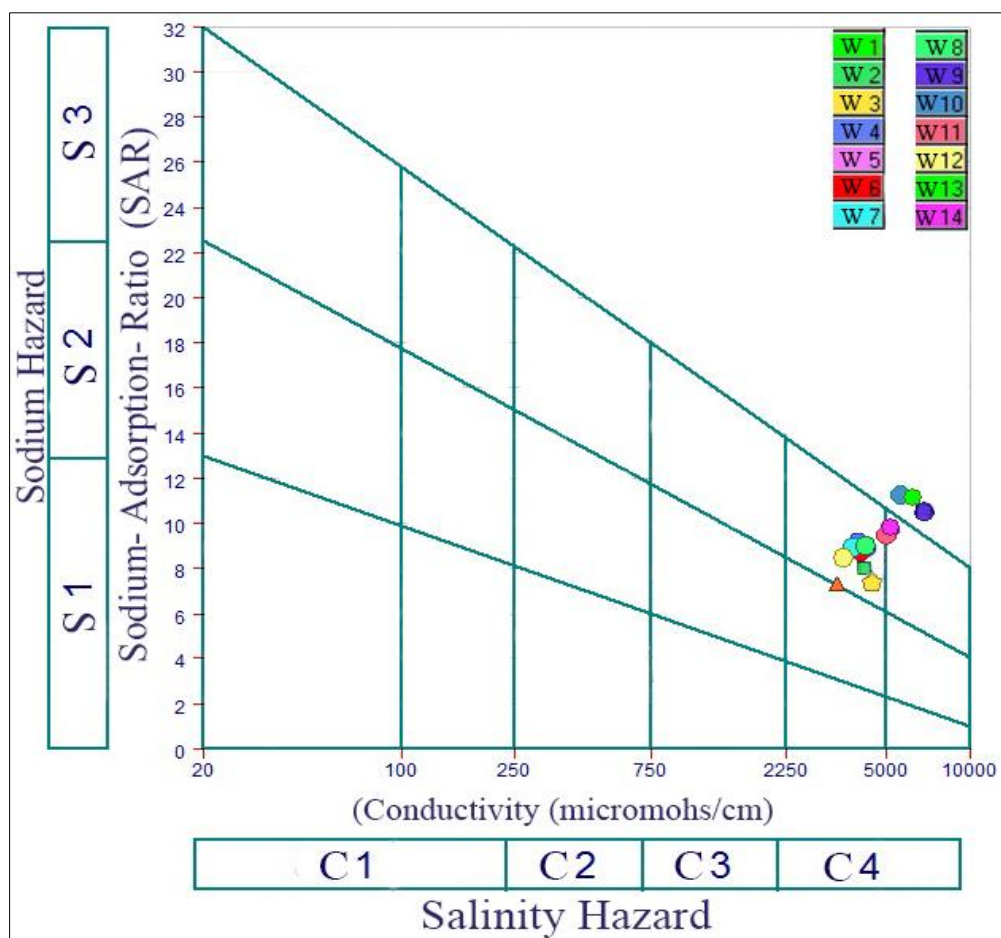
جدول ۴-۸- مقادیر S.A.R محاسبه شده برای

نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان

S.A.R	شماره چاه	S.A.R	شماره چاه
۷/۰۲	W8	۵/۸۰	W1
۸/۱۱	W9	۶/۳۱	W2
۸/۶۹	W10	۵/۹۷	W3
۷/۲۱	W11	۶/۸۲	W4
۶/۷۵	W12	۷/۲۷	W5
۸/۸۴	W13	۷/۱۰	W6
۷/۴۴	W14	۷/۱۶	W7

برای تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه اردستان جهت مصارف کشاورزی از روش طبقه بندی ویلکاکس (Wilcox) استفاده گردید. این نمودار بر اساس دو معیار هدایت الکتریکی (خطر شوری) و نسبت جذب سدیم (SAR) به ۱۶ رده تقسیم شده است. محور افقی مقادیر هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر و محور عمودی، مقادیر SAR را نشان می‌دهد. رده C1S1 بهترین کیفیت و

رده C4S4 بدترین کیفیت را برای مصارف کشاورزی دارا می‌باشند. نمودار ویلکاکس برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در بهمن ماه ۱۳۹۳ ترسیم شده است (شکل ۴-۲۹). طبق این نمودار، ملاحظه می‌شود که آب‌های زیرزمینی در دشت اردستان در تقسیم‌بندی آب‌های با کیفیت نامناسب به لحاظ کشاورزی قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۲۹- نمودار ویلکاکس نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان اردستان

۴-۸-۱۰- ارزیابی شاخص‌های اشباع کانی‌های مهم در دشت اردستان

یکی دیگر از راه‌های بررسی دقیق‌تر تأثیر لیتولوژی بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی محاسبه شاخص اشباع برای کانی‌های مختلف می‌باشد. جهت محاسبه شاخص‌های اشباع چهار کانی مهم کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت در منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار PHREEQC استفاده شد. به طور کلی

اگر شاخص اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به یک کانی منفی باشد بیانگر تحت اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به آن کانی است و آب زیرزمینی می‌تواند همچنان این کانی را در خود حل کند، اما در صورتی که شاخص اشباع نسبت به یک کانی مثبت باشد بدین معنی است که کانی مورد نظر نمی‌تواند در آب زیرزمینی حل شود و در نتیجه رسوب می‌کند. نتایج مندرج در جدول (۴-۹) و شکل (۴-۳۰) شاخص اشباع مربوط به کانی‌های کلسیت، دولومیت، هالیت و ژپس را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که بالاترین مقادیر شاخص اشباع هالیت برابر با ۴/۴۴- مربوط به چاه شماره (W9) بوده که در قسمت‌های انتهایی و خروجی دشت (بخش شمال-شمال شرقی) واقع گردیده است. در این منطقه به علت هجوم آب‌های شور از کویر دق‌سرخ آب زیرزمینی به شدت تخریب شده است. به عبارتی در این منطقه بیشترین مقدار انحلال هالیت در آب زیرزمینی رخ داده است. کمترین مقدار شاخص اشباع هالیت نیز برابر با ۵/۱۹- و مربوط به چاه شماره (W1) می‌باشد. این چاه در قسمت ورودی دشت در آبرفت‌های ارتفاعات منطقه اردستان احداث شده است. در این منطقه آب‌های زیرزمینی به دلیل تغذیه دشت توسط ارتفاعات از کیفیت نسبتاً خوبی برخوردار هستند. به عبارت دیگر آب‌های زیرزمینی در این ناحیه نسبت به کانی هالیت به مقدار کمتری تحت اشباع می‌باشد. همانطور که از شکل (۴-۳۰) ملاحظه می‌شود، به‌طور کلی میزان شاخص اشباع برای دو کانی کلسیت و دولومیت مثبت است، این موضوع نشان می‌دهد که دو کانی مورد نظر در حال رسوب کردن و تشکیل بلور هستند. همچنین شاخص اشباع برای دو کانی ژپس و هالیت منفی بوده که بیانگر این است که کانی‌های مذکور در حال انحلال در آب زیرزمینی هستند. برای ارزیابی تکامل هیدروژئوشیمیایی و همچنین تخریب کیفیت آب زیرزمینی مهم‌ترین شاخص‌های اشباع، شاخص‌های اشباع هالیت و ژپس می‌باشند.

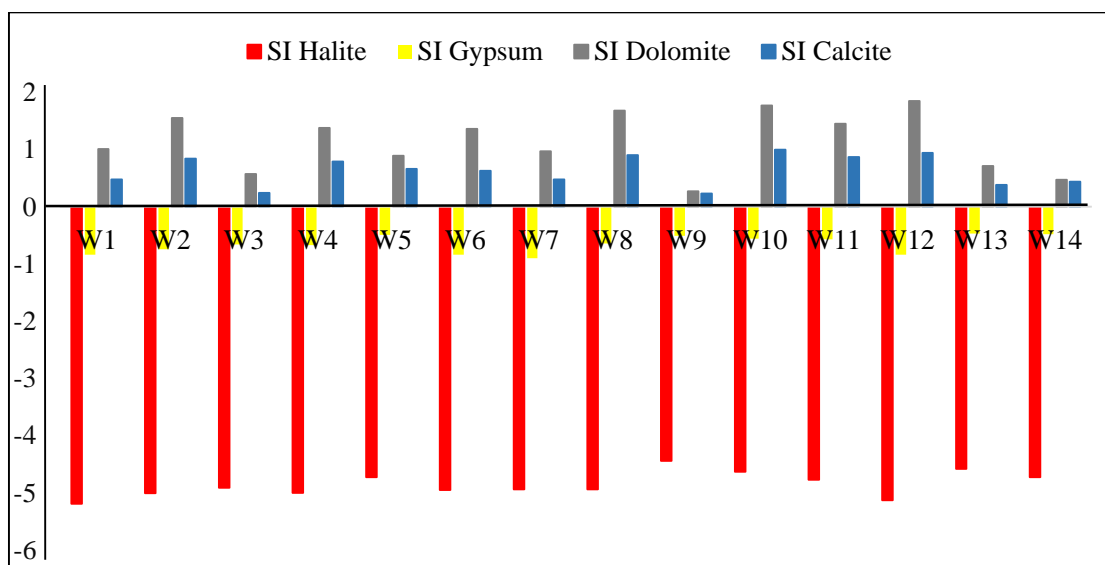
جدول ۴-۹- مقادیر شاخص‌های اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت،

ژپس و هالیت در نمونه‌های آب دشت اردستان

شماره نمونه	شاخص اشباع دولومیت	شاخص اشباع کلسیت	شاخص اشباع ژپس	شاخص اشباع هالیت
W1	۱/۰۱	۰/۴۸	-۰/۸۴	-۵/۱۹
W2	۱/۵۵	۰/۸۴	-۰/۷۴	-۵/۰۱

جدول ۴-۹- ادامه

شماره نمونه	شاخص اشباع دولومیت	شاخص اشباع کلسیت	شاخص اشباع ژیپس	شاخص اشباع هالیت
W3	۰/۵۷	۰/۲۴	-۰/۶۶	-۴/۹۱
W4	۱/۳۸	۰/۷۹	-۰/۶۷	-۵/۰۰
W5	۰/۸۹	۰/۶۶	-۰/۴۹	-۴/۷۳
W6	۱/۳۶	۰/۶۳	-۰/۸۴	-۴/۹۵
W7	۰/۹۷	۰/۴۸	-۰/۹۰	-۴/۹۴
W8	۱/۶۸	۰/۹۰	-۰/۶۴	-۴/۹۴
W9	۱/۲۷	۰/۲۳	-۰/۵۱	-۴/۴۴
W10	۱/۷۷	۱/۰۰	-۰/۵۶	-۴/۶۳
W11	۱/۴۵	۰/۸۷	-۰/۵۷	-۴/۷۷
W12	۱/۸۵	۰/۹۴	-۰/۸۴	-۵/۱۳
W13	۰/۷۱	۰/۳۸	-۰/۴۷	-۴/۵۸
W14	۰/۴۷	۰/۴۴	-۰/۴۸	-۴/۷۳
میانگین	۱/۱۴	۰/۶۳	-۰/۶۶	-۴/۸۵



شکل ۴-۳۰- نمودار شاخص اشباع هالیت، دولومیت، کلسیت و ژیپس نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان اردستان

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به مباحث ارائه شده در فصل‌های گذشته، آبخوان دشت اردستان آبخوانی آزاد است که در سال‌های اخیر به میزان قابل توجهی مورد برداشت قرار گرفته و دچار تغییرات زیادی شده است. با عنایت به اینکه آبخوان مورد نظر مهم‌ترین منبع آبی مورد استفاده در بخش کشاورزی، صنعت و شرب شهرستان اردستان می‌باشد، مطالعاتی در رابطه با کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی این منطقه صورت گرفته است. در این فصل به طور مختصر نتایج حاصل از مطالعه تغییرات کمی و کیفی آبخوان دشت اردستان طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳ ارائه شده است. همچنین پیشنهادها و راهکارهایی جهت پایش دقیق‌تر و بهتر این منابع آبی، بهبود وضعیت آبخوان و در نهایت تکمیل این تحقیق ارائه گردیده است.

۵-۱- نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل و بررسی جهت جریان

بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل آبخوان دشت اردستان نشان داد که جهت کلی جریان آب زیرزمینی در این دشت هم‌روند با جریان‌های سطحی آن و از بخش‌های جنوب-جنوب غربی به سمت بخش‌های شمال-شمال شرقی دشت می‌باشد. همچنین با کاهش شیب توپوگرافی در قسمت‌های انتهایی دشت آبخوان به سمت کویر دق‌سرخ تخلیه می‌گردد. مقایسه نقشه‌های هم‌پتانسیل سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ نشان داد که تراز آب زیرزمینی طی این دوره ۲۸ ساله، در نقاط مختلف آبخوان در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۶۵ به طور قابل توجهی پایین افتاده است. علاوه بر این گرادیان هیدرولیکی سطح آب‌های زیرزمینی در ورودی‌های دشت در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۶۵ به طور قابل توجهی افزایش یافته است که حاکی از افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در دشت اردستان می‌باشد. به این ترتیب که گرادیان هیدرولیکی دشت در شمال و شمال شرق اردستان در سال ۱۳۶۵ حدود ۰/۲ درصد بوده که

در سال ۱۳۹۳ به ۱ الی ۱/۵ درصد افزایش یافته است. به عبارت دیگر گرادبان هیدرولیکی در فاصله زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳ در محدوده جنوب و جنوب غربی آبخوان حدود ۵ الی ۷ برابر افزایش یافته است.

۵-۲- ارزیابی مقدار سطح افت آبخوان

افت سطح ایستابی در آبخوان اردستان به طور میانگین سالانه حدود ۰/۶۸ متر اندازه‌گیری شده و در مجموع طی یک دوره ۳۱ ساله (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳)، آبخوان مذکور حدود ۲۰ متر افت داشته است. به عبارت دیگر با توجه به مساحت (۱۳۶۸/۴) آبخوان و ضریب ذخیره که به طور متوسط ۵ درصد برآورد شده است، این آبخوان سالانه حدود ۴۶/۱۶ میلیون متر مکعب کسری مخزن را شامل می‌شود. همچنین مقدار افت در قسمت‌های مختلف دشت یکسان نبوده و دارای تفاوت‌های زیادی می‌باشد. با بررسی هیدروگراف مربوط به هر ۲۷ پیزومتر و دسته‌بندی آن‌ها دشت اردستان بر اساس افت به سه بخش تقسیم گردید. پیزومترهای واقع در بخش جنوبی دشت با کمترین میزان افت (۱/۷ متر) و پیزومترهای واقع شده در بخش‌های مرکز و غربی دشت با بیشترین میزان افت (۳۷/۶ متر) به ترتیب در گروه A و C قرار گرفتند. همچنین ۱۳ پیزومتر باقی‌مانده مربوط به قسمت‌های شمالی و خروجی دشت بوده که با (۱۴/۲ متر) افت در گروه B با مقدار افت متوسط قرار گرفتند.

۵-۳- نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های عمق سطح آب زیرزمینی در منطقه

بررسی و مقایسه نقشه‌های عمق سطح آب زیرزمینی دشت اردستان در سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ بیانگر یک روند افزایشی عمق دسترسی به آب زیرزمینی در کل دشت با گذشت زمان می‌باشد. این تغییرات به گونه‌ای است که میانگین وزنی عمق آب زیرزمینی دشت در سال ۱۳۶۵ برابر با ۴۲/۹۸ متر و در سال ۱۳۹۳ برابر با ۵۷ متر می‌باشد. به عبارتی در یک دوره ۲۸ ساله عمق دسترسی به آب زیرزمینی در سطح دشت به طور میانگین ۱۵ متر افزایش داشته است. علاوه بر این در نقشه عمق آب زیرزمینی مربوط به سال ۱۳۹۳ در بخش مرکزی و غربی دشت بیشترین مقدار افزایش عمق مشاهده می‌شود که مطابقت زیادی با نقاط افت شدید در نقشه‌های افت مربوط به سال ۱۳۹۳ در دشت اردستان دارد.

۴-۵- ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه

بررسی نقشه‌های هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت اردستان نشان داد که شوری آب زیرزمینی در جهت جریان یعنی از سمت ارتفاعات شهر اردستان به سمت خروجی دشت و کویر دق سرخ افزایش یافته است. این افزایش مقدار هدایت الکتریکی به طور کلی تحت تأثیر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی از منطقه تغذیه به طرف منطقه تخلیه، افزایش زمان ماندگاری آب در سازندها، دانه‌ریز شدن بافت خاک، وجود آب‌های برگشتی کشاورزی و صنعتی بالادست و به ویژه تأثیر شورابه‌های کویری می‌باشد. همچنین مقایسه نقشه‌های هدایت الکتریکی سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۳ نشان داد که هدایت الکتریکی علاوه بر تغییرات مکانی در کل دشت، دچار تغییرات زمانی (در طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳) نیز گردیده است. این تغییرات به گونه‌ای است که خطوط کنتور هدایت الکتریکی در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۷۴ یک جابجایی محسوس به سمت مناطق تغذیه (جنوب و جنوب غرب دشت) را نشان می‌دهند. افزایش هدایت الکتریکی در بخش‌های مرکزی دشت بیشتر به چشم می‌خورد. دلیل این مسأله افزایش برداشت از آب زیرزمینی در این منطقه و افزایش شدید افت بوده به طوری که سبب برهم خوردن سیستم طبیعی جریان آب و هجوم آب‌های شور از سمت کویر دق سرخ به سمت آبخوان اردستان شده و افزایش غیرطبیعی هدایت الکتریکی را در پی داشته است. علاوه بر دلایل ذکر شده وجود سازندهای گچی- نمکی و آبرفت‌های رسی در سطح دشت، عاملی دیگر جهت افزایش شوری آب‌های زیرزمینی منطقه به حساب می‌آیند.

۵-۵- ارزیابی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

به منظور بررسی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی موجود در آب‌های دشت اردستان، نقشه یون‌های مهم همچون سدیم، کلسیم، کلر، بی‌کربنات و سولفات ترسیم گردید. روند یون‌های سدیم و کلر تا حدود زیادی و سولفات نیز به نسبت ضعیف‌تری از روند هدایت الکتریکی تبعیت کرده و در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش یافته‌اند. اما بقیه یون‌ها روند خاصی را در سطح دشت نشان ندادند.

علاوه بر این نمودارهای ترکیبی نظیر نمودار غلظت سدیم در برابر غلظت کلر و نمودار مجموع کلسیم و منیزیم در برابر مجموع سولفات و بی‌کربنات رسم شد. بر همین اساس یون‌های سدیم و کلر همبستگی بسیار بالایی را نشان دادند که بیانگر تخریب کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشد. همچنین بر اساس نمودار ترکیبی مجموع کلسیم و منیزیم در برابر مجموع سولفات و بی‌کربنات بیشتر نمونه‌های آب مورد مطالعه تبادل یونی و تعداد کمتری از نمونه‌ها نیز تبادل یونی معکوس را بیان می‌کنند. بر اساس نمودار نسبت سدیم به کلر در برابر کل املاح محلول در آب نیز تقریباً تمام نقاط با انحراف اندکی روی خط $Na/Cl=1$ قرار گرفتند که غالب بودن انحلال‌هالیت در آب‌های محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۵-۶- بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی در منطقه

با توجه به نمودارهای استیف رسم شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی در دشت اردستان، مشخص شد که تیپ غالب آب‌های زیرزمینی در منطقه کلرواره و رخساره آن‌ها سدیک می‌باشد. علت اصلی این مسأله تخریب شدید کیفیت آب در این منطقه می‌باشد. بررسی نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اردستان نیز نشان داد که تمامی نمونه‌ها در سمت راست لوزی نزدیک به گوشه قرار دارند که بیانگر شوری آب‌های منطقه و غلبه مطلق اسیدهای قوی و عناصر قلیایی می‌باشد.

۵-۷- بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در منطقه

به منظور تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه جهت مصارف کشاورزی از نمودار ویلکاکس استفاده گردید. با توجه به نمودار بدست آمده مشخص گردید که اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه در رده $C4S3$ و $C4S4$ قرار گرفته و از لحاظ کشاورزی نامناسب می‌باشند.

۵-۸- بررسی نتایج شاخص اشباع محاسبه شده برای کانی‌های مهم در منطقه

جهت مطالعه دقیق‌تر کیفیت آب‌های زیرزمینی شاخص اشباع برای چهار کانی مهم کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. نتایج نشان بدست آمده داد که مقدار شاخص اشباع برای دو کانی هالیت و ژیپس منفی بوده و بیانگر تحت اشباع بودن آب‌های زیرزمینی نسبت به این دو کانی است و به عبارت دیگر دو کانی فوق در حال انحلال در آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشند. همچنین مقدار شاخص اشباع برای دو کانی کلسیت و دولومیت مثبت بوده که بیانگر فوق اشباع بودن آب‌های زیرزمینی منطقه نسبت به آن‌ها می‌باشد.

۵-۹- پیشنهادات

به منظور بررسی‌های دقیق‌تر تغییرات کمی و کیفی آبخوان اردستان، مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی منطقه و کامل شدن تحقیق صورت گرفته بر روی آب‌های زیرزمینی این دشت، پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- گسترش شبکه پیزومتری و افزایش تعداد چاه‌های نمونه‌برداری با پراکندگی گسترده‌تر و مناسب‌تر در سطح دشت
- پایش منظم و ماهانه چاه‌های پیزومتری و برداشت از چاه‌های نمونه‌برداری به طور منظم و بسیار دقیق‌تر
- تهیه گزارش‌های دوره‌ای (سه یا پنج ساله) از تغییرات کیفی و کمی آبخوان، جهت کارشناسی و مدیریت بهتر منابع آب منطقه
- ایجاد محدودیت شدید در برداشت از آب‌های زیرزمینی به دلیل کاهش هجوم آب شور از کویر دق سرخ به سمت آبخوان
- آگاهی بخشی و مساعدت به کشاورزان منطقه جهت تغییر در نوع کشاورزی، نوع محصول مورد کشت و نوع آبیاری زمین‌های کشاورزی به دلیل استفاده بهینه از منابع آب
- ایجاد طرح‌های تغذیه مصنوعی همچون روش پخش سیلاب، در نقاط مناسب دشت به دلیل مدیریت بارش‌های رگباری و کوتاه مدت منطقه و کمک به تغذیه آبخوان

منابع مورد استفاده

- آقائباتی ع.، (۱۳۸۵)، "زمین‌شناسی ایران" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم، ۶۰۳ ص.
- اصغری مقدم ا.، فتحعلی‌زاده ل.، واعظی هیر ع.، (۱۳۹۲)، "بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کهریز جهت مصارف مختلف و دلایل شوری آن"، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، شماره ۴، ص ۲۵-۴۶.
- بهاروند س.، ادیب ا.، احمدی خلجی ا.، (۱۳۹۳)، "نقش سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر کیفیت آب های زیرزمینی شمال شهر خرم‌آباد" فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست، سال هشتم، شماره ۲۷، تابستان ۱۳۹۳.
- پیرخراطی ح.، نوین پور ا.، ساقی ز.، (۱۳۹۱)، "بررسی علل و منشاء شور شدن منابع آب زیرزمینی دشت مهاباد" شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- جلالی ل.، و اصغری مقدم ا.، (۱۳۹۲)، "تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آب زیرزمینی دشت خوی به روش‌های آماری و هیدروشیمیایی"، نشریه محیط‌شناسی، سال ۳۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، ص ۱۱۳-۱۲۲.
- دستان س.، (۱۳۹۲)، "بررسی کیفی آب زیرزمینی در دشت میان جنگل، شهرستان فسا" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- رادفرج.، و همکاران، "سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور" نقشه زمین‌شناسی اردستان، مقیاس یک‌صدهزار.
- علیزاده ا.، (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۸۶۸-۸۸۰.
- کرمی غ.، (۱۳۹۲)، "بررسی هجوم آب شور از کویر مرکزی به آبخوان اسفراین (خراسان شمالی)"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۹، شماره ۱، ص ۵۳-۶۳.
- کرمی غ.، (۳۸۹)، "بررسی ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی حوزه آبخیز چشمه کارستی امام قیس با منابع آب مجاور" طرح تحقیقاتی شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری.
- مسلمی خ.، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت بسطام با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه استنتاج تطبیقی عصبی فازی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- محمدی ا.، و کاظمی غ.، (۱۳۹۰)، "تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت شوقان (خراسان شمالی)"، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و سوم، شماره ۹۰، ص ۵۵ تا ۶۲.

- نبوی م. ح.، (۱۳۵۵)، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۳۲۳ص.
- نخعی م.، (۱۳۸۸)، "مقدمه‌ای بر آب‌های زیرزمینی، انتشارات آراد کتاب"، ص ۱۴۳-۱۷۰.
- Ajdary H. K., and Kazemi G. A., (2014). "*Quantifying changes in groundwater level and chemistry in Shahrood, northeastern Iran*" Journal of Hydrology , Vol.22, 469-480
- Ayenew T., Demlie M., Wohnlich S., (2008). "*Hydrogeological framework and occurrence of groundwater in the Ethiopian aquifers*". African Earth Sciences. Vol.52, 97-113.
- Chaudhuri S., Ale S., (2014). "*Long-term (1930–2010) trends in groundwater levels in Texas: Influences of soils, landcover and water use*". Science of the Total Environment, Vol 490, 379-390.
- Chaudhuri S., Ale S., (2014). "*Long Term (1960-2010) Trends in Groundwater Contamination and Salinization in the Ogallala Aquifer in Texas*". Journal of Hydrology , DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.033>.
- Collischonn W., Tucci C. E. M., Clarke R. T., (2001). "*Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay part of a wider phenomenon of climate change*" Journal of Hydrology , Vol. 245, 218–238.
- Davis S. N., and Dewiest R. J. M., (1966). "*Hydrogeology*" John Wiley, New York, 463pp.
- Demir Y., Sahin S., Güler M., Cemek B., Gunal H., and Arslan H., (2009). "*Spatial variability of depth and Salinity of ground water under irrigated ustifluvents in the Middle Black Sea Region of Turkey*". Environ Monit Assess, Vol. 158, 279-294.
- Gao Y., Li D., Chen Y., (2012). "*Differentiation of carbonate, chloride, and sulfate salinity responses in tall fescue*" Scientia Horticulturae". Vol. 139, 1–7.
- Ghosh N. G., Sharma K. D., (2006). "*Groundwater Modeling and Management*". Capital Publishing Company.
- Glynn P. D., Plummer L. N., (2005). "*Geochemistry and the understanding of groundwater system*". Journal of Hydrology , Vol. 13, 263 – 287.
- Hana D., Songa X., Currellb M. J., Caoc G., Zhanga Y., Kanga Y., (2011). "*A survey of groundwater levels and hydrogeochemistry in irrigated fields in the Karamay Agricultural Development Area, northwest China: Implications for soil and groundwater salinity resulting from surface water transfer for irrigation*" Journal of Hydrology . Vol.54, Issues 3–4. Pp 217-234.

- Herrera M., and Espinosa R., (2007). "Impact of agricultural activity and geologic controls on groundwater quality of the alluvial aquifer of the Guadalquivir River (province of Jaen, Spain): a case study". Environ Geol, Vol. 54, 1391-1402.
- Hoxhaj F., (2005). "Numerical simulation of sea water intrusion on the northern coast of Albania". Geophysical Research Abstracts, Vol.7, 97-106.
- Huang J., Subasinghe R., Malik R. S., Triantafilis J. (2015). " Salinity hazard and risk mapping of point source salinisation using proximally sensed electromagnetic instruments". Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 113, 213-224.
- Kembrowski M., (1987). "Saltwater-freshwater transient upconing-An implicit boundary-element solution". Journal of Hydrology ,Vol. 78, 35-37.
- Klove B., Ala-Aho P., Bertrand G., Gurdak J., Kupfersberger H., Kverner J., Muotka T., Mykra H., Preda E., Rossi P., Bertacchi C., Velasco E., Pulido-Velazquez M. (2013). "Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems" Journal of Hydrology .
- Knuth M., Jackson J. L., Whittemore D. O., (1990). "An integrated approach source contaminating to identifying the salinity a ground-water supply". Groundwater, Vol. 28, 207-214.
- Kouchekezadeh A., (2014). "Identifying hydrochemical criteria to distinguish salinity sources of saline waters in southern Iran". Shiraz University, Iran.
- Krishna R. M. N., Janardhana R. Y., Venkatararami R., Reddy T. V. K., (2000). "Water resources development and management in the cuddaph district, India". Environ Geol, Vol.27 p23, 3-9.
- Memon B. A., Patton A. F., Pits M. W., (1999). "Control of naturally occurring brine springs and seeps in an evaporate karst setting" Engineering Geology". Vol. 52, 83-91.
- Nelson Eby G., (2004). "Principles of Environmental Geochemistry". Brooks/Cole, First Edition, 514 p.
- Newman B., and Goss K., (2000). "The Murray- Darling Basin Salinity Management Strategy I mplication for the Irrigation Sector, Murray Darling Basin Commission".
- Oren O., Yechieli Bohlk J. K., Dody A., (2004). "Contamination of groundwater under cultivated fields in an arid environment, central Arava Valley, Israel" Journal of Hydrology, Vol. 290, 312-328.
- Panda K. D., Mishra A., Jena S. K., James B. K., Kumar A., (2007). " The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India". Journal of Hydrology , Vol. 343, 140– 153.

- Peters E., Bier G., van Lanen H. A. J., Torfs P. J. J. F., (2006). "*Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment*". Journal of Hydrology , Vol. 321, 257–275.
- Peters E., Torf P., Vanlanen H. A. J., and Beir G., (2005). "*Drought in groundwater drought distribution and performance indicators*". Journal of Hydrology 306:302-317.
- Purnama S., and Marfai M. A., (2012). "*Saline water intrusion toward groundwater: Issues and its control*". Journal of Natural Resources and Development, Vol. 2, 25-32.
- Rajesh R., Brindha K., Murugan R., Elango L., (2011). "*Influence of hydrogeochemical processes on temporal changes in groundwater quality in a part of Nalgonda district, Andhra Pradesh, India*". Environ Earth Sci, Vol. 65, p1203-1213.
- Rajmohan N., and Elango L., (2004). "*Identification and evolution of hydrogeochemical process in the groundwater environment in an area of the PLe and Cheryyar River Basin, Southern India*". Environ Geol, Vol. 46, p47-61.
- Ranjan P., Kazama S., Sawamoto M., (2006). "*Effects of climate change on coastal fresh groundwater resources*". Global Environmental Change Vol. 16, 388–399.
- Re V., Sacchi E., Martin-Bordes J. L., Aureli A., El Hamouti V., Bouchnan R., Zuppi G. M., (2013). "*Processes affecting groundwater quality in arid zones: The case of the Bou-Areg coastal aquifer, North Morocco*". Applied Geochemistry, Vol. 34, 181–198.
- Reghunath H. M., (1987). "*Groundwater*". Wiley Eastern Pub, 563p.
- Richter B. C., and Kreitler C. W., (1993) "*Geochemical Technique for Identifying Source of Ground Water Salinization USA*".
- Rodriguez E. T., (2012). "*The problems of overexploitation of aquifers in semi-arid areas: the Murica Region and the Segura Basin (south-est Spain) case*". Hydrology and Earth Sciences Discussions, Vol. 9, 5729-5756.
- Sdao F., Parisi S., Kalisperi D., Pascale S., Symantiris N. L., Kersshaw S., Mongelli G., Soupios P., and Paternoster M., (2009). "*Groundwater high salinity in Geropotamos basin (Crete, Greece): Sea water intrusion or Miocene evaporites water interaction processes?*" Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement, Volume 73, p.A1189
- Sharafi A., Raeisi E., Farhoodi G., (2002). "*The effect of Darab salt dome on the quality of adjacent karstic and alluvium aquifers (south of Iran)*". Acta Carsol, Vol. 31, 105–113.
- Stocklin, (1968). "*Structural, correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia*" Men. Ser. Soc. Geol. France, n. 8, P 333-353.

- Todd D. K., Mays L. W., (2005). "*Groundwater Hydrology*". University of California, John Wiley & Sons, Inc, Third Edition, 625P.
- Vengosh A., (2014). "*Salinization and Saline Environments*". Duke University, Durham NC, USA, Elsevier.
- Walraevens K., Mjemah I. C., Mtoni Y., Camp M. V., (2014). "*Sources of salinity and urban pollution in the Quaternary sand aquifers of Dares Salaam, Tanzania*". African Earth Sciences. Vol. 14, 343-372.
- Zarei M., Raeisi E., Merkel B. J., Kummer N. A., (2013). "*Identifying sources of salinization using hydrochemical and isotopic techniques, Konarsiah, Iran*". Environ Earth Sci, Vol. 70, 587–604.
- Zarei M., Sedehi F., Raeisi E., (2014). "*Hydrogeochemical characterization of major factors affecting the quality of groundwater in southern Iran, Janah Plain*". Chemie der Erde, Vol. -, 1-10.

Abstract

Ardestan aquifer with area of approximately 1369 km² is extended at a alluvial plain with area of about 4375 km². This plain is situated at the north of Ardestan County at 100 km North East of Esfahan. hydrogeological investigation carried out by applying data of 27 piezometers from 1984 to 2015.

According to the equipotential map, general groundwater flow direction is from S and SW to N and NE. Also it can be inferred from unit hydrograph of aquifer that groundwater level has been declined about 20 meters in average at a 31 years period. In other words, total amount of reduction of aquifer storage at a 31 years period is 1384 Mm³. The amount of water level decline in whole of the aquifer is not the same and it spatially shows considerable variation. At the central part of the aquifer, where the exploitation wells have the largest concentration, the highest decline of water level can be observed. In this basis, Ardestan plain from the water level decline point of view has been classified to three groups: low, intermediate and high water level decline. To access the hydrogeochemical properties of the Ardestan aquifer 14 samples collected in from exploitation boreholes existence in the Ardestan plain February 2015. electrical conductivity map of Ardestan aquifer indicates that electrical conductivity corresponding to flow direction (from the south - southwest to north- northeast) increases from 3000 to 6000 $\mu\text{m/cm}$. Comparison of electrical conductivity maps in 1995 and 2015 indicates that increase of electrical conductivity, in this period is due to intrusion of brines from Dagh-Sorkh brine to northern and central part of Ardestan aquifer. Over exploitation from aquifer and successive drought are the most important factors of increasing the electrical conductivity and intrusion of brine.

Evaluation of quality diagrams of Ardestan plain indicates the groundwater type is chloride and its facies is sodic and predominant chemical process in this aquifer is dissolution of halite.

Keywords : Ardestān aquifer, groundwater, Hydrogeochemical, hydrogeology



Shahrood University of Technology

**Faculty of Earth Sciences
Hydrogeology and Environmental Geology Group**

**Evaluating the degradation of groundwater quality in Ardestan Plain,
North East Esfahan**

Ehteram Gholami Nohooji

**Supervisor:
Dr. Gholam Hossein Karami**

January 2016