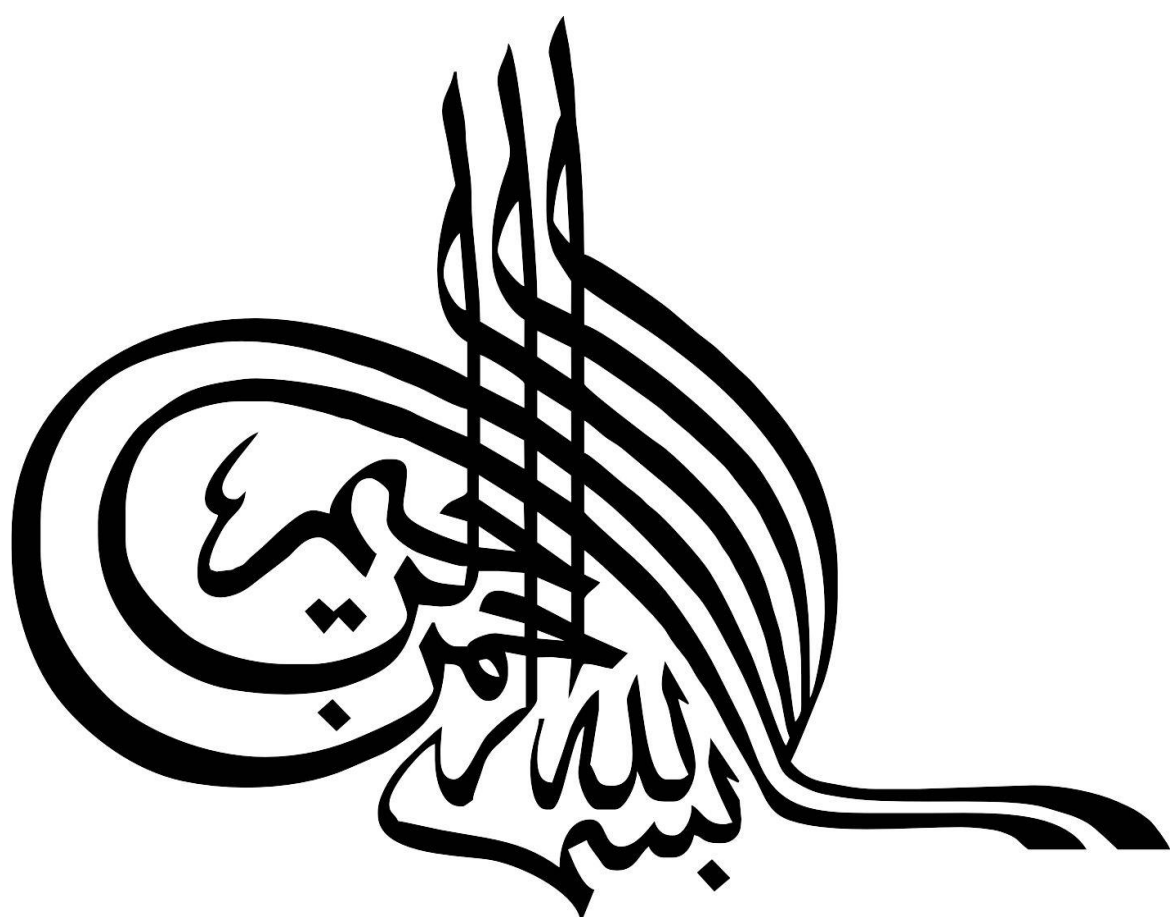






دانشکده علوم زمین
گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست محیطی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی
دشت سیلاخور، بروجرد

استاد راهنما

دکتر غلامحسین کرمی

دانشجو

محمد پیرولی

آذر ماه ۹۳

بسم رب الشهداء و صدیقین

تقدیریم به روح پاک شهیدان...

پندار ما این است که ما مانده ایم و شهدا رفته اند، اما حقیقت آن است که زمان ما را با خود برده است

و شهدا مانده اند. شهید آوینی

اگر در این روزگار می توانیم کاری انجام دهیم به برکت خون پاک شهدا است و لا غیر،

و تا ابد مدیون خون شهدا هستیم و در به جا آوردن حق شهدا ناتوان هستیم.

تشکر و قدردانی

منت خدای را عزو وجل که طاعتش موجب قربتست و به شکر اندرش مزید نعمت.

از دست و زبان که برآید کز عهده شکرش به درآید دیپاچه گلستان سعدی

در این جا بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگواری به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

ابتدا از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی که زحمت راهنمایی این پروژه را بر عهده داشتند کمال سپاس را دارم. همچنین از تمامی اساتید و کارمندان محترم دانشکده و دانشگاه به ویژه آقای دکتر جعفری، آقای دکتر کاظمی، آقای دکتر باقری، آقای دکتر موسیوند، کارشناسان گروه خانم فارسی، خانم سعیدی، آقای میرباقری، همچنین از کارمندان شرکت آب منطقه‌ای آقای مهندس ابراهیمی و خانم سعیدی که در انجام این پایان‌نامه همکاری لازم را داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از همکلاسی‌ها و دیگر دوستان گرامی مخصوصاً آقای عرفان و آقای مسموعی و آقای امیرحسینی نیز که با هم‌فکری و هم‌دلی، بنده را یاری نموده‌اند متشکرم.

در پایان از خانواده مهربانم، پدر و مادر و برادران و خواهران عزیزم که در تمامی مراحل زندگیم مشوق و همراه من بوده‌اند ممنونم و دست تک تکشان را می‌بوسم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....	۱
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه.....	۲
۳-۱- هواشناسی منطقه.....	۳
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه.....	۷
۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه.....	۸
۱-۴-۱-۱- زاگرس مرتفع.....	۸
۱-۴-۱-۲- زون سنندج - سیرجان.....	۱۰
۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختمانی.....	۱۲
۵-۱- هیدرولوژی منطقه.....	۱۴
۲- فصل دوم: مروری بر منابع	۱۶
۱-۲- عوامل موثر بر وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های آبرفتی.....	۱۶
۱-۱-۲- عوامل موثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی.....	۱۷
۲-۱-۲- تاثیر خشکسالی در افت منابع آب زیرزمینی.....	۱۸
۲-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی.....	۱۹
۱-۲-۲- تاثیر سازندهای زمین‌شناسی روی کیفیت آب‌های زیرزمینی.....	۲۰

۲۳	 سرعت آب زیرزمینی	۲-۲-۲
۲۳	 اثر بهره‌برداری بی‌رویه روی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی	۳-۲-۲
۲۷	 فصل سوم: روش انجام کار	۳-۲
۲۷	 ۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به کمیت و کیفیت آب زیرزمینی	۳-۱
۲۸	 ۲- مطالعات زمین‌شناسی	۳-۲
۲۸	 ۳- نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی منطقه	۳-۳
۳۰	 ۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری	۳-۳-۱
۳۰	 ۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه	۳-۳-۲
۳۱	 ۴- تحلیل و بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منطقه	۳-۴
۳۱	 ۱- رسم نقشه‌های کیفی منطقه	۳-۴-۱
۳۱	 ۲- رسم نمودارهای کیفی منطقه	۳-۴-۲
۳۲	 ۵- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه	۳-۵
۳۲	 ۱- تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌عمق آبخوان	۳-۵-۱
۳۲	 ۶- ترسیم هیدروگراف میانگین	۳-۶
۳۳	 فصل چهارم: بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی	۴-۳
۳۳	 ۱- ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه	۴-۱
۳۴	 ۱-۱- هیدروگراف میانگین دشت	۴-۱-۱
۳۶	 ۲-۱- بررسی جهت عمومی آب زیرزمینی در منطقه	۴-۱-۲

- ۴۱-۳-۱-۴- رسم نقشه هم عمق منطقه مورد مطالعه..... ۴۱
- ۴۳-۲-۴- ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی در دشت سیلاخور..... ۴۳
- ۴۵-۱-۲-۴- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی..... ۴۵
- ۴۹-۲-۲-۴- pH بررسی..... ۴۹
- ۵۰-۳-۲-۴- کل مواد جامد محلول..... ۵۰
- ۵۱-۴-۲-۴- سختی کل آب..... ۵۱
- ۵۲-۵-۲-۴- بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی..... ۵۲
- ۵۳-۶-۲-۴- سدیم..... ۵۳
- ۵۳-۷-۲-۴- کلر..... ۵۳
- ۵۵-۸-۲-۴- بررسی تغییرات نسبت کلر و سدیم به ترتیب به مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها..... ۵۵
- ۵۹-۹-۲-۴- محاسبه نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت..... ۵۹
- ۶۰-۱۰-۲-۴- بررسی تیپ آبهای زیرزمینی دشت سیلاخور..... ۶۰
- ۶۳-۱۱-۲-۴- مقایسه غلظت یون‌های اصلی نمونه‌های آب دشت سیلاخور..... ۶۳
- ۶۵-۱۲-۲-۴- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی..... ۶۵
- ۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۶۷**
- ۶۷-۱-۱-۵- هیدروگراف میانگین دشت..... ۶۷
- ۶۸-۲-۱-۵- بررسی جهت عمومی آب زیرزمینی در منطقه..... ۶۸
- ۶۸-۳-۱-۵- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی..... ۶۸

۶۹.....	۵-۱-۴- بررسی مقادیر pH
۶۹.....	۵-۱-۵- کل مواد جامد محلول
۶۹.....	۵-۱-۶- سختی کل آب
۷۰.....	۵-۱-۷- محاسبه نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت
۷۰.....	۵-۱-۸- بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه
۷۰.....	۵-۱-۹- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی
۷۱.....	۵-۲- پیشنهادها
۷۲.....	مراجع مورد استفاده

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: نمایی از منطقه مورد مطالعه (دشت سیلاخور) ۲
- شکل ۲-۱: راه‌های دسترسی به محدوده مطالعاتی (برگرفته از نقشه راه‌های کشور) ۳
- شکل ۳-۱: نمودار آمبروترمیک ۷
- شکل ۴-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه ۱۳
- شکل ۱-۳: موقعیت چاه‌های بهره‌برداری که نمونه‌برداری از آنها صورت گرفته است ۲۹
- شکل ۱-۴: نمودار هیدروگراف میانگین دشت سیلاخور ۳۵
- شکل ۲-۴: موقعیت چاه‌های پیزومتری در دشت سیلاخور ۳۸
- شکل ۳-۴: نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی در دشت سیلاخور ۳۹
- شکل ۴-۴: نقشه هم‌عمق منطقه ۴۲
- شکل ۶-۴: نقشه هدایت الکتریکی دشت سیلاخور ۴۶
- شکل ۷-۴: نمودارهای مربوط به ارتباط بین یون‌های مختلف در برابر هدایت الکتریکی ۴۸
- شکل ۸-۴: نقشه هم‌سدیم آب زیرزمینی در دشت سیلاخور ۵۴
- شکل ۹-۴: نقشه هم‌کلر آب زیرزمینی در دشت سیلاخور ۵۵
- شکل ۱۰-۴: نقشه نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها ۵۷
- شکل ۱۱-۴: نقشه نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها ۵۸
- شکل ۱۲-۴: نمودار مربوط به شاخص اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت ۶۰
- شکل ۱۳-۴: نمودار استیف نمونه‌های آب ۶۲
- شکل ۱۴-۴: نمودار پایپر نمونه‌های آب ۶۳
- شکل ۱۵-۴: نمودار نیمه لگاریتمی شولر مربوط نمونه‌های آب در دشت سیلاخور ۶۴
- شکل ۱۶-۴: نمودار ویلکاکس مربوط به کیفیت آب از نظر کشاورزی ۶۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- طبقه بندی اقلیمی دمارتن ۴
- جدول ۲-۱- میانگین بارندگی و دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه ۵
- جدول ۱-۴- داده‌های سطح آب و عمق پیزومترهای منطقه ۳۷
- جدول ۲-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری ۴۴
- جدول ۳-۴- پارامترهای محاسبه شده ۵۰
- جدول ۴-۴- انواع سختی ۵۱
- جدول ۵-۴- نتایج آنالیز شیمیایی ۵۲
- جدول ۶-۴- شاخص اشباع شدگی نمونه‌های آب منطقه ۵۹

چکیده

دشت سیلاخور با وسعت تقریباً ۸۰۰ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی $48^{\circ}28'$ تا $49^{\circ}30'$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ}15'$ تا $34^{\circ}10'$ شمالی در جنوب شرقی بروجرد واقع شده است. آبخوان مورد مطالعه از نوع آبرفتی و آزاد می‌باشد. ضخامت آبخوان به ۱۶۰ متر می‌رسد که از تناوب رس، شن و ماسه تشکیل شده است. این آبخوان با حدود ۱۶۷۹ حلقه چاه بهره‌برداری عمدتاً جهت مصارف کشاورزی زهکش می‌شود. به منظور بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی هیدروگراف میانگین دشت از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۲ ترسیم شد. طبق این هیدروگراف در سال‌های اخیر به دلیل کاهش بارندگی و افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی این منطقه، افت شدیدی در سطح آب زیرزمینی رخ داده است به طوری که بعضی از چاه‌های کم عمق خشک شده‌اند. به جهت بررسی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی منطقه از ۲۱ چاه بهره‌برداری نمونه‌برداری به عمل آمد. هدایت الکتریکی و pH در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. برای آنالیز شیمیایی و تعیین مقادیر عناصر اصلی از قبیل کلسیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، بی‌کربنات، سولفات و کلر نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت اصلی حرکت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه شمال غربی-جنوب شرقی است ولی نتایج آنالیز شیمیایی نشان می‌دهد که مقادیر هدایت الکتریکی در دشت ثابت می‌باشد و از روند خاصی پیروی نمی‌کند. این مطلب به احتمال زیاد به این دلیل است که دشت سیلاخور یک دشت نسبتاً کشیده‌ای می‌باشد که راستای آن شمال غربی جنوب شرقی است و عمده تغذیه دشت از ارتفاعات شمال شرقی و جنوب غربی انجام می‌شود که مسیر حرکت آن‌ها نسبتاً کم می‌باشد و به همین دلیل تغییرات زیادی در مقادیر هدایت الکتریکی ایجاد نمی‌شود. نقشه هم‌پتانسیل دشت، تغذیه دشت سیلاخور از ارتفاعات شمال شرقی و جنوب غربی را مورد تایید قرار می‌دهد. با استفاده از نمودارهای استیف و پایپر، تیپ و رخساره تمام نمونه‌های آب زیرزمینی بی‌کربناته-کلسیک است که این مطلب بیانگر کیفیت بالای آب-های زیرزمینی در دشت سیلاخور می‌باشد.

کلید واژه: دشت سیلاخور، هیدروژئوشیمی، هیدروژئولوژی.

فصل اول: کلیات

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

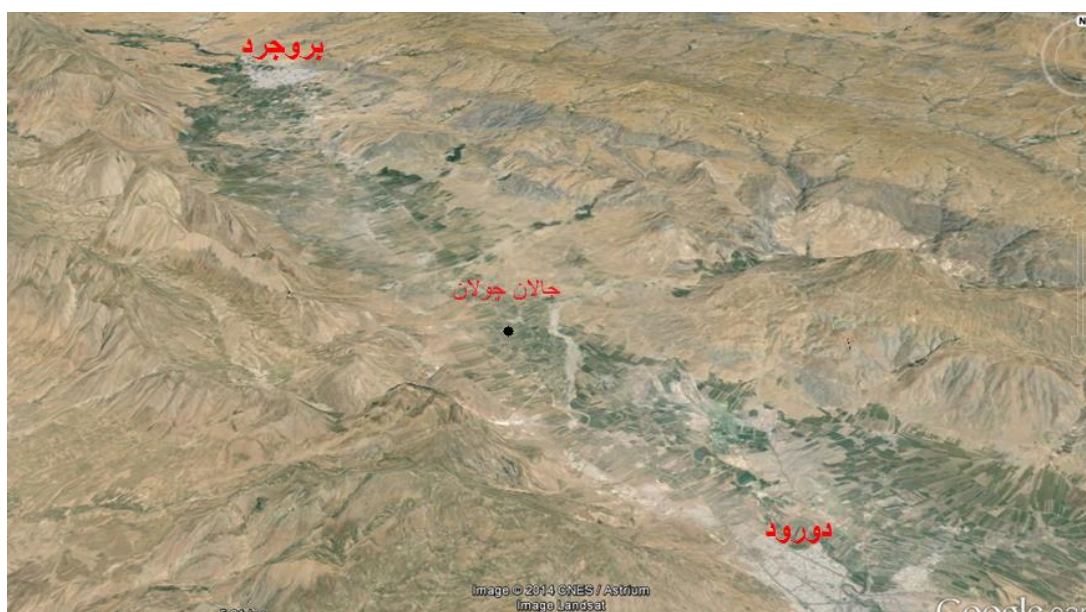
دشت سیلاخور با وسعتی حدود ۸۰۰ کیلومترمربع در شرق بروجرد در استان لرستان واقع شده است. اگر چه این دشت از سمت جنوب غربی و غرب به طور قابل ملاحظه‌ای توسط سازندهای کارستی تغذیه می‌شود، در سالهای اخیر افت شدیدی در سطح آب‌های زیرزمینی ایجاد شده است. علت افت شدید آب‌های زیرزمینی به احتمال زیاد به خاطر برداشت بی‌رویه از آبخوان و کاهش بارندگی می‌باشد. دشت سیلاخور به دلیل داشتن شرایط خاک حاصلخیز برای کشاورزی، بیشترین مقدار آب استخراج شده، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی نه تنها کمیت آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد بلکه کیفیت آب را نیز به شدت کاهش می‌دهد. بنابراین، شناخت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این قبیل مناطق برای اعمال مدیریت صحیح کاملاً ضروری است. از آنجایی که در خصوص وضعیت هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی این دشت و علل اصلی کاهش سطح ایستابی آن تاکنون مطالعه جامعی صورت نگرفته است، هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی این دشت می‌باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

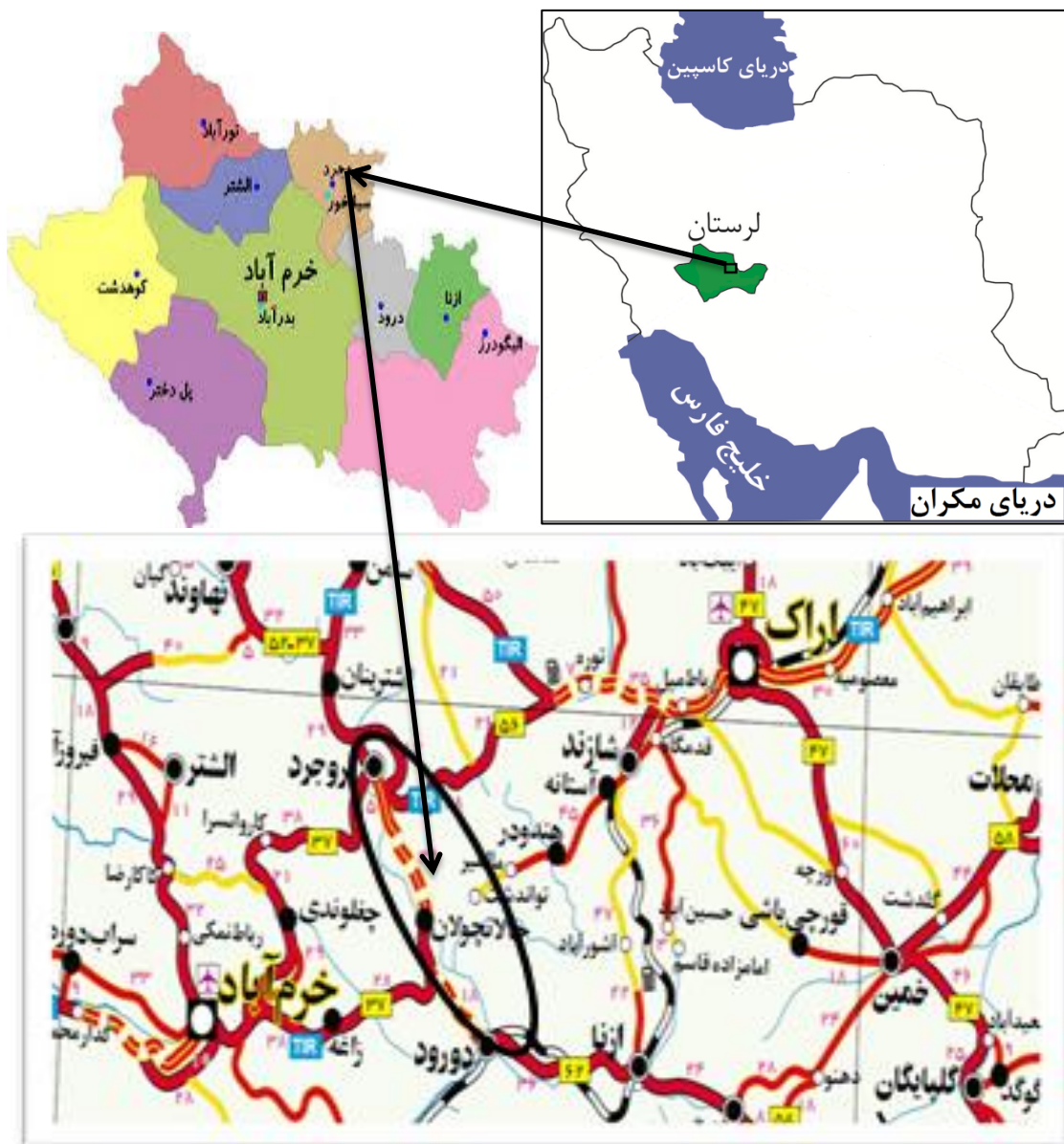
دشت سیلاخور یکی از مناطق شمال شرقی استان لرستان است که از اقلیم سرد و بارش مناسب برخوردار است. این محدوده به لحاظ وجود ارتفاعات آهکی، بارش نسبتاً مطلوب و آبرفت مناسب، دارای منابع آب زیرزمینی قابل توجه و رودخانه‌های دائمی می‌باشد که از سرشاخه‌های رودخانه کارون محسوب می‌شوند.

دشت سیلاخور بخشی از شهرستان‌های دورود و بروجرد واقع در استان لرستان می‌باشد که بین طول‌های $48^{\circ}28'$ تا $49^{\circ}30'$ شرقی و عرض‌های $33^{\circ}15'$ تا $34^{\circ}10'$ شمالی واقع شده است.

دشت سیلاخور با وسعت حدود ۸۰۰ کیلومترمربع در شمالی‌ترین قسمت حوضه آبریز کارون بزرگ و در جنوب محدوده مطالعاتی اشترینان واقع شده است. به علت ورود جریانات سطحی به این منطقه و همچنین وجود بارندگی کافی و برف‌گیر بودن ارتفاعات این محدوده، رودخانه‌های واقع در آن دائمی بوده و زهکش اصلی این محدوده را رودخانه‌های سیلاخور، ماربره و رودخانه تیره تشکیل می‌دهند. شکل ۱-۱ نمایی از دشت سیلاخور و شکل ۱-۲ راه‌های دسترسی به منطقه را نشان می‌دهند.



شکل ۱-۱: نمایی از منطقه مورد مطالعه (دشت سیلاخور)



شکل ۱-۲: راه‌های دسترسی به محدوده مطالعاتی (برگرفته از نقشه راه‌های کشور)

۱-۳- هواشناسی منطقه

آب و هوای یک منطقه نقش بسزایی در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی دارد. لذا تعیین نوع آب و هوای منطقه مورد مطالعه برای مشخص کردن نحوه تاثیر آن بر روی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی ضروری می‌باشد. بدین منظور از داده‌های ۱۰ ساله بارندگی ایستگاه رحیم آباد (۱۳۸۲-۱۳۹۱) استفاده شد. بر اساس این دوره آماری ۱۰ ساله متوسط درجه حرارت سالانه $14/81$ درجه سانتی‌گراد

و سردترین و گرم‌ترین ماه سال به ترتیب دی ماه و مرداد ماه می‌باشند. متوسط بارش سالانه تقریباً ۳۷۳ میلیمتر می‌باشد. فروردین و تیر به ترتیب پر باران‌ترین و کم باران‌ترین ماه‌های سال هستند. جدول ۱-۱ میانگین بارندگی و دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه را در یک دوره ۱۰ ساله نشان می‌دهد.

با توجه به میانگین دما و بارش سالیانه، دمارتن (De Martonne) ضریبی را ارائه کرده است به نام ضریب خشکی که مقدار این ضریب با توجه به جدول ۱-۱ اقلیم منطقه را مشخص می‌کند.

جدول ۱-۱: طبقه بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده ۱۳۸۹)

اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ - ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ - ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ - ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ - ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

جدول ۱-۲: میانگین بارندگی و دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه در یک دوره ۱۰ ساله

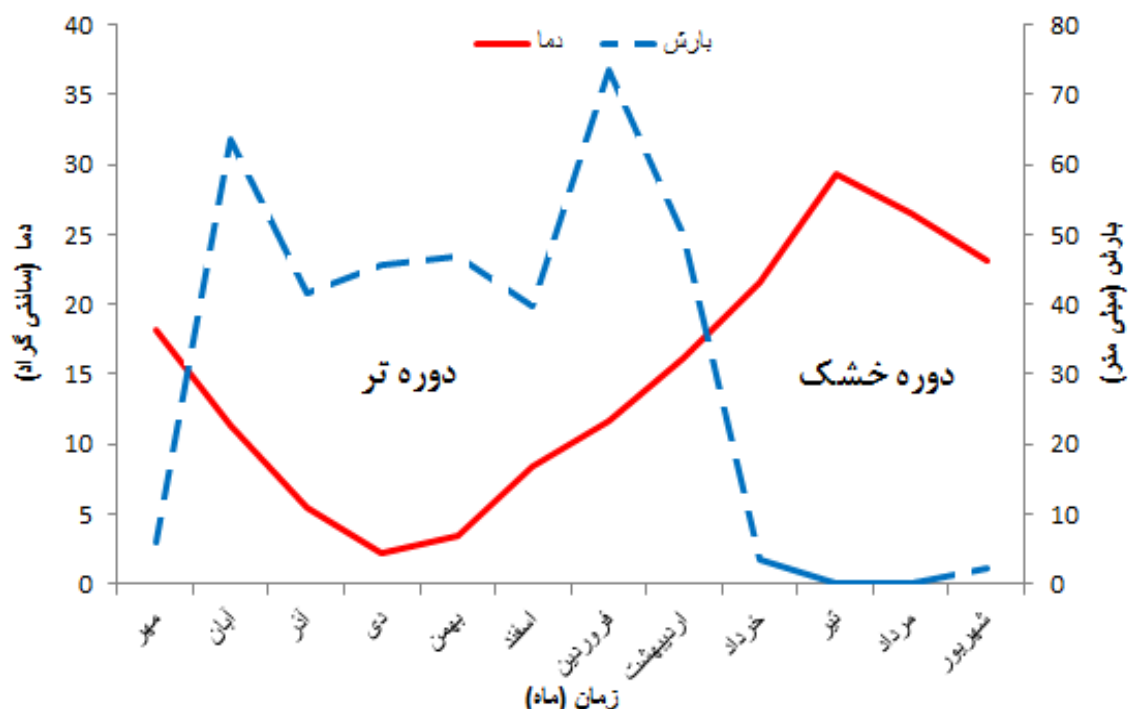
زمان (ماه)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	دما (سانتی‌گراد)
فروردین	73.67	11.62
اردیبهشت	49.92	16.21
خرداد	3.37	21.63
تیر	0.07	29.29
مرداد	0.22	26.55
شهریور	2.28	23.19
مهر	5.89	18.24
آبان	63.66	11.42
آذر	41.52	5.42
دی	45.67	2.14
بهمن	47.01	3.48
اسفند	39.9	8.48
سالانه	373.18	14.81

بر اساس داده‌های این جدول و با استفاده از رابطه‌ای دمارتن:

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

در این رابطه P میانگین بارش سالانه بر حسب میلی متر و T میانگین دمای سالانه (درجه سانتی-گراد) است. با توجه به مقدار I که ضریب خشکی نامیده می‌شود اقلیم منطقه مورد مطالعه از نوع نیمه خشک می‌باشد. با توجه به فرمول ارائه شده مناطقی که دارای مقدار بارش سالانه برابر هستند ولی دارای دمای هوای سالیانه مختلف باشند با توجه به مقدار اختلاف دما از اقلیم متفاوتی برخوردار می‌باشند.

همچنین طبق نمودار آمبروترمیک که تغییرات دمای هوا را نسبت به تغییرات بارندگی به مدت یک سال نشان می‌دهد، با کاهش بارندگی دما افزایش می‌یابد که نشان دهنده دوره خشک می‌باشد و با افزایش بارندگی دما کاهش می‌یابد که بیان کننده دوره مرطوب می‌باشد. دوره مرطوب منطقه مورد مطالعه تقریباً از اواخر آبان آغاز و تا اواخر اردیبهشت ادامه دارد و دوره خشک منطقه از اوایل خرداد شروع و تا اواخر مهر به طول می‌انجامد. نمودار مذکور در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: نمودار آمیروترمیک

۴-۱- زمین شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه در بین کمربند زاگرس مرتفع و زون سنندج- سیرجان واقع شده است. روراندگی زاگرس با روند شمال غربی - جنوب شرقی بیان کننده یک شکستگی بسیار عمیق و قدیمی است که بلوک عربی و ایرانی را معین می سازد. این زون با پهنای ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر، به صورت نواری کم پهن است که بلندترین قسمت کوه های زاگرس را تشکیل می دهد. چون منطقه رورانده زاگرس مرتفع ترین قسمت کوه های زاگرس را دربر می گیرد، بدین لحاظ آن را زاگرس مرتفع می نامند.

زون سنندج- سیرجان جزئی از ایران مرکزی است، که با اختصاصات ویژه ای مشخص شده است و به صورت نوار طویل دگرگون شده ای در امتداد و به موازات زاگرس، از ارومیه و سنندج در شمال غربی تا

سیرجان و اسفندقه در جنوب شرقی قرار دارد. این زون جز ناآرام‌ترین و به عبارتی، فعال‌ترین زون ساختمانی ایران به شمار می‌رود و تا سنوزوئیک، فازهای دگرگونی و ماگماتیسم مهمی را پشت سر گذاشته است (آقانباتی، ۱۳۸۴).

۱-۴-۱- چینه شناسی منطقه

سازندها و واحدهای زمین‌شناسی موجود در زاگرس مرتفع و زون سنندج-سیرجان از قدیم به جدید در زیر بیان شده است.

۱-۴-۱-۱- زاگرس مرتفع

سازند دالان: سنگ‌های پرمین با ضخامت تقریبی ۹۵۰ متر در میش‌پرور، جنوب غربی بروجرد، از دو واحد آهکی در زیر و دولومیتی در رو تشکیل شده است که این سنگ‌ها با سازند لالون در زاگرس و فارس مقایسه شده است.

سازند خانه‌کت: ضخامت سازند خانه‌کت حدود ۴۵۰ متر است که با دولومیت نازک لایه آغاز و با دولومیت صخره ساز خاتمه می‌یابد. سن سازند خانه‌کت تریاس و ارتباط سازند خانه‌کت با سازند سورمه در بالا همشیب و ناگهانی می‌باشد.

سازند سورمه: سنگ‌های کربناته ژوراسیک در میش‌پرور با سازند سورمه مقایسه شده و از یک ردیف آهک، آهک دولومیتی ضخیم لایه تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه ضخامت آن به ۴۰ متر می‌رسد.

واحد گرین و آهک خاکستری: سن این واحد زمین شناسی کرتاسه و ضخامت آن حدود ۱۳۴۰ در منطقه مورد مطالعه می باشد که از سنگ های آهکی تیره و روشن تشکیل شده است. این واحد هم ردیف با سازندهای فلهیان، داریان و سروک می باشد.

سازند گورپی: بر روی آخرین لایه های کرتاسه ردیفی با ضخامت ۲۰ متر از جنس شیل و مارن خاکستری با کنتاکت تیز و ناگهانی می نشیند که با سازند گورپی مقایسه شده است. از خصوصیات بارز این شیل ها ساختمان مدادی می باشد که به وضوح دیده می شود. سن این واحد به کامپاین - ماستریشین می رسد.

سازند امیران: سازند امیران دارای گسترشی در حدود ۵/۸ کیلومترمربع می باشد. این سازند در نواحی شرقی محدوده مطالعاتی رخنمون دارد و آخرین واحد چینه شناسی در میش پرور می باشد که ۴۰ متر ضخامت دارد و به صورت تدریجی روی سازند گورپی قرار می گیرد. این واحد عمدتاً از شیل و ماسه سنگ و لایه های کنگلومرای چرت دار تشکیل شده است و سن آن را ماستریشین در نظر می گیرند.

سازند کشکان: با ۲۰ تا ۶۰ متر ضخامت عمدتاً از کنگلومرای ارغوانی رنگ و ماسه سنگ تشکیل شده است و دارای سن پالتوسن - اتوسن زیرین می باشد.

سازند شهبازان: در منطقه مورد مطالعه ضخامت آن از ۱۰۰ متر تا ۶۰۰ متر متغیر است. سنگ - شناسی سازند شهبازان از آهک و دولومیت خاکستری شکل گرفته است و سن آن به اتوسن فوقانی برمی گردد.

آهک آلوئولین دار: این واحد به سن الیگوسن زیرین با گسترش ۳۰/۵ کیلومترمربع در محدوده مطالعاتی و در نواحی غربی محدوده رخنمون یافته است. از نظر لیتولوژیکی متشکل از آهک آلوئولین دار، چرت، سنگ های آتشفشانی و ماسه سنگ می باشد.

سازند آسماری: با ضخامت ۵۰ تا ۴۰۰ متر به صورت صخره‌ساز از سایر نهشته‌ها قابل تفکیک است. عموماً از آهک ریفی دانه‌ریز تا متوسط‌دانه خاکستری رنگ با لایه‌بندی منظم ساخته شده است و سن آن الیگوسن فوقانی - میوسن زیرین می‌باشد.

فیلش‌های میوسن: به صورت همشیب و پیوسته با ضخامت ۱۵۰۰ - ۵۰۰ متر روی سازند آسماری قرار می‌گیرد. بر اساس فسیل‌های یافت شده سن میوسن زیرین - بالایی را به آن نسبت داده‌اند.

کنگلومرای بختیاری: هم‌ارز سازند هزاردره به سن پلیوسن در البرز می‌باشد که در حوضه مطالعاتی دارای ۵۰۰ - ۳۰۰ متر رخنمون می‌باشد.

رسوبات عهد حاضر: شامل ماسه، رس، سیلت و گراول می‌باشند و سطح دشت را می‌پوشانند. این رسوبات در نواحی مرکزی محدوده مطالعاتی مشاهده شده‌اند و وسعت آن برابر با ۱۰۵۲/۲ کیلومتر مربع می‌باشند.

۱-۴-۲- زون سنندج - سیرجان

نهشته‌هایی از جنس گرانودیوریت، هورنفلس‌ها و هورنفلس شیست‌ها در نواحی شمال و شمال شرقی محدوده مطالعاتی رخنمون یافته است که روند این بیرونزدگی‌ها در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی است و جزئی از زون سنندج - سیرجان می‌باشند. عمده‌ترین سنگ‌های نفوذی را سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی تشکیل می‌دهد که در گستره وسیعی از منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. در شمال و شرق بروجرد سنگ‌های نفوذی در سطح وسیعی در بین اسلیت‌های سیاه گسترده شده‌اند و ترکیب آن‌ها از کوارتزدیوریت تا گرانیت تغییر می‌کند که نشان می‌دهد تزریق توده نفوذی ابتدا کوارتزدیوریتی بوده و در مراحل بعدی ترکیب، اسیدی تر شده و سنگ‌های گرانودیوریتی و گرانیتی جانشین شده‌اند. این سنگ‌ها در اطراف خود هاله ضخیمی از هورنفلس و شیست‌های لکه دار به وجود

آورده‌اند به طوری که هر چه از توده نفوذی دورتر می‌شویم به تدریج شیستوزیته در سنگ‌های دگرگون شده مجاورتی ظاهر شده و به صورت هورنفلس شیست آندالوزیت‌دار و در نهایت به شیست-های لکه‌دار تبدیل می‌شود. نقشه زمین‌شناسی در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.

ولکانیک دگرگونه و توف: سن این واحد به تریاس می‌رسد که با وسعت ۱۴۶/۸ کیلومترمربع در نواحی جنوب شرقی و شرق محدوده مطالعاتی رخنمون یافته است.

فیلیت، کوارتز آرنایت دگرگونه: این واحد به سن ژوراسیک زیرین با وسعت ۱۶۵/۱ کیلومترمربع در نواحی جنوب شرقی و شرق محدوده مطالعاتی رخنمون یافته است.

هورنفلس شیست: این واحد با وسعت ۴۸/۳ کیلومترمربع در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی رخنمون دارد. سن آن به ژوراسیک زیرین می‌رسد.

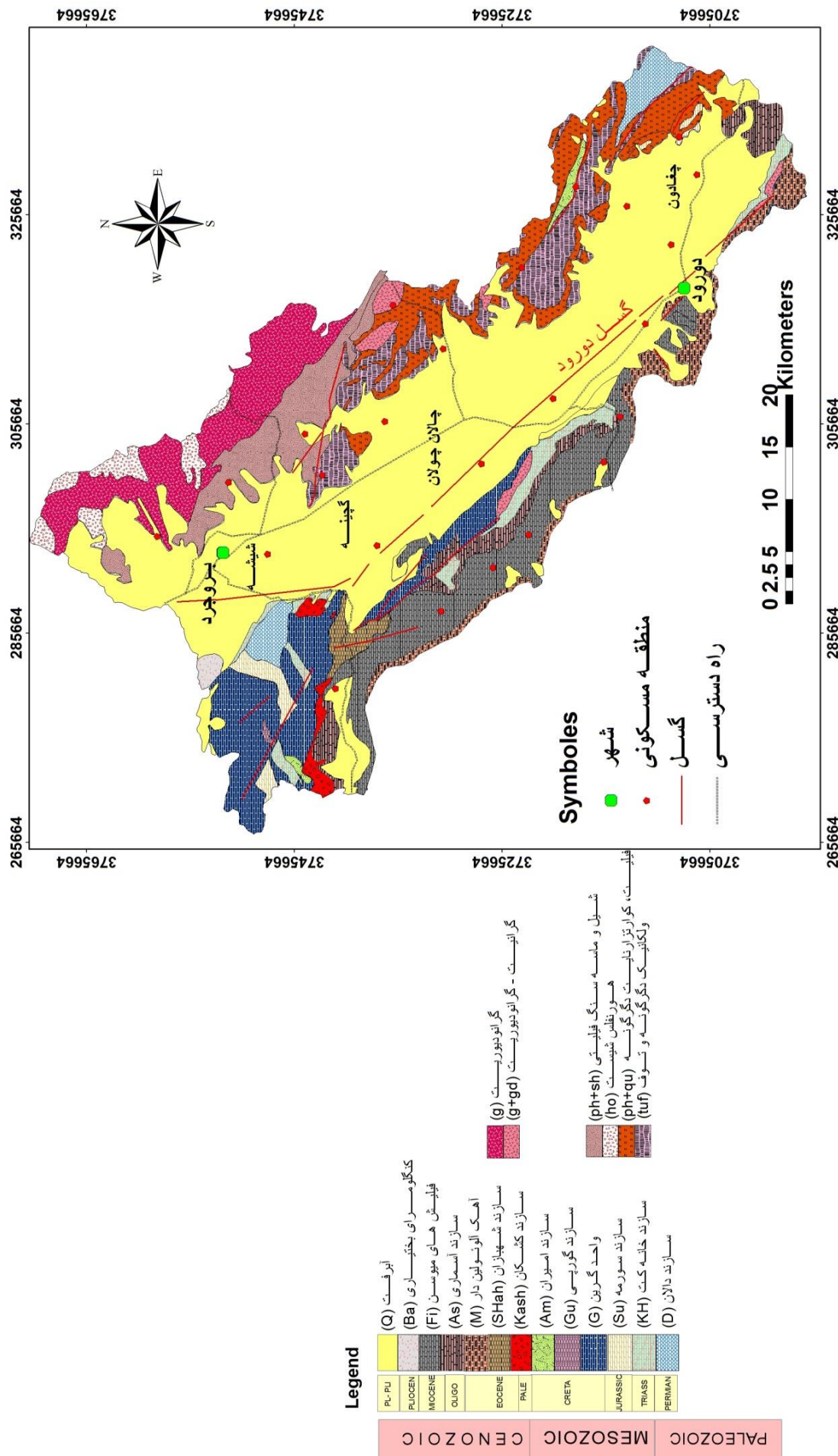
شیل و ماسه سنگ فیلیتی: این واحد با سن ژوراسیک بالایی با وسعت ۱۰۶/۶ کیلومترمربع در نواحی شمال شرقی محدوده مطالعاتی رخنمون یافته است. از نظر لیتولوژی از شیل و ماسه سنگ فیلیتی تشکیل شده است.

گرانیت-گرانودیوریت: این واحد نیز به سن پالئوسن - ائوسن با وسعت ۱۴/۸ کیلومترمربع در نواحی شرقی محدوده مطالعاتی رخنمون یافته است.

گرانودیوریت: این واحد به سن پالئوسن - ائوسن با وسعت ۱۴۹/۵ کیلومترمربع در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی رخنمون یافته است.

۱-۴-۲- زمین شناسی ساختمانی

بارزترین و مهم‌ترین عارضه زمین‌شناسی از نظر ساختمانی در دشت سیلاخور گسل دورود می‌باشد که دارای روند عمومی شمال غربی- جنوب شرقی و به طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد که از جنوب دورود تا حوالی بروجرد امتداد دارد. گسل دورود را می‌توان مرز بین زون سنندج - سیرجان و زاگرس مرتفع دانست و احتمالاً باقیمانده تتیس جوان می‌باشد. دوره بازگشت فعالیت گسل دورود به طور تقریبی ۱۰۰ ساله می‌باشد زلزله سال ۱۲۸۸ و فروردین ماه ۱۳۸۵ دشت سیلاخور مبین این موضوع می‌تواند باشد. دشت سیلاخور و ارتفاعات مجاور دارای درز و شکاف‌های متعدد و چین‌خوردگی و گسل‌های فرعی زیادی می‌باشند که روند همه آن‌ها از گسل اصلی دورود پیروی می‌کنند.



شکل ۴-۱: نقشه زمین شناسی منطقه برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بروجرد-دورود سازمان زمین شناسی و اکتشافات کشور

۱-۵- هیدرولوژی منطقه

علاوه بر بارندگی، رودخانه‌های دائمی و فصلی در هر حوضه آبگیر نقش اساسی در تغذیه آب‌های زیرزمینی دارد. رواناب‌های حاصل از بارش در حوضه به همراه آب‌های خروجی از چشمه‌ها و زهکش دشت و ارتفاعات، تامین کننده دبی رودخانه‌های دائمی سیلاخور، ماربره و تیره هستند که در محدوده مطالعاتی جریان دارند. یکی از زهکش‌های اصلی این محدوده رودخانه سیلاخور است که جریان دامنه‌های بلند شمال غربی حوضه را به بخش جنوب شرقی این محدوده منتقل نموده و در این مسیر به رودخانه آب سرده و رودخانه تیره پیوسته و سپس در شمال دورود از محدوده مذکور خارج می‌شود.

رودخانه سیلاخور در ۱۴ کیلومتری جنوب بروجرد از ایستگاه آب‌سنجی رحیم‌آباد می‌گذرد. این رودخانه جهت مصارف شرب و کشاورزی در مقاطع مختلف به ویژه در دشت بروجرد بهره‌برداری می‌شود. این رودخانه دارای جریان دائمی با کیفیت خوب بوده و کوه‌های گرین، میش‌پرور، از حوضه آبگیر این رودخانه می‌باشند.

رودخانه تیره یکی از شاخه‌های مهم رودخانه سزار می‌باشد که آب‌های منطقه وسیعی از کوه‌های جنوب شازند را جمع‌آوری و به رودخانه سزار می‌رساند. شاخه‌های اولیه آن زیاد بوده و شبکه متراکمی را بوجود آورده‌اند. شاخه اصلی آن از دامنه‌های کوه سیب‌تلخ و هزارجریب منشاء می‌گیرد و پس از آن که شاخه‌های اولیه آن در ده‌کلبی بهم پیوسته در جهت جنوب شرقی جریان می‌یابد و در مسیر خود ضمن دریافت جریان شاخه‌های متعدد، روستاهای واقع در مسیر خود را مشروب می‌نماید. رودخانه تیره دارای آب دائمی است که به مصرف آشامیدن و کشاورزی منطقه می‌رسد و مازاد آن وارد رود سزار می‌گردد.

رودخانه ماربره از بلندی‌های جنوب شرقی ارتفاعات شازند سرچشمه می‌گیرد و به نام رودخانه ازنا در امتداد شمال به جنوب جریان یافته و از حاشیه شرقی شهر ازنا گذشته سپس به رودخانه‌های الیگودرز و کمندان پیوسته و در امتداد شرق به غرب جریان یافته و یک رودخانه دائمی را تشکیل می‌دهد که جریان آن در ایستگاه آب سنجی دورود قبل از پیوستن به شاخه تیره اندازه‌گیری می‌شود.

بر اساس آمار ۳۰ ساله ایستگاه دورود - تیره از سال آبی ۶۰-۱۳۵۹ تا ۸۹-۱۳۸۸ بیشترین مقدار دبی متوسط سالانه مربوط به سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ به میزان ۳۳/۵۸ مترمکعب در ثانیه و کمترین مقدار آن مربوط به سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ به میزان ۳/۰۵ مترمکعب در ثانیه و متوسط آورد سالانه در طول دوره آماری برابر ۱۴/۶۸ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد (سازمان آب منطقه ای لرستان).

فصل دوم: مروری بر منابع

آب زیرزمینی یکی از ذخایر مهم آب شیرین مورد استفاده بشر می‌باشد. بعد از اقیانوس‌ها و یخچال‌ها، آب‌های زیرزمینی بیشترین حجم آب موجود در چرخه هیدرولوژی را به خود اختصاص می‌دهند و همچنین بعد از یخ‌پهنه‌ها بزرگترین منبع آب شیرین جهان می‌باشند. آب‌های زیرزمینی استخراج شده بیشتر به مصرف کشاورزی، صنعت و شرب می‌رسند (صداقت ۱۳۷۳، علیزاده ۱۳۸۹).

آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی دارای نمک‌های محلول بیشتری هستند. نمک‌ها بیشتر از انحلال سنگ‌های در مسیر، منشاء می‌گیرند. بنابراین، از منطقه تغذیه به سمت منطقه تخلیه مقدار شوری آب افزایش می‌یابد (Todd 2005).

۲-۱- عوامل موثر بر وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوانهای آبرفتی

عوامل مختلفی از قبیل شیب هیدرولیکی، جهت‌های عمومی جریان، مناطق تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی، مقدار برداشت از آب زیرزمینی، قابلیت انتقال آبخوان و ضریب ذخیره بر هیدروژئولوژی یک آبخوان موثر هستند.

در بررسی‌های محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۰) روی کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی دشت اراک و ساوه مشخص شد که متوسط افت سطح آب در طول هفت سال در محدوده دشت اراک ۳/۳۸ متر و در دشت ساوه ۱۰/۱۹ متر بوده است. میزان تخلیه از آبخوان اراک تقریباً سه برابر بیشتر از آبخوان ساوه است ولی آبخوان ساوه حدوداً دو برابر آبخوان اراک افت داشته است. علت این امر به تغذیه بیشتر دشت اراک و آزاد بودن سفره برمی‌گردد. همچنین مشخص شد که کیفیت آب در فصل تر نسبت به فصل خشک نامطلوب‌تر است و چاه‌های کم عمق دارای آبی با کیفیت پایین‌تر می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که عواملی از قبیل میانگین بارش سالانه بیشتر دشت اراک در مقایسه با دشت ساوه، وجود آبخوان آزاد در دشت اراک، بیشتر بودن ضریب ذخیره و مساحت منطقه تغذیه آبخوان دشت اراک، در مقایسه با آبخوان تحت فشار موجود در دشت ساوه، باعث افت بیشتر آبخوان ساوه (افت بین ۰ تا ۱۵ متر) نسبت به آبخوان دشت اراک (افت بین ۰ تا ۵ متر) شده است.

عطایی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی رابطه بین نوسانات اقلیمی با تراز آبخوان دهگلان دریافتند که نوسانات تبخیر و بارش، باعث تغییر قابل توجه در تراز آبخوان می‌شود و نقش رطوبت نسبی بر تراز آبخوان بی‌اثر است. اما عامل اصلی ایجاد روند کاهشی مداوم تراز آبخوان، بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان می‌باشد.

۲-۱-۱- عوامل موثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی

تغذیه، تخلیه، پدیده جزر و مد، تبخیر و تعرق، زلزله، شهرسازی، تغییرات فشار هوا و بارهای خارجی عواملی هستند که بر روی سطح ایستابی تاثیر می‌گذارند. این پدیده‌ها با تغییر در فشار آب زیرزمینی سبب تغییر در ارتفاع آب زیرزمینی می‌شوند (Todd 2005).

مطالعات مداح و همکاران (۱۳۸۹) در دشت مشهد نشان داد که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در طول ۴۰ سال، سطح آب زیرزمینی ۶۰ متر افت پیدا کرده و نشست زمین ایجاد شده است.

مطالعه چنگمینگ (Changming 2001) در قسمت‌های شمالی دشت چین که یکی از مهمترین مناطق کشاورزی چین است نشان داد افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به دلیل توسعه شهرسازی و افزایش تقاضا، باعث کاهش سطح ایستابی شده است که باعث ایجاد مسائل زیست محیطی مانند نشست زمین و تخریب کیفیت آب زیرزمینی شده است.

بررسی روند تغییرات سطح آب در آبخوان شهر داکا در کشور بنگلادش توسط هوک و همکاران (Hoque et al. 2007) مشخص شد که برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی به وسیله چاه‌های آب در آبخوان ماسه‌ای سبب افت سطح ایستابی از حالت خطی به نمایی شده است.

۲-۱-۲- تاثیر خشکسالی در افت منابع آب زیرزمینی

طی مطالعه‌ای که محمدی و همکاران (۱۳۸۲) در شمال همدان انجام داده‌اند نتیجه گرفتند که خشکسالی‌های شدید که طی سال‌های اخیر به طور مداوم رخ داده است علاوه بر خشکی و کاهش آب-های سطحی محدوده مورد مطالعه، افت مستمر سطح ایستابی و در نتیجه خشکی یا کم‌آبی منابع آب منطقه را ایجاد کرده است. در این دشت حدود ۸۸ درصد از مصرف آب در بخش‌های مختلف از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود که با وجود خشکسالی و افت شدید سطح آب لزوم مدیریت صحیح در استفاده منابع آب ضروری می‌باشد.

تاثیر خشکسالی روی کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی به عواملی از قبیل عمق سفره، خصوصیات زمین-شناسی، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و شبکه آب‌های سطحی روی آن بستگی دارد. خشکسالی به طور

مستقیم روی آب‌های سطحی تاثیر می‌گذارد. ولی روی آب‌های زیرزمینی بسته به شرایط با تاخیر زمانی موثر است (محمدی و همکاران ۱۳۸۲).

۲-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی

نوع کیفیت آب بسیار وابسته به واکنش بین آب و سنگ می‌باشد. به طور کلی کیفیت منابع آب تحت تاثیر عواملی چون سازندهای زمین شناسی، بافت، اندازه ذرات آبرفت، وضعیت هیدرودینامیکی آبخوان و شرایط اقلیمی می‌باشد. کیفیت آب در آبخوان‌های آبرفتی بستگی به نفوذپذیری آن‌ها دارد که در صورت دانه درشت بودن رسوبات مقدار مواد محلول کم و در دانه‌ریزها بیشتر می‌باشد. مقدار املاح موجود در سنگ-های آذرین و دگرگونی بسیار کمتر از محیط‌های رسوبی می‌باشد.

عبدالهی و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در دشت راور بستگی به عوامل مختلفی از قبیل جنس رسوبات در تماس با آب، زمان ماندگاری آب زیرزمینی و شیب هیدرولیکی حوضه و نرخ برداشت از آب‌های زیرزمینی دارد. واکنش متقابل بین عوامل یاد شده باعث ایجاد آب‌های زیرزمینی با ترکیب متفاوت شده است.

تاثیر زلزله بم روی ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت بم توسط ملکوتیان و نوری (Malakootian and Nouri 2010) مطالعه و بررسی شد. نتیجه نشان می‌دهد که تمام پارامترهای شیمیایی از قبیل هدایت الکتریکی، اسیدیته، کل مواد جامد محلول، کاتیون‌ها و آنیون‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافته‌اند. تغییر سطح ایستابی، در اثر وقوع زلزله، تغییر دمای آب، تغییر فشار در رسوبات آبخوان و مخلوط شدن آب با آبخوان‌های مجاور می‌تواند عوامل موثر بر افزایش پارامترهای کیفی آب باشند.

دشت هرزندات بین مرند و جلفا در شمال ایران قرار دارد. با مطالعاتی که آقازاده و مقدم (Aghazadeh and Mogaddam 2011) روی خصوصیات هیدروژئوشیمی این دشت انجام داده‌اند، بیان کردند که آب زیرزمینی در این دشت به شدت شور می‌باشد. و تیپ آب کلورسديم می‌باشد. آن‌ها شوری بیش از حد را، انحلال کانی‌های تبخیری مانند گچ و نمک طعام، تبادل یونی و زمان ماندگاری آب زیرزمینی در تماس با سنگ‌ها ذکر نمودند.

کیفیت آب زیرزمینی یک منطقه عمدتاً به وسیله عوامل طبیعی شامل سنگ شناسی، سرعت آب زیرزمینی، کیفیت آب‌های تغذیه شونده و ارتباط با دیگر انواع سفره‌ها و همچنین عوامل انسانی مانند کشاورزی، صنعت، شهرسازی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب کنترل می‌شوند (Min et al. 2009). کیفیت آب زیرزمینی ناشی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب می‌باشد که به شدت تحت تاثیر زمین شناسی و فعالیت‌های انسانی قرار دارد (Nwankwoala 2011).

۲-۱- تاثیر سازندهای زمین شناسی روی کیفیت آب‌های زیرزمینی

مطالعات شریف‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) روی شوری دشت آبدان در استان بوشهر نشان داد که تغذیه از سازندهای نمکی شمال شرقی منطقه، باعث شوری آب زیرزمینی شده است.

رضایی (۱۳۸۸) در بررسی‌های خود بر روی دشت داراب نتیجه گرفت که مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از شمال به سمت جنوب منطقه روند افزایشی دارد. یعنی جایی که ارتفاعات کارستی آسماری – جهرم قرار دارند در شمال، به سمت سازندهای آغاچاری در جنوب که متشکل از مارن و ژپس هستند هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. به طوری که کیفیت آب در منطقه نزدیک سازندهای کارستی با هدایت الکتریکی ۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بسیار خوب می‌باشد. ولی در بخش‌های جنوبی به دلیل انحلال

کانی‌های سولفات‌ه و غیره کیفیت آب با هدایت الکتریکی ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر نامناسب تلقی می‌شود. همچنین هیدروگراف واحد دشت نشان می‌دهد که طی دوره شش ساله در دشت داراب بارندگی سیر نزولی داشته که این کاهش در نزولات جوی و افزایش برداشت از آب زیرزمینی باعث شده است تا تراز آب ۲۰ متر کاهش پیدا کند. بنابراین اعمال مدیریت صحیح در چنین بخش‌هایی از کشور ضروری می‌باشد.

نتایج مطالعات رستمی و همکاران (۱۳۹۰) روی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رومشکان نشان می‌دهد که کیفیت آب‌های زیرزمینی متأثر از سازندهای دارای رخنمون در منطقه می‌باشد. به طوری که آب‌های زیرزمینی هر چه از سازندهای آهکی مثل آسماری دور می‌شوند و به سمت سازند گچساران نزدیک می‌شوند از مقدار کربنات و کلسیم آن کاسته و به سولفات و کلر آن افزوده می‌شود.

در بررسی‌های انجام شده توسط غزنوی و همکاران (۱۳۹۰) روی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های اطراف سراب نیلوفر مشخص شد که از سراب نیلوفر به سمت دشت‌های میان‌در بند و ماهیدشت، به دلیل تماس آب با محیط اطراف مقدار هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. همچنین نقشه هم‌پتانسیل دشت‌ها نشان می‌دهد که جهت کلی جریان از کوه‌های آهکی به سمت دشت‌های مجاور می‌باشد. بنابراین هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد.

لیتولوژی و دیگر خصوصیات زمین‌شناسی و تکتونیک مهمترین عامل موثر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی می‌باشد. در بررسی‌های کمی و کیفی انجام شده توسط چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۰) در دشت خویس، هیدروگراف واحد دشت از مهر ۸۴ تا شهریور ۸۹ نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی دشت خویس خیلی سریع به بارندگی واکنش نشان می‌دهد. همچنین دشت خویس از نظر کیفیت بررسی شد و نشان داد که در جهت جریان از سمت غرب به شرق از محل تغذیه به محل تخلیه بر

شوری آب افزوده می‌شود. به طوری که در قسمت‌های شرقی دشت هدایت هیدرولیکی آب به بیش از ۶۲۰۰ میکروموس بر سانتی متر می‌رسد که از لحاظ کشاورزی بر اساس نمودار ویلکاکس نامطلوب می‌باشد.

یکی از عوامل اصلی تعیین کننده کیفیت آب‌های زیرزمینی سازندهای زمین شناسی می‌باشند. سازندهای تبخیری به علت بالا بودن مقدار گچ، نمک و منیزیم و همچنین انحلال پذیری زیاد این سازندها در آب، مستعد تخریب کیفیت آب زیرزمینی هستند. تا جایی که مقدار مواد حل شده در این سازندها به بیش از ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر هم می‌رسد (Davis and Dewist 1996).

در اثر عبور آب‌های زیرزمینی از سنگ‌ها و کانی‌های موجود در مسیر ممکن است غلظت بعضی از عناصر افزایش یابد و اگر این غلظت از عناصر برای شرب، صنعت یا کشاورزی قابل استفاده نباشد آب آلوده محسوب می‌شود (Yuce and Ugurluog 2009).

کومار (Kumar 2013) در مطالعاتش در دشت پرامبالور (Perambalur) در کشور هند به این نتیجه رسیده است که ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی بسیار پویا می‌باشد و به شدت توسط محیط تماس آب کنترل می‌شود. وی ذکر کرده است عوامل اصلی موثر در نوع کیفیت آب را به هوازدگی سیلیکات‌ها، انحلال کانی‌ها، تبادل یونی، تبادل یونی معکوس و همچنین جریان آب زیرزمینی و توپوگرافی می‌باشند.

تغییر شیمی آب زیرزمینی در اثر عوامل طبیعی، تابعی از بارش، تبخیر و تعرق، فرایندهای بیوشیمیایی در دل خاک و فرایندهای بین آب و سنگ در آبخوان می‌باشد و عوامل انسانی موثر بر شیمی آب عمدتاً شامل آب زائد و فاضلاب رها شده در محیط، نشت مجرای فاضلاب، فعالیت‌های کشاورزی و تهنشست اتمسفری می‌باشند (Schmidt et al. 2013).

۲-۲-۲- سرعت آب زیرزمینی

سرعت آب زیرزمینی بر میزان انحلال عناصر تاثیر زیادی دارد. به طوری که هرچه سرعت آب بیشتر باشد زمان تماس آب با سنگ کاهش می‌یابد. بنابراین، عناصر کمتری در آب حل می‌شود. ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان‌هایی که دارای هدایت هیدرولیکی پایین هستند و سرعت آب زیرزمینی نیز کم است به شدت به ترکیب کانی شناسی سنگ بستگی دارد. زیرا زمان تماس آب با سنگ افزایش می‌یابد و کانی‌های موجود در سنگ در تعادل شیمیایی با آب زیرزمینی قرار می‌گیرند (Lungemuir 1977).

به دلیل دانه‌ریز بودن رسوبات سفره آزاد هرمیدال (Hermidale) در کشور آمریکا، سرعت حرکت آب زیرزمینی بسیار کند می‌باشد در نتیجه به دلیل افزایش مدت تماس آب با رسوبات هدایت الکتریکی افزایش چشم‌گیری داشته است (Khider and Mcphail 2005).

۲-۲-۳- اثر بهره برداری بی‌رویه روی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی

بررسی زهتابیان و همکاران (۱۳۸۱) نشان داد که تخریب کیفیت و کاهش افت سطح ایستابی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مثل کشور ایران با بهره‌برداری و استخراج بی‌رویه آب‌های زیرزمینی ارتباط مستقیمی دارد. تخریب کیفیت می‌تواند معطلات بعدی مثل شوری ثانویه، کاهش راندمان محصولات کشاورزی و کاهش باروری خاک‌ها را ایجاد کند. حاشیه‌های کویرها و بیابان‌ها در خطر بیشتر این پدیده‌ها هستند. بنابراین در منطقه‌ای که بهره‌برداری اصولی انجام شود و منابع طبیعی و پتانسیل‌های موجود به صورت صحیح مورد استفاده قرار بگیرند توسعه پایدار اتفاق می‌افتد. ولی متأسفانه در سال‌های اخیر با برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی افت شدیدی در سطح ایستابی رخ داده است که نه تنها

باعث کاهش آبدهی و خشک شدن برخی چاه‌ها شده است بلکه باعث تخریب شدید کیفیت آب شده است. دشت قم در یک منطقه خشک در جنوب و جنوب شرق شهر قم واقع شده است که در حاشیه کویر مرکزی ایران و در نزدیکی دریاچه نمک و شوره‌زارهای آن قرار دارد. کمبود رودخانه با کیفیت مناسب و برداشت بیش از حد از سفره‌های آب‌زیرزمینی باعث شوری و کاهش سطح آب شده است.

آباد و همکاران (۱۳۸۵) با آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های دشت زیدآباد در سیرجان بیان کردند که همبستگی زیادی بین داده‌های عمق سطح ایستابی با مقدار هدایت الکتریکی وجود دارد. آن‌ها شور شدن آب را به افت سطح ایستابی نسبت دادند.

ولایتی (۱۳۸۶) در مطالعه خود روی شور شدن چاه‌ها در دشت جنگل (تربت حیدریه) بیان کرد که افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از ۵۰۰ میکروموس بر سانتی متر در سال ۱۳۶۶ به ۶۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر در ۱۳۷۵، ناشی از برداشت بی‌رویه از آبخوان می‌باشد.

در بررسی‌های رحمانی و شکوهی (۱۳۸۶) روی کیفیت دشت همدان مشخص شد که با توجه به کاهش سطح ایستابی تغییرات کیفی مخزن به حالت بحرانی نرسیده است اما حدود ۳۰ درصد از ۱۸ چاه موجود در دشت دارای مواد جامد محلول بالاتر از حد استاندارد جهانی می‌باشند.

افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به خاطر گسترش فعالیت‌های کشاورزی باعث تخریب کیفیت آب می‌شود (Mackenzie and Viets 1974).

با توجه به اطلاعات ۵۳ چاه پیزومتری در دشت کاشان طبق مطالعات جمشیدزاده (Jamshidzadeh 2010) مشخص شد که سطح ایستابی در دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۹۰ حدود هشت متر افت کرده است. همچنین طبق داده‌های ۲۱ نمونه آب نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی بر اساس استاندارد سازمان جهانی غیر قابل آشامیدن می‌باشد و با استفاده از نمودار پایپر ترکیب غالب آب، کلرید-

سدیم می‌باشد.

طبق مطالعات اژدري و کاظمی (Ajdary and Kazemi 2014) روی تغییرات خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت شاهرود در دوره آماری ۱۶ ساله دریافتند که به دلیل کاهش بارندگی و افزایش برداشت از آب زیرزمینی سطح ایستابی ۱۱/۴ متر افت کرده است. که با توجه به ضریب ذخیره حوضه، ۲۱۶ میلیون متر مکعب از ذخیره حوضه کم شده است. همچنین میانگین هدایت الکتریکی آبخوان آبرفتی شاهرود در طی دوره ۱۶ ساله ۲۴ درصد رشد داشته است.

یی سونگ (Yii-soong 1983) در حوضه یان-لین (yan-lin) مشاهده کرد که افزایش پمپاژ در دشت کیفیت آب زیرزمینی را به شدت کاهش داده است.

نتیجه مطالعات زغبی و همکاران (Zghibi et al. 2013) در دشت کربا (Korba) در کشور هند بیان کرد که منبع اصلی آلودگی آبخوان ساحلی نفوذ آب شور دریا است. و علت آن را به استخراج بیش از اندازه از آب زیرزمینی که باعث افت سطح ایستابی بیش از دو متر زیر سطح دریا و کاهش نفوذ آب شیرین به دریا شده است نسبت دادند.

نتایج مطالعات هیدروژئولوژیکی دشت اردبیل توسط کرد و همکاران (Kord et al. 2013) نشان داد که سطح ایستابی در دشت به شدت افت (حدود ۱۲ متر) کرده است. که این کاهش سطح ایستابی باعث کاهش کیفیت آب و همچنین نشست زمین شده است.

بنابر مطالب گفته شده مهمترین عواملی که روی کیفیت آبهای زیرزمینی تاثیر می گذارند عواملی از قبیل نوع سازندهای زمین شناسی، بهره برداری بی رویه از آب زیرزمینی، کیفیت آبهای تغذیه شونده و ارتباط با دیگر انواع سفره ها بر کیفیت هستند و عواملی نظیر شیب هیدرولیکی، جهت های عمومی جریان، مناطق تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی، مقدار برداشت از آب زیرزمینی، قابلیت انتقال آبخوان و ضریب ذخیره بر کمیت آبهای زیرزمینی موثر هستند. لذا برای کاهش آسیب های ناشی از کاهش کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی شناخت خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان ها ضروری می باشند.

فصل سوم: روش انجام کار

در این قسمت روند انجام مطالعات، جهت بررسی خصوصیات کمی و کیفی دشت سیلاخور به صورت خلاصه ارائه شده است.

به طور کلی فعالیتهای صورت گرفته برای انجام این تحقیق به شرح زیر می باشد:

- جمع آوری آمار و اطلاعات مربوط به کیفیت و کمیت آب زیرزمینی در دشت سیلاخور
- تهیه نقشه زمین شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بروجرد- دورود
- نمونه برداری های لازم از تعدادی از چاه های منطقه با پراکندگی مناسب
- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی منطقه

۳-۱- جمع آوری آمار و اطلاعات مربوط به کمیت و کیفیت آب زیرزمینی

برای انجام هر پروژه زمین شناسی جمع آوری آمار و اطلاعات اولین قدم می باشد. برای بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت سیلاخور آمار و اطلاعات لازم از سازمان آب منطقه ای لرستان گرفته شد. داده های مربوط به کمیت آبخوان از چاه های پیزومتری منطقه و داده های مربوط به کیفیت آبخوان، از چاه های بهره برداری برداشت شدند. علاوه بر داده های خام از گزارش های موجود در سازمان آب منطقه ای لرستان استفاده شد.

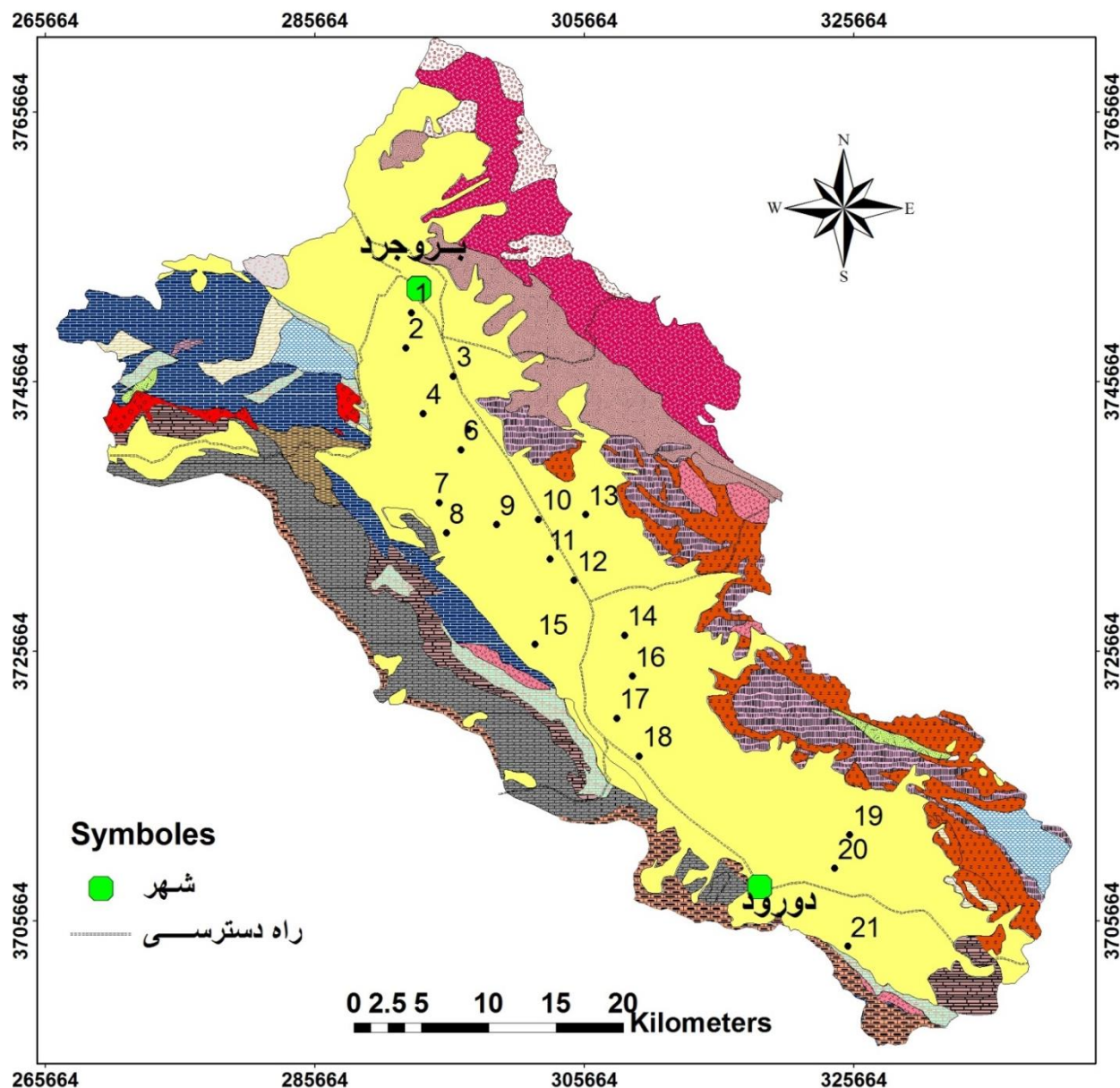
۳-۲- مطالعات زمین‌شناسی

نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است. جهت بررسی زمین‌شناسی منطقه، از نقشه‌های زمین‌شناسی و توضیحات پشت نقشه تهیه شده به وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شد. محدوده دشت سیلاخور در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بروجرد - دورود و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم‌آباد قرار گرفته است. برای دقت بیشتر، نقشه‌های زمین‌شناسی با تصاویر حاصل از نرم افزار Google Earth تطبیق داده شدند بعد از صحت‌سنجی لایه‌های زمین‌شناسی روی نقشه‌های موجود، به وسیله نرم افزار

Arc GIS 9.3 نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه ترسیم شد.

۳-۳- نمونه‌برداری از آب‌های زیرمینی منطقه

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی دشت سیلاخور از حدود ۲۱ چاه عمیق و نیمه عمیق موجود در منطقه در خرداد ۱۳۹۳ نمونه‌برداری انجام شد. موقعیت محل‌های نمونه‌برداری در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: موقعیت چاه‌های بهره‌برداری که نمونه برداری از آنها صورت گرفته است

برای نمونه‌برداری از ظرف‌های پلاستیکی ۲۵۰ میلی‌لیتری استفاده شد و قبل از نمونه‌گیری ۲ بار با آب چاه در حال پمپاژ شسته شدند. سپس برای آنالیز شیمیایی و تعیین غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی از قبیل سولفات، کلر، بیکربنات، سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم نمونه‌ها به آزمایشگاه فرستاده شدند. بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه سایر پارامترهای شیمیایی مانند کل املاح جامد محلول، درصد جذب سدیم، درصد سدیم، سختی کل و برخی از نسبت‌های یونی مورد

نیاز محاسبه شده‌اند.

به طور خلاصه پارامترهای اندازه‌گیری شده به دو دسته، پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل و پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه تقسیم می‌شوند.

۳-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری

هدایت الکتریکی و pH آب زیرزمینی در محل نمونه برداری اندازه‌گیری و ثبت شدند. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت سنج ساخت شرکت HACH انجام گرفت. دقت دستگاه هدایت‌سنج برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر برابر با ۱ میکروموس بر سانتی متر و برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بیش از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر برابر ۱۰ میکروموس بر سانتی متر می‌باشد.

pH آب نیز در محل نمونه برداری اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری اسیدیته از دستگاه pH متر مدل SUNTEX-710 با دقت 0.01 استفاده شد.

۳-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی از قبیل سولفات، کلر، بیکربنات، سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم توسط آزمایشگاه دامغان اندازه‌گیری شد. پس از دریافت نتایج آزمایش پارامترهایی از قبیل میزان کل املاح جامد محلول، درصد جذب سدیم، درصد سدیم، سختی کل و برخی نسبت‌های یونی مورد نیاز محاسبه شدند. و همچنین نمودارهای کیفی آنیون‌ها و کاتیون‌ها با استفاده از نرم افزارهای Aqqa، Chemistry و Excel ترسیم شدند. با توجه به موقعیت جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری و مقدار عناصر مختلف از جمله سدیم، کلر، سولفات و بیکربنات نقشه‌های کیفی ابتدا به شکل دستی سپس به کمک نرم افزار Arc GIS 9.3 ترسیم شدند.

۳-۴- تحلیل و بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منطقه به وسیله ترسیم

نقشه‌ها و نمودارها

بخش مهم مطالعات هیدروژئوشیمیایی یک آبخوان را تحلیل داده‌ها با رسم نقشه و نمودارهای مربوطه تشکیل می‌دهد. اطلاعات کیفی منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف به صورت پراکنده توسط سازمان آب منطقه‌ای از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۲ از ۱۵ حلقه چاه بهره‌برداری و در خرداد سال ۱۳۹۳ از ۲۱ حلقه چاه بهره‌برداری، متفاوت با چاه‌های سال‌های قبل طی عملیات صحرایی برداشت شده است.

۳-۴-۱- رسم نقشه‌های کیفی منطقه

داده‌های بدست آمده از آنالیز شیمیایی آزمایشگاه و داده‌های سال قبل موجود در سازمان آب منطقه-ای لرستان به همراه موقعیت جغرافیایی آنها جهت ترسیم نقشه‌های کیفی مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه‌های ترسیم شده شامل نقشه‌های هدایت الکتریکی، یون‌های سدیم، کلسیم، سولفات و بیکربنات می‌باشند.

۳-۴-۲- رسم نمودارهای کیفی منطقه

تحلیل و تفسیر سریع و آسان آب زیرزمینی از لحاظ کیفیت از طریق نمودارهای کیفی برای تعیین مواردی مانند نوع آب، رخساره‌های هیدروشیمی، مسیرهای تکامل ژئوشیمی، مقایسه سریع ترکیب شیمیایی، تعیین تیپ آب، قابلیت شرب و همچنین تعیین استانداردهای کیفیت آب برای کشاورزی انجام می‌شود. بنابراین برای تعیین موارد بالا در دشت سیلاخور نمودارهای پایپر (Piper)، استیف (Stiff) و ویلکاکس (Wilcox) ترسیم شدند.

۳-۵- بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه

همان طور که اطلاعات مربوط به کیفیت آب زیرزمینی برای بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمی بسیار اهمیت دارد اطلاعات مربوط به سطح آب درون چاه‌های پیزومتری برای بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی نیز بسیار حائز اهمیت است. آمار و اطلاعات سطح آب توسط سازمان آب منطقه‌ای به صورت ماهیانه جمع‌آوری می‌شود. در منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۹ چاه پیزومتری وجود دارد.

۳-۵-۱- تهیه نقشه‌های هم پتانسیل و هم عمق آبخوان

برای تعیین جهت جریان غالب در آبخوان معمولاً از نقشه هم پتانسیل استفاده می‌کنند. نقشه‌های هم پتانسیل و هم عمق بر اساس داده‌های سطح آب اسفند ماه ۱۳۹۰ ترسیم گردیدند. این نقشه‌ها ابتدا به صورت دستی و سپس با استفاده از نرم افزار Arc-GIS 9.3 ترسیم شدند.

۳-۶- ترسیم هیدروگراف میانگین

نمودار تغییرات سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی، بر اساس اندازه‌گیری‌های موجود از ۲۹ چاه پیزومتری واقع در دشت از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۱ ترسیم شد. برای بررسی ارتباط تغییرات سطح آب زیرزمینی با میزان بارندگی، مقدار بارندگی نیز از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۱ روی نمودار نمایش داده شده است. مقدار بارندگی منطقه، میانگین بارندگی چند ایستگاه هواشناسی مستقر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. هیدروگراف میانگین دشت، نشان دهنده میانگین سطح آب تمامی دشت به صورت متوسط است که نشان دهنده تغییرات کلی سطح ایستابی آبخوان می‌باشد.

فصل چهارم:

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت سیلاخور

در این فصل به بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت سیلاخور، نظیر رسم و تفسیر هیدروگراف میانگین دشت، تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌عمق، ترسیم نقشه‌های هم-هدایت الکتریکی، هم کالر، هم‌سدیم و همچنین رسم نمودارهای مربوط به کیفیت آب زیرزمینی مانند استیف، پایپر و ویلکاکس پرداخته شده است.

۴-۱- ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه

سفره آب زیرزمینی دشت سیلاخور از نوع آبرفتی و آزاد می‌باشد که در آبرفت‌های عهد حاضر بین دو زون اصلی زاگرس مرتفع و سنندج- سیرجان قرار گرفته است. اکثر چاه‌های موجود در دشت سیلاخور در سفره آزاد و آبرفتی واقع شده‌اند. از آنجایی که دشت سیلاخور از تمام جهات مختلف جغرافیایی

تغذیه می‌شود از منابع آب زیرزمینی غنی برخوردار می‌باشد. نتایج مطالعات ژئوفیزیک در دشت سیلاخور نشان می‌دهد که رسوبات آبرفتی در این دشت از تناوب لایه‌های رسی، شنی و ماسه‌ای تشکیل شده‌اند و حداکثر ضخامت رسوبات در این دشت حدود ۱۶۰ متر است.

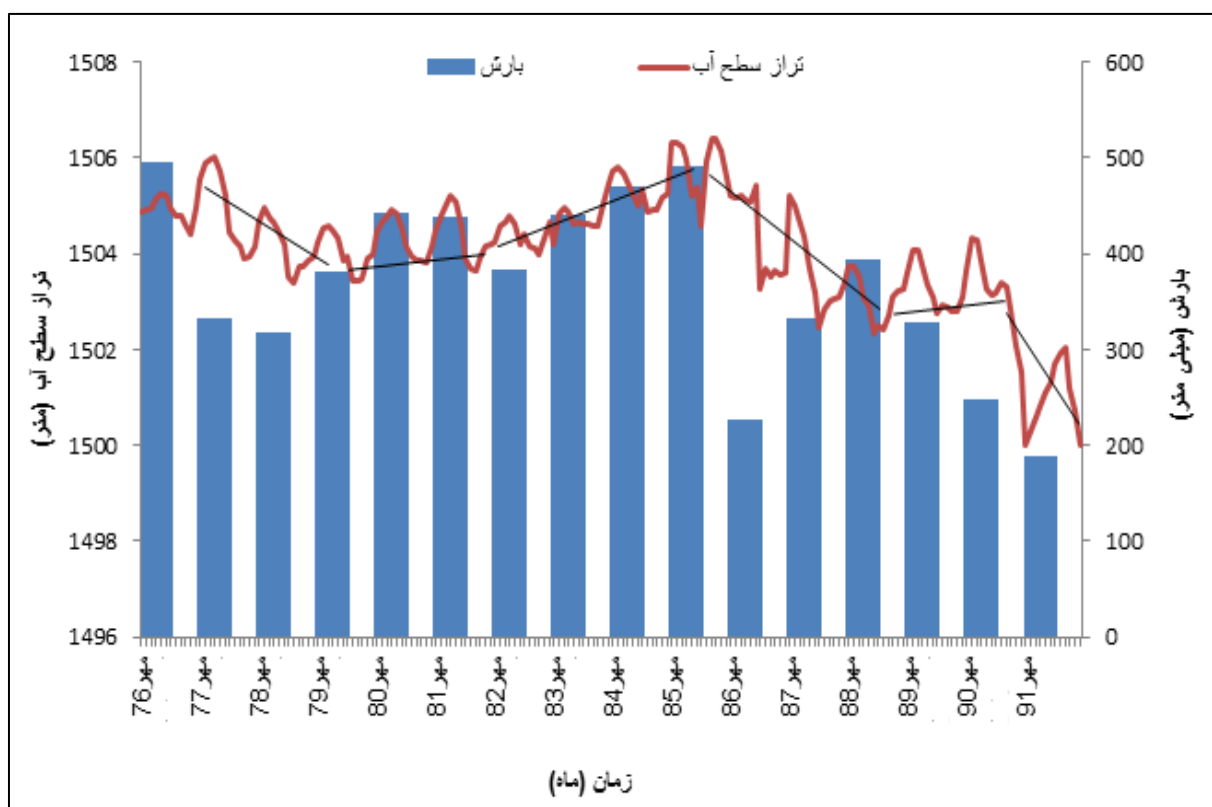
از لحاظ توپوگرافی، دشت سیلاخور، دشتی بسیار هموار است به طوری که در کل بخش مرکزی دشت اختلاف ارتفاع به بیش از ۲ متر نمی‌رسد، ولی در قسمت‌های کناری و در نزدیکی دامنه ارتفاعات، اختلاف ارتفاع مشهودتر می‌شود. اندازه رسوبات در قسمت‌های مختلف دشت یکسان نبوده به طوری که در پای دامنه‌ها، رسوبات، دانه درشت‌تر و از قلوه‌سنگ و شن و ماسه تشکیل شده‌اند. و به تدریج به سمت قسمت‌های مرکزی دشت از اندازه دانه‌ها کاسته شده و در جهت حرکت رودخانه‌ها به مارن و رس رسوبات افزوده می‌شود.

در قسمت‌های شمالی غربی دشت و اطراف شهر بروجرد و همچنین در قسمت‌های نزدیک به سازندهای آهکی زاگرس مرتفع، از شمال غرب تا جنوب شرق منطقه به علت ارتباط با مناطق کارستی توسعه‌یافته مثل کوه‌های آهکی گرین، میش‌پرور و شاه‌نشین، وضعیت آبدهی آبخوان مطلوب و به سمت زون سنندج - سیرجان آبدهی آبخوان نامطلوب‌تر می‌شود که این امر به دانه‌ریزتر شدن رسوبات و تغذیه کمتر دشت برمی‌گردد.

۴-۱-۱- هیدروگراف میانگین دشت

برای نشان دادن تغییرات متوسط ارتفاع سطح آب زیرزمینی در یک آبخوان، مربوط به یک دوره آماری از هیدروگراف میانگین استفاده می‌کنند. برای رسم نمودار هیدروگراف دشت از داده‌های تراز آب که به وسیله چاه‌های پیزومتری اندازه‌گیری می‌شود، استفاده می‌شود به این ترتیب که عمق آب درون پیزومتر را از تراز دهانه پیزومتر کم می‌کنند تا تراز سطح آب بدست آید. نمودار هیدروگراف میانگین دشت سیلاخور با استفاده از داده‌های تراز آب در چاه‌های پیزومتری منطقه برای یک دوره

آماري ۱۶ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۲) ترسيم شده است. اين نمودار در شكل ۴-۱ ارائه شده است. اطلاعات مربوط به بارندگي ماهانه در جدول ۱-۲ فصل اول آمده است.



شكل ۴-۱: نمودار هیدروگراف میانگین دشت سیلاخور

نمودار هیدروگراف میانگین نشان می‌دهد سطح آب در طی این دوره ۱۶ ساله به ویژه در سال‌های اخیر افت تقریباً زیادی (۵ متر) داشته است. سال ۱۳۷۶ به علت بارندگی مناسب (۴۹۵ میلی متر) سطح آب زیرزمینی بالا بوده است ولی در سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ با کاهش بارندگی (به ترتیب ۳۳۹ و ۳۱۹ میلی متر) سطح آب زیرزمینی تقریباً دو متر افت پیدا کرده است. مشخص می‌شود که مقدار بارندگی تاثیر مستقیمی بر روی تراز سطح آب زیرزمینی دارد. در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ افزایش

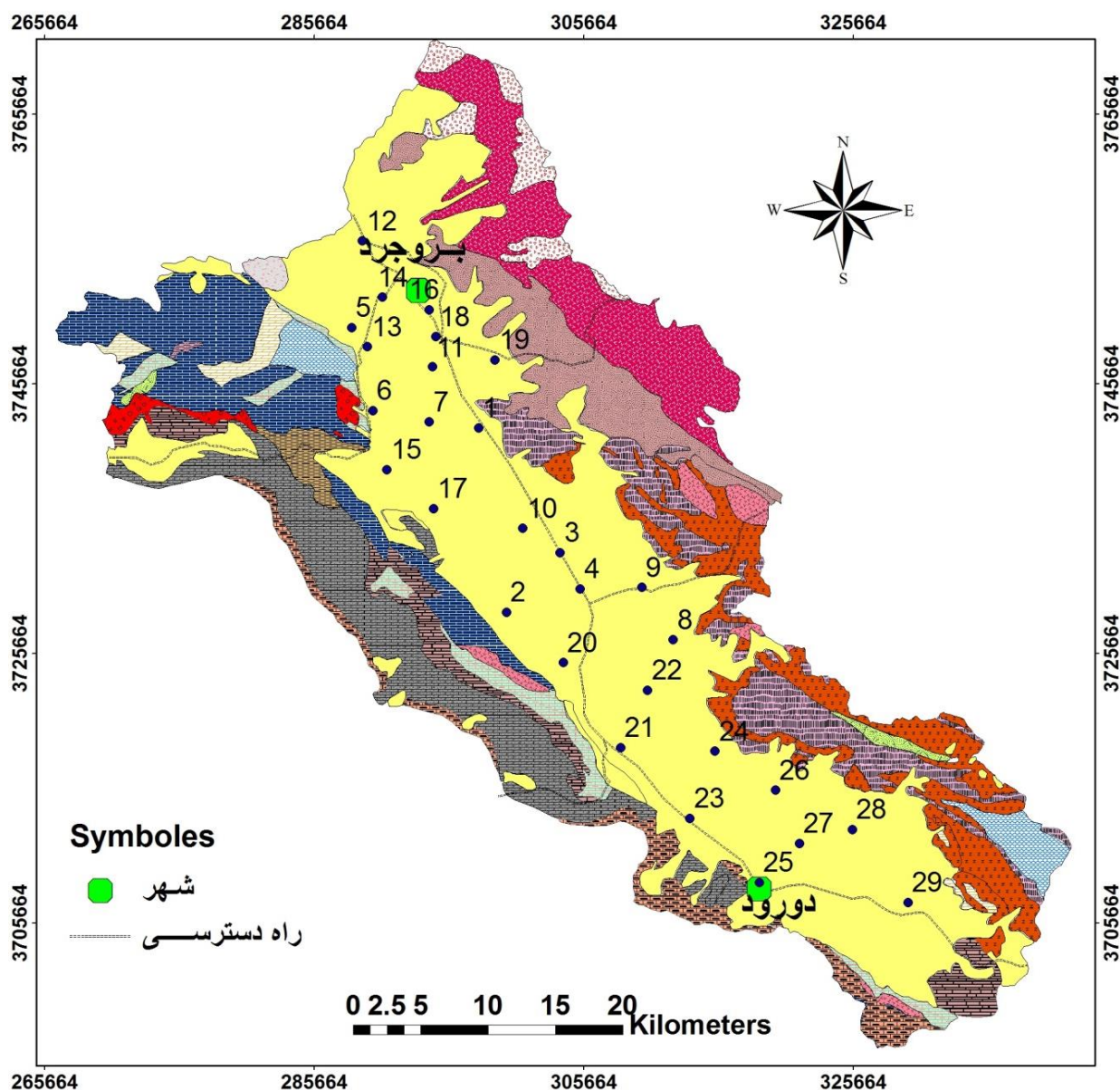
بارندگی از افت بیش از حد جلوگیری کرده است. از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ با بیشتر شدن بارندگی سطح آب زیرزمینی روند صعودی به خود گرفته ولی در طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ مخصوصاً در سال آبی (۱۳۹۱-۱۳۹۲) دوباره با کاهش بارندگی و افزایش برداشت آب زیرزمینی به جهت مصارف کشاورزی افت قابل توجهی (۵ متر) در سطح آب زیرزمینی رخ داده است. این روند بسیار نگران کننده است و می‌توان گفت خیلی از چاه‌های بهره‌برداری موجود در منطقه با خطر خشک شدن مواجه هستند. لذا پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از افت بیشتر سطح آب، میزان برداشت آب زیرزمینی کاهش یابد.

۴-۱-۲- بررسی جهت عمومی آب زیرزمینی در منطقه

برای تعیین جهت حرکت آب زیرزمینی و همچنین برای مشخص کردن مناطق تغذیه و تخلیه از نقشه هم‌پتانسیل استفاده می‌شود. برای رسم خطوط هم‌پتانسیل از داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی، که در چاه‌های پیزومتری اندازه‌گیری می‌شود، استفاده می‌گردد. به این ترتیب که عمق آب زیرزمینی درون پیزومتر را از تراز دهانه پیزومتر کم می‌کنند تا تراز سطح آب زیرزمینی بدست آید. اطلاعات سطح آب و عمق برخورد به آب از سازمان آب منطقه‌ای گرفته شد که در جدول ۴-۱ آورده شده‌اند. در منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۹ پیزومتر وجود دارد که موقعیت آن‌ها نیز در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱: داده‌های سطح آب و عمق پیزومترهای منطقه

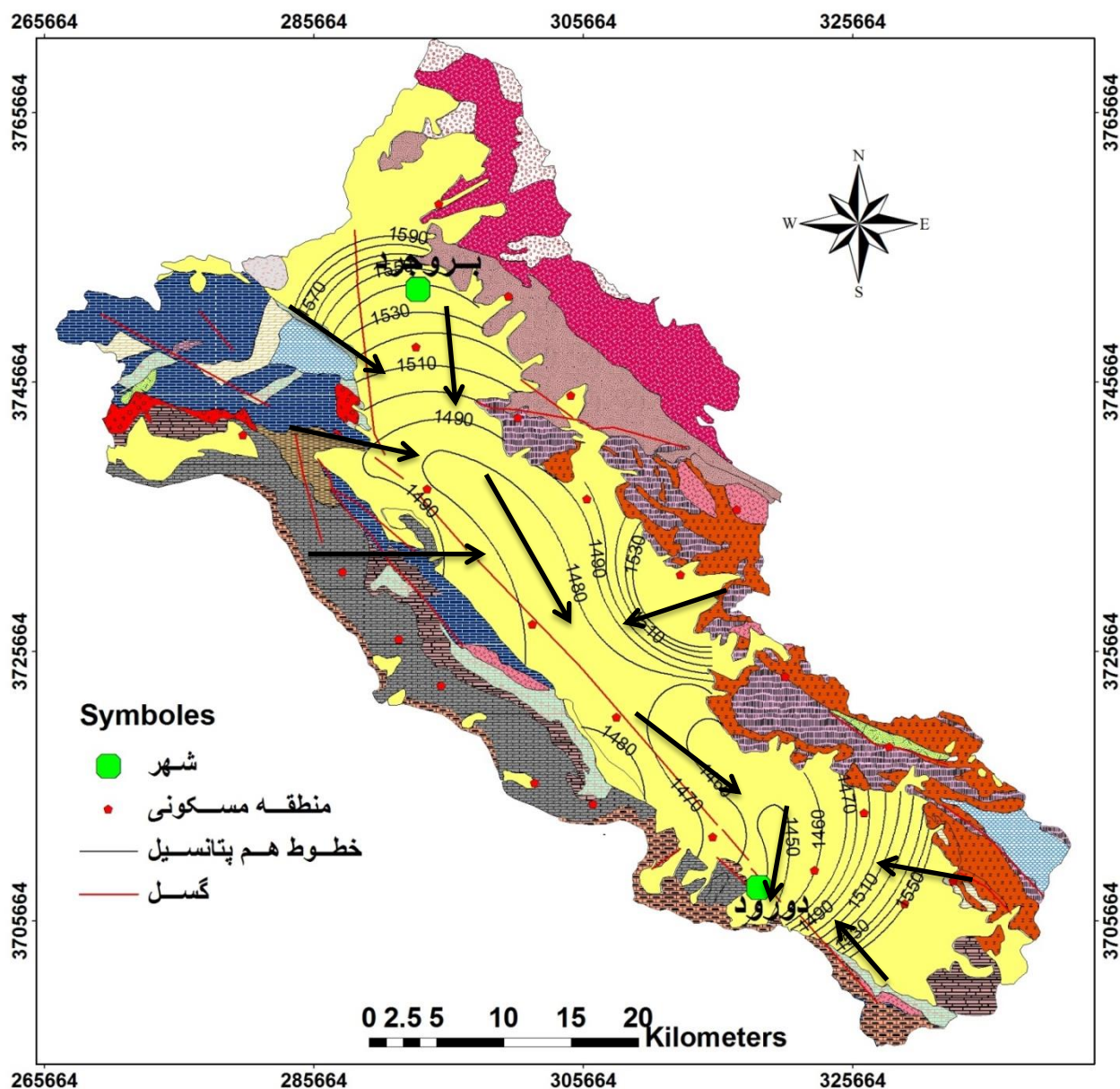
ردیف	نام پیزومتر	تراز سطح آب (متر)	عمق برخورد به آب (متر)
1	اسدخانی	1489.87	6.63
2	قریه میدان	1482.07	2.73
3	ولیان	1467.93	23.37
4	ده حاجی	1481.1	13.9
5	حاجی آباد	1535.18	38.82
6	کیوره	1498.36	2.14
7	کیدان	1489.56	2.34
8	همیانه	1532.58	5.52
9	افراوند	1535.67	12.23
10	عربان	1478.52	4.58
11	شیشه	1570.45	5.35
12	قلعه حاتم	1593.52	9.58
13	مرکز خدمات کرت آباد	1519.68	9.22
14	دانشگاه بروجرد	1539.12	8.58
15	چگنی کش	1482.45	11.95
16	داروسازی	1535.58	14.22
17	گچینه	1489.72	15.18
18	سیلوی بروجرد	1522.95	17.45
19	والانجرد	1543.75	27.35
20	جنب پروتک - کارخانه قند	1474.64	9.36
21	ده کله	1479.4	29.7
22	مرکز خدمات کاغه	1473.4	7.5
23	سندرکان	1476.85	7.25
24	شکر آباد	1452.77	8.43
25	انگشته	1460.60	3.3
26	تنوردر	1453.2	2.4
27	تقی آباد	1456	2.9
28	ژان	1477.20	24.3
29	چغادون	1477.60	15.3



شکل ۴-۲: موقعیت چاه‌های پیزومتری در دشت سیلاخور

با استفاده از اطلاعات سطح آب اسفند ماه سال ۱۳۹۰ نقشه هم‌پتانسیل دشت سیلاخور، ترسیم شد.

شکل (۳-۴) نقشه هم‌پتانسیل دشت سیلاخور را به تصویر کشیده است.



شکل ۴-۳: نقشه هم پتانسیل سطح آب زیرزمینی در دشت سیلاخور

جهت جریان آب زیرزمینی در شمال منطقه که سفره آب زیرزمینی از سازندهای آهکی خانه کت و آسماری تغذیه می شود شمال غربی - جنوب شرقی می باشد. در این منطقه به دلیل حجم بالای تغذیه توسط سازندهای آهکی و همچنین برداشت کمتر از آب زیرزمینی و تغذیه از طریق چاه های جذبی

شهری خطوط کنتوری به هم نزدیک هستند که این نشان دهنده شیب هیدرولیکی زیاد و حرکت سریع آب زیرزمینی می باشد. همچنین عوامل مختلفی از قبیل بافت و ساخت رسوبات، ضخامت آبخوان و توپوگرافی منطقه می توانند بر روی شیب هیدرولیکی موثر باشند. در قسمت های مرکزی دشت، شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی به علت کاهش شیب توپوگرافی و برداشت از آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و همچنین دانه درشت شدن رسوبات آبخوان به شدت کاهش می یابد. در قسمت های جنوبی تر منطقه جهت حرکت آب از سمت سازندهای آهکی زاگرس مرتفع، جهتی تقریباً جنوب غربی - شمال شرقی دارد که به تدریج به سمت بخش های مرکزی دشت جهت جریان عوض شده و روند شمال غربی - جنوب شرقی به خود می گیرد. جهت حرکت آب زیرزمینی از سمت زون سنندج - سیرجان به صورت شمال شرقی - جنوب غربی می باشد که این روند حرکت نیز در وسط دشت تغییر می کند و به شمال غربی - جنوب شرقی تبدیل می شود.

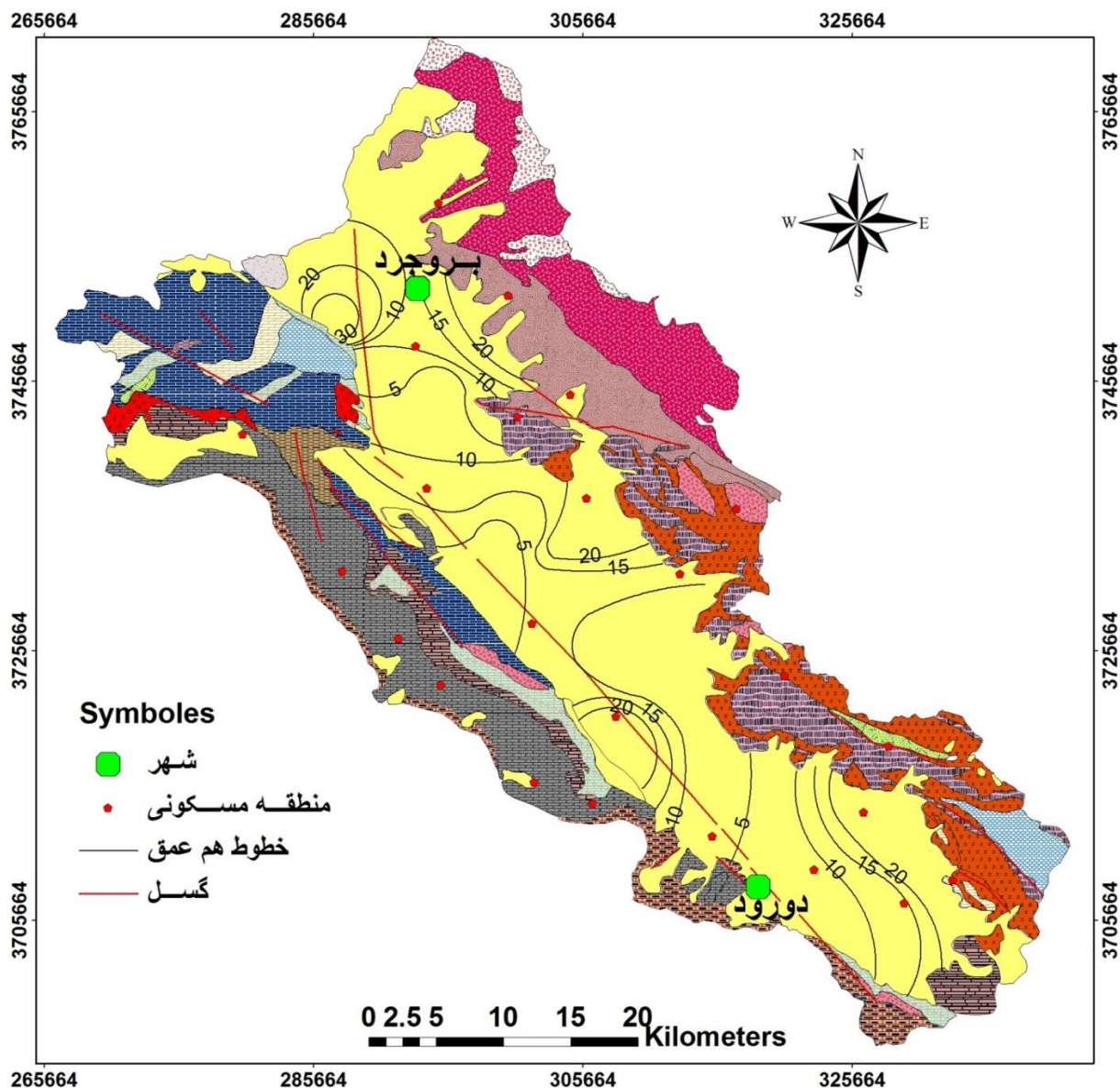
در بخش های انتهایی دشت جهت حرکت آب جنوب شرق - شمال غرب می باشد. در نهایت آب هایی که از شمال و جنوب حرکت می کنند در نزدیکی شهر دورود که دارای کمترین سطح اساس فرسایش می باشد به هم می رسند و از آبخوان به سمت جنوب خارج می شوند. جهت حرکت آب های زیرزمینی بسیار مشابه حرکت آب های سطحی می باشد. به طوری که رودخانه های دشت سیلاخور نظیر رودخانه های سیلاخور، ماربره و رودخانه تیره نیز پس از به هم پیوستن در نزدیکی شهر دورود از حوضه خارج می شوند.

در مرکز دشت شیب هیدرولیکی به شدت کاهش می یابد عوامل مختلفی می توانند در کاهش شیب هیدرولیکی نقش داشته باشند از جمله دانه درشت شدن رسوبات آبخوان، هموار بودن دشت و برداشت زیاد از آب های زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و در نتیجه کاهش دبی جریان عبوری، این امر به نوبه خود باعث کاهش گرادیان هیدرولیکی می شود. متراکم بودن خطوط کنتوری در قسمت های ورودی آب زیرزمینی در زون سنندج - سیرجان مبین شیب هیدرولیکی زیاد می باشد. علت می -

تواند به دانه‌ریز بودن محیط برگردد زیرا لیتولوژی منطقه بالا دست بیشتر از شیل، ماسه سنگ، سنگ‌های دگرگونه و توده‌های نفوذی تشکیل شده است.

۴-۱-۳- رسم نقشه هم عمق منطقه مورد مطالعه

با استفاده از داده‌های عمق آب، در چاه‌های پیزومتری واقع در دشت، نقشه هم عمق دشت ترسیم شد. شکل ۴-۴ نقشه هم عمق را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴: نقشه هم عمق منطقه

عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی همان طور که مشهود است در نقاط مختلف دشت یکسان نمی- باشد. به طور کلی عمق برخورد به آب از مرکز دشت به سمت ارتفاعات و پایین دست و بالا دست منطقه افزایش می یابد. به طوری که حداقل عمق آب ۵ متر و حداکثر عمق آب ۳۰ متر می باشد. در نزدیکی ارتفاعات مناطقی وجود دارد که عمق برخورد به آب بسیار کاهش می یابد. این کاهش عمق می تواند معرف مناطقی از دشت باشد که به طور مستقیم توسط ارتفاعات تغذیه می شود. عمق آب در

مناطق مذکور به کمتر از ۵ متر می‌رسد. ولی در نقاطی از دشت که به احتمال به علت برداشت زیاد سطح آب زیرزمینی پایین افتاده است عمق آب به بیش از ۳۰ متر می‌رسد.

۴-۲- ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی در دشت سیلاخور

به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در دشت سیلاخور از ۲۱ نقطه دشت نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها جهت آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه فرستاده شدند. همچنین هدایت الکتریکی، pH و دمای آب در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. مقادیر این پارامترها در جدول ۴-۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب و سایر پارامترهای تعیین کننده، نمودارها و نقشه‌های لازم ترسیم شد و همچنین عوامل موثر بر کیفیت منابع آب- زیرزمینی بررسی شد.

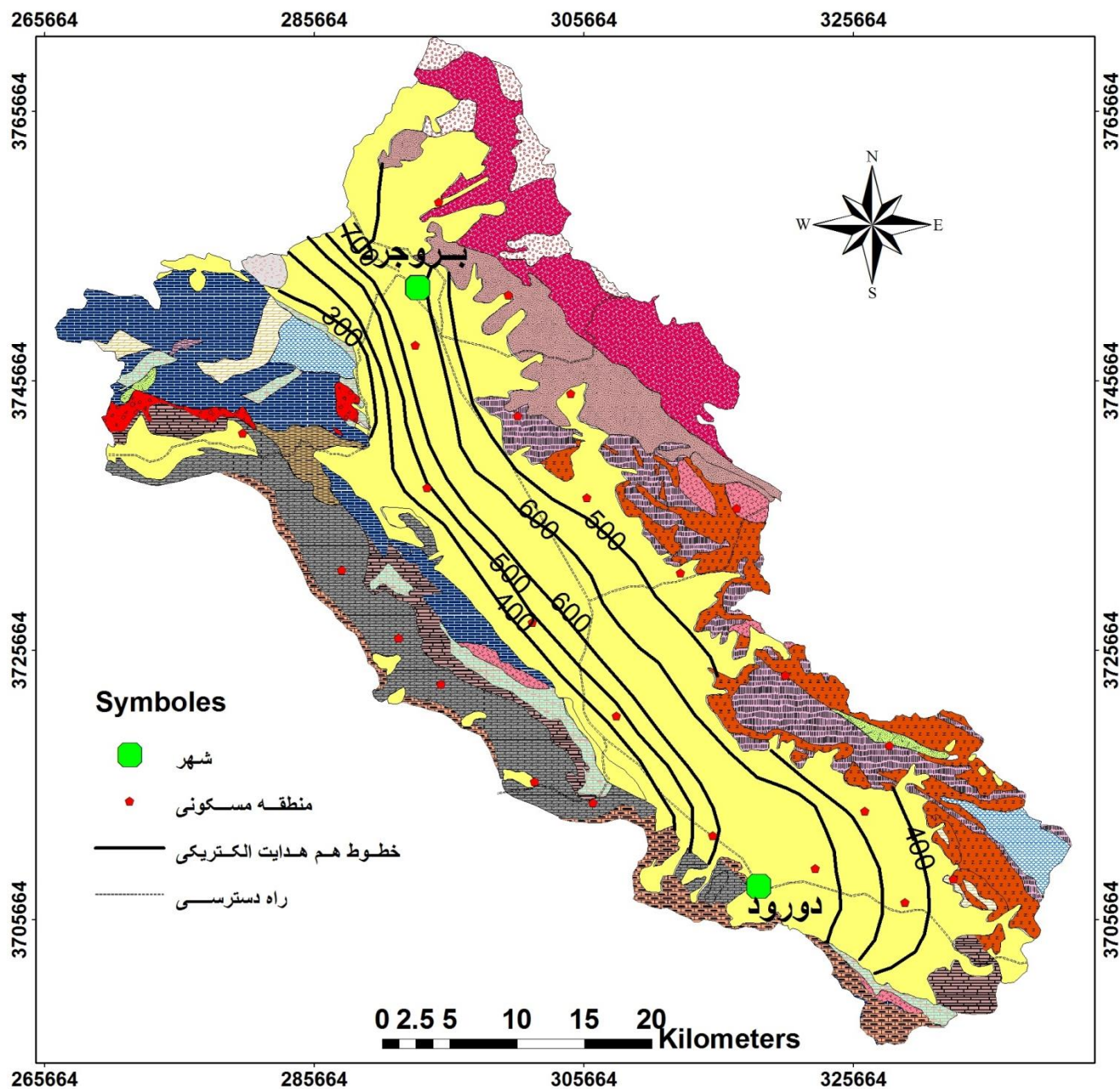
جدول ۴-۲: پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه‌برداری در دشت سیلاخور

مقادیر اندازه‌گیری شده در خرداد ۹۳		نمونه
pH	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر)	
7.32	1127	1
7.56	718	2
7.72	1926	3
7.58	586	4
7.57	660	5
7.37	977	6
7.6	483	7
7.46	574	8
7.62	686	9
7.83	447	10
8.03	634	11
7.72	821	12
8.23	476	13
7.86	498	14
7.82	504	15
7.98	603	16
7.9	782	17
7.85	488	18
7.73	650	19
7.58	680	20
7.75	624	21

۴-۲-۱- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی به آسانی توسط هدایت سنج الکتریکی در محل نمونه برداری اندازه گیری می شود. از آنجایی که با غلظت نمک های محلول رابطه مستقیم دارد لذا به سرعت می توان مقدار مواد محلول در آب را برآورد نمود. به صورت تقریبی از حاصل ضرب هدایت الکتریکی در $0/64$ می توان کل مواد جامد محلول را بر حسب میلی گرم در لیتر بدست آورد.

حداکثر و حداقل هدایت الکتریکی اندازه گیری شده در منطقه به ترتیب ۱۹۲۵ و ۴۴۷ میکروموس بر سانتی متر می باشد. با توجه به نقشه هدایت الکتریکی منطقه (شکل ۴-۵) مشهود است که مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از ارتفاعات مجاور به سمت مرکز دشت افزایش پیدا می کند. با توجه به نقشه همپتانسیل منطقه در فصل چهارم قابل درک است که هدایت الکتریکی منطبق با جهت جریان آب زیرزمینی می باشد، و جهت جریان تقریباً در تمام مرزهای آبخوان از طرف ارتفاعات به سمت دشت می باشد. مقادیر هدایت الکتریکی در نزدیکی واحدهای آذرین و دگرگونی زون سنندج-سیرجان در شمال منطقه نسبت به مقادیر هدایت الکتریکی در نزدیکی سازندهای آهکی در جنوب دشت بالاتر می باشد، که می تواند به خاطر دانه ریز بودن رسوبات و بارش کمتر این ناحیه باشد. بنابراین آب های در نزدیکی سازندهای آهکی دارای کیفیت بهتری می باشند.



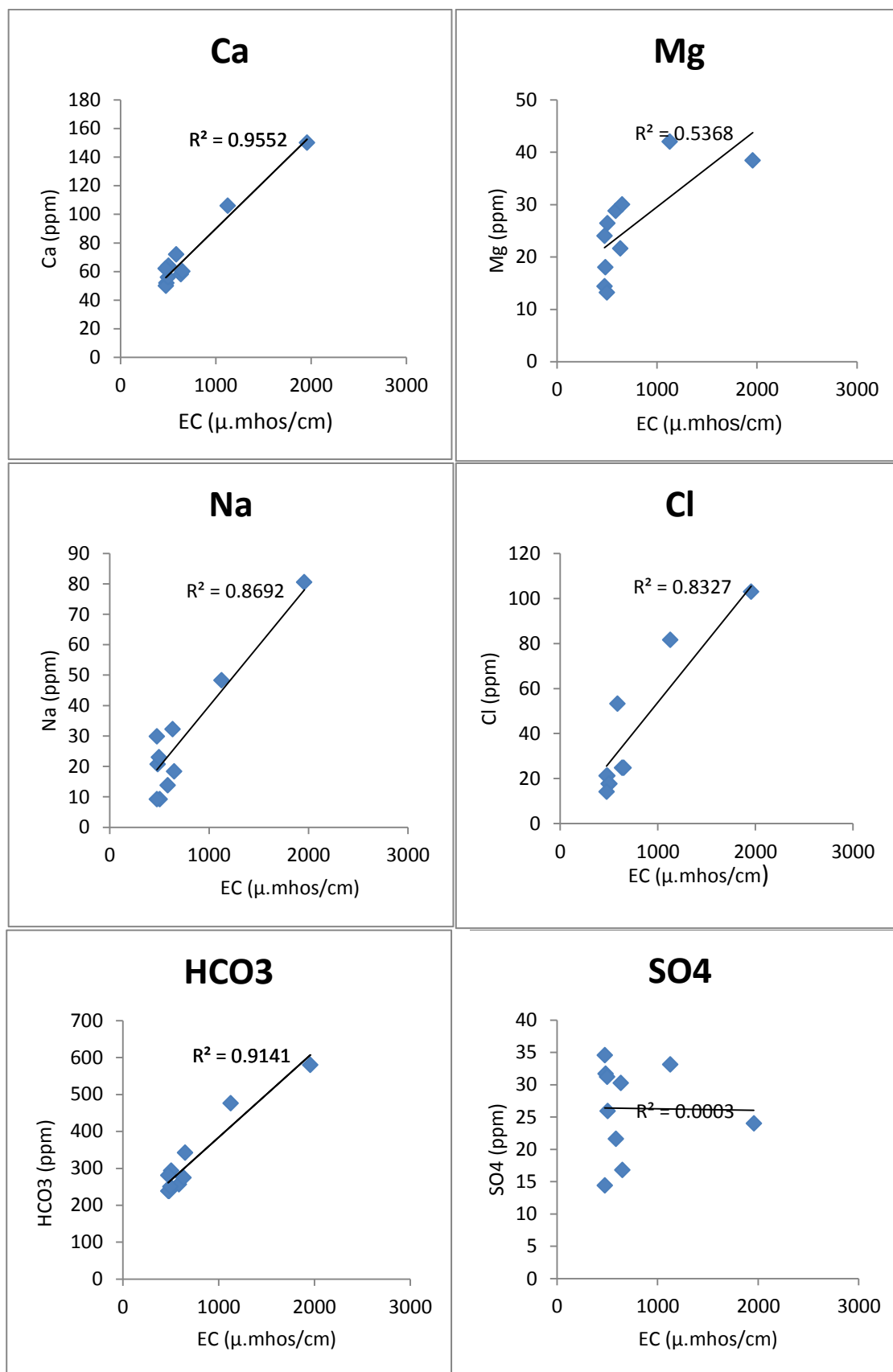
شکل ۴-۵: نقشه هدایت الکتریکی دشت سیلاخور

افزایش غلظت املاح موجود در آب زیرزمینی در تمام نقاط دشت دارای روند ثابتی نیست مثلاً در نمونه شماره سه هدایت الکتریکی به حدود ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر رسیده است که می‌تواند دلایل زیادی داشته باشد. دلیل اصلی که می‌توان ذکر کرد این است که چاه در محل بسیار دانه‌ریزی

حفر شده است بنابراین سرعت حرکت آب به شدت کاهش یافته و زمان ماندگاری آب و تماس آب با رسوبات افزایش یافته است که باعث افزایش هدایت الکتریکی شده است.

جهت اصلی و کلی جریان آب زیرزمینی از شمال غربی به سمت جنوب شرقی می‌باشد. از آنجایی که اصولاً هدایت الکتریکی در جهت جریان باید افزایش پیدا کند، ولی در آبخوان مورد مطالعه افزایش هدایت الکتریکی قابل مشاهده نیست و تقریباً روند ثابتی دارد. دلیل این امر می‌تواند به برداشت بی-رویه آب زیرزمینی توسط چاه‌های بهره‌برداری و همچنین مخلوط شدن آب جریان یافته از بالا دست با آب‌های تغذیه شده توسط سازندهای مجاور که دارای هدایت الکتریکی پایین‌تری هستند مرتبط باشد. بر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) اکثر نمونه‌ها دارای مقدار مجاز هدایت الکتریکی برای آشامیدن هستند.

همچنین نمودارهای مربوط به تغییرات بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف، نظیر کلسیم، منیزیم، سولفات، بیکربنات، سدیم و کلر ترسیم شد. شکل ۴-۶ این نمودارها را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارها در بین یون‌های ذکر شده، یون کلسیم، سدیم، بیکربنات و کلر بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی و سولفات و منیزیم کمترین همبستگی را با هدایت الکتریکی دارند.



شکل ۴-۶: نمودارهای مربوط به ارتباط بین یون‌های مختلف در برابر هدایت الکتریکی

۴-۲-۲- بررسی pH

pH از مهمترین خواص فیزیکوشیمیایی آب می باشد که باعث انحلال مواد در محیط زمین شناسی می شود. pH به توانایی آب برای واکنش با یون هیدروکسیل نیز گفته می شود، که به عوامل مختلفی از قبیل مقدار آنیون های بی کربنات و کربنات، درجه حرارت و دی اکسید کربن بستگی دارد. با افزایش دما انحلال پذیری کربنات ها کاهش می یابد و غلظت بی کربنات و کربنات نیز کاهش می یابد در نهایت اسیدیته کاهش می یابد و محیط قلیایی می شود. با افزایش کربنات و بی کربنات اسیدیته کاهش پیدا می کند و محیط به سمت قلیایی شدن حرکت می کند و با افزایش دی اکسید کربن اسیدیته افزایش می یابد. با اندازه گیری خاصیت اسیدی در محل نمونه برداری طبق جدول ۴-۲ مقدار اسیدیته آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بین ۷/۵۷ و ۸/۳ می باشد. اصولاً در آب های زیرزمینی مقدار اسیدیته بین ۶/۵ تا ۹ می باشد که بیان کننده غالب بودن غلظت بی کربنات نسبت به کربنات است. هر چه غلظت یون کربنات بیشتر باشد محیط قلیایی تر می شود. لذا با توجه به آنالیز شیمیایی نمونه های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه، این مطلب تصدیق می شود چون غلظت بی کربنات نسبت به سایر یون ها بیشتر است.

با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های آب کل مواد جامد محلول، سختی کل، نسبت سدیم به مجموع کاتیون ها، نسبت کلر به مجموع آنیون ها، نسبت کلسیم به منیزیم، درصد سدیم و نسبت جذب سدیم (SAR) محاسبه شده که در جدول ۴-۳ آورده شده اند.

جدول ۳-۴: پارامترهای محاسبه شده برای نمونه‌های آب دشت سیلاخور

نمونه	TDS mg/l	درصد سدیم	SAR	TH mg/l CaCO ₃	نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها	نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها	کلسیم به منیزیم
1	710.01	20	1.41	440	0.04	0.19	1.51
2	369.18	10	0.48	300	0.03	0.09	1.5
3	1233.54	25	2.13	535	0.04	0.24	2.34
4	304.29	18	0.88	205	0.08	0.17	1.73
5	299.88	26	1.35	185	0.14	0.25	2.08
6	399.42	23	1.29	235	0.09	0.22	1.61
7	317.52	8	0.34	270	0.02	0.06	1.45
8	313.74	21	1.01	195	0.10	0.20	2.54
9	299.25	8	0.35	255	0.03	0.07	1.55
10	409.5	14	0.68	275	0.05	0.12	1.2

۴-۲-۳- کل مواد جامد محلول

به مواد جامدی که در آب حل می‌شوند به غیر از رسوبات معلق، کلوئیدها و گازهای محلول، کل مواد جامد محلول اطلاق می‌شود. کل مواد جامد محلول (TDS) از طریق یکی از سه روش زیر بدست می‌آید. در اولین روش TDS را می‌توان به طور مستقیم با استفاده از یک ضریب در هدایت الکتریکی که به طور تجربی بین ۰/۵۵ تا ۰/۷۵ می‌باشد تعیین نمود. وزن املاح به جا مانده ناشی از تبخیر آب روش دوم و روش سوم جمع جبری یون‌های اصلی به اضافه یون سیلیس، منهای یون بی‌کربنات می‌باشد. معمولاً TDS بر حسب میلی گرم بر لیتر و یا ppm بیان می‌شود. در منطقه مورد نظر مقدار کل

مواد جامد محلول بین ۲۹۹ تا ۱۲۳۳ میلی گرم در لیتر متغیر است.

۴-۲-۴- سختی کل آب

سختی آب به واکنش آب با صابون گفته می‌شود. آب‌هایی که مقدار نسبتاً زیادی کربنات و بی‌کربنات کلسیم و منیزیم داشته باشند با صابون به خوبی کف نمی‌کنند. بنابراین سختی به صورت مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بر حسب کربنات کلسیم در واحد میلی گرم در لیتر تعیین می‌شود. در اثر نفوذ آب باران فعالیت باکتری‌ها زیاد شده و میزان دی اکسید کربن محلول در آب باران افزایش می‌یابد. در نتیجه محیط اسیدی شده و به این ترتیب انحلال کانی‌های کربناته موجود در سفره سرعت گرفته و سختی آب با زیاد شدن غلظت منیزیم و کلسیم در آب افزایش می‌یابد. به مجموع سختی کربناته و غیرکربناته سختی کل گفته می‌شود. حد مطلوب سختی طبق پیشنهاد استاندارد سازمان بهداشت جهانی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم می‌باشد.

در منطقه مورد مطالعه سختی آب زیرزمینی بین بازه ۱۸۵ تا ۵۳۵ میلی گرم بر لیتر تغییر می‌کند. طبق جدول ۴-۴ اکثر نمونه‌های آب در گروه سخت تا خیلی سخت می‌باشند.

جدول ۴-۴: انواع سختی

نوع آب	سختی (میلی گرم در لیتر)
نرم	<75
نسبتاً سخت	75-150
سخت	150-300
خیلی سخت	300<

۴-۲-۵- بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

به منظور بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب زیرزمینی از بین ۲۱ نمونه برداشت شده به دلیل شباهت با نمونه‌های سال‌های قبل و هزینه بالای آزمایشات تنها ۱۰ نمونه برای آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه دامغان فرستاده شد. نتایج آنالیز شیمیایی در جدول ۴-۵ نشان داده شده است. غلظت یون‌های اندازه‌گیری شده بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد.

جدول ۴-۵: نتایج آنالیز شیمیایی برای نمونه‌های آب دشت سیلاخور

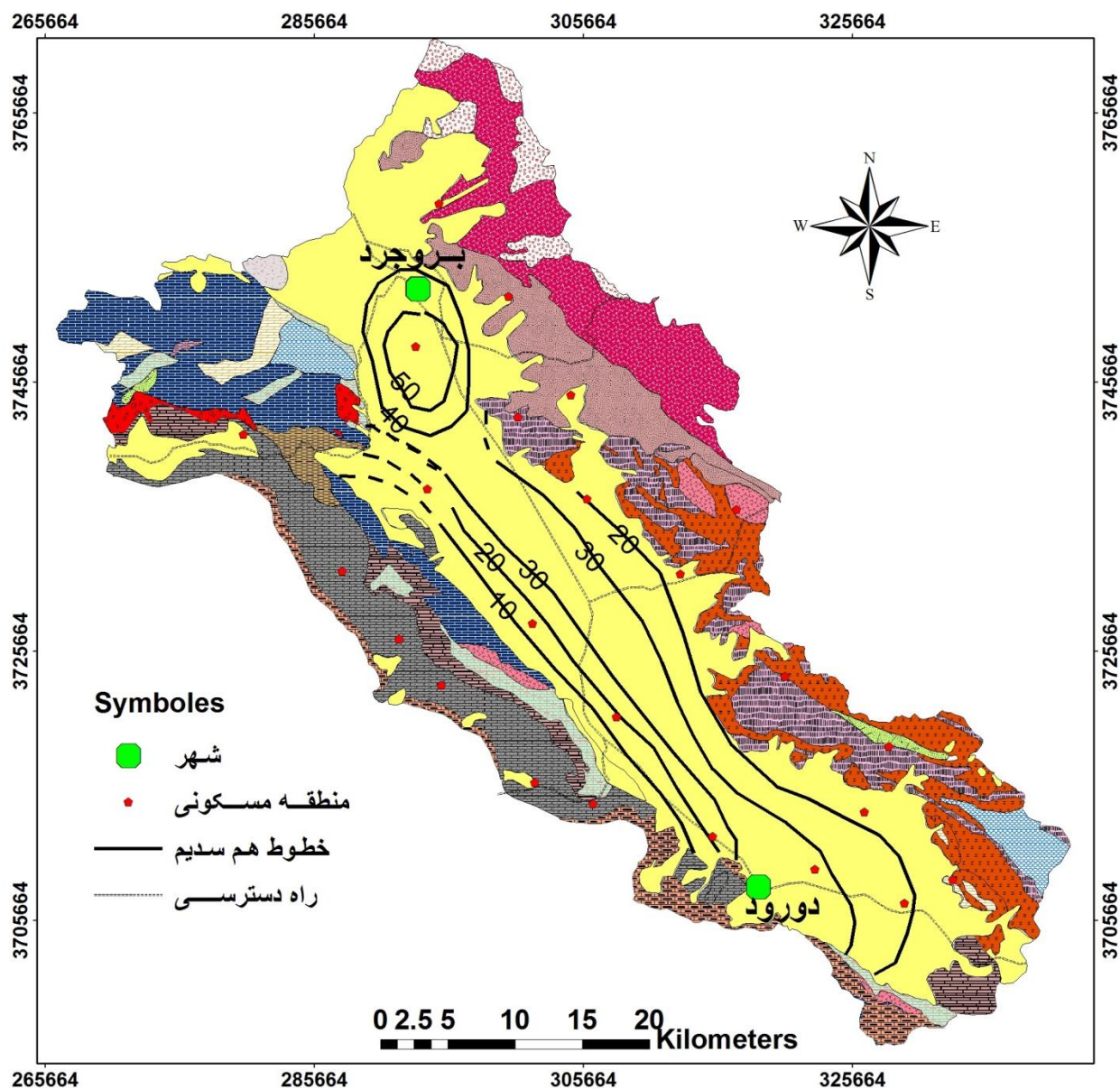
شماره نمونه	کلسیم (epm)	منیزیم (epm)	سدیم (epm)	پتاسیم (epm)	مجموع کاتیون‌ها (epm)	بیکربنات (epm)	کلر (epm)	سولفات (epm)	مجموع آنیون‌ها (epm)
1	5.3	3.5	2.1	0.1	11	7.8	0.69	2.3	10.79
2	3.6	2.4	0.6	0.05	6.65	4.2	0.45	1.5	6.15
3	7.5	3.2	3.5	0.12	14.32	9.5	0.5	2.9	12.9
4	2.6	1.5	0.9	0.05	5.05	3.9	0.66	0.6	5.16
5	2.5	1.2	1.3	0.06	5.06	3.9	0.72	0.6	5.22
6	2.9	1.8	1.4	0.08	6.18	4.5	0.63	0.7	5.83
7	3.2	2.2	0.4	0.06	5.86	4.8	0.54	0.5	5.84
8	2.8	1.1	1	0.06	4.96	4.1	0.65	0.5	5.25
9	3.1	2	0.4	0.05	5.55	4.6	0.3	0.4	5.3
10	3	2.5	0.8	0.11	6.41	5.6	0.35	0.7	6.65

۴-۲-۶- سدیم

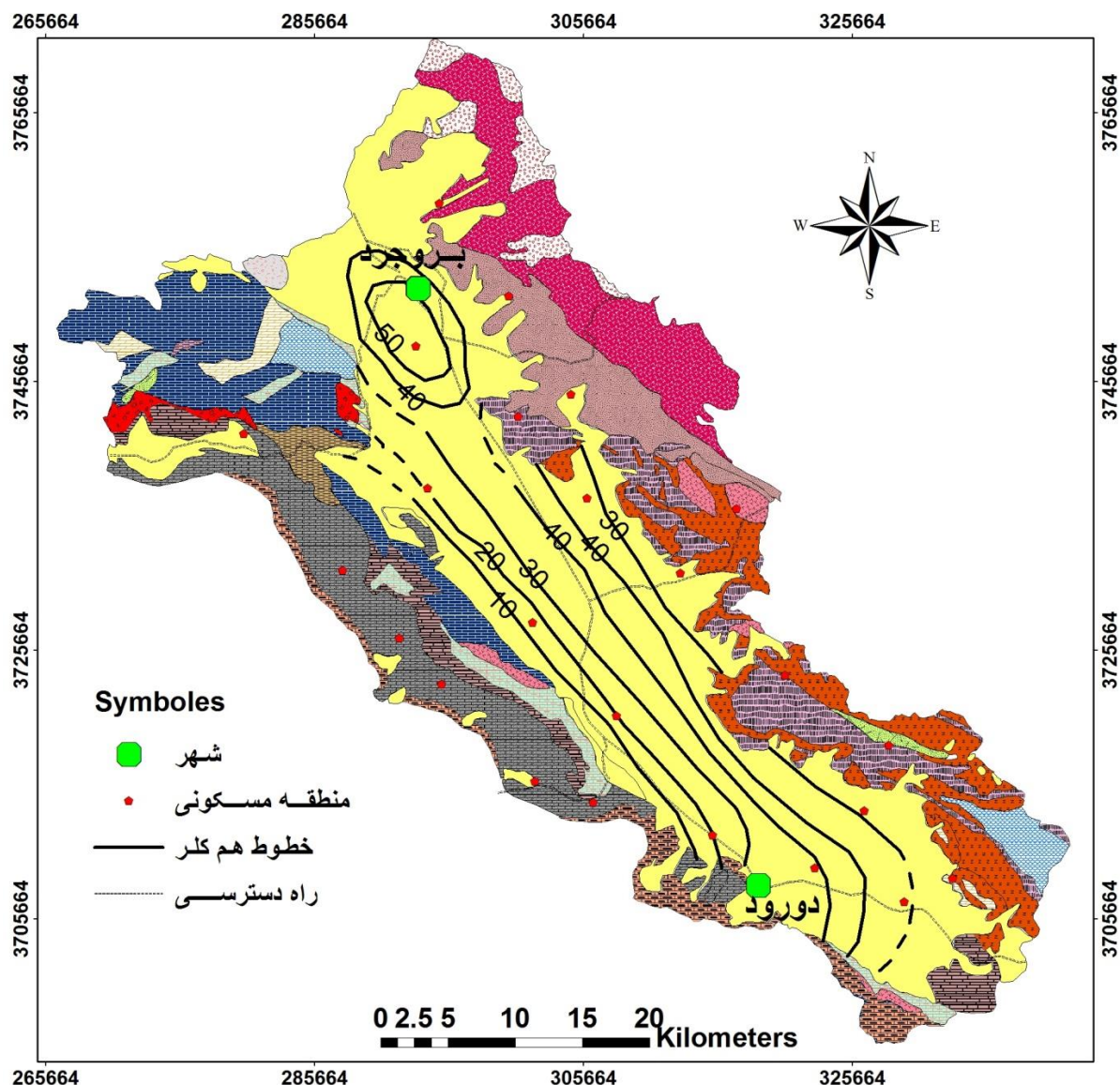
شکل ۴-۷ نقشه سدیم دشت سیلاخور را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود سدیم مطابق روند افزایشی هدایت الکتریکی از سمت جنوب غربی به سمت شمال شرقی و بالعکس یعنی از سمت ارتفاعات به طرف مرکز دشت و همچنین از جنوب شرقی به سمت شمال غربی می‌باشد. همان طور که مشهود است مقدار سدیم در مناطق نزدیک به واحدهای آذرین و دگرگونی زون سنندج-سیرجان در شمال منطقه نسبت به سازندهای آهکی مربوط به زاگرس مرتفع در جنوب منطقه بیشتر است. دلیل این امر می‌تواند به خاطر نوع لیتولوژی، دانه‌ریز بودن محیط زمین‌شناسی و افزایش تماس با سنگ باشد. که باعث انحلال بیشتر سدیم در آب شده است.

۴-۲-۷- کلر

جهت بررسی روند تغییرات یون کلر آب‌های زیرزمینی، نقشه هم‌کلر منطقه مطابق شکل ۴-۸ تهیه شد. روند تغییرات یون کلر در منطقه مورد مطالعه بسیار شباهت به روند تغییرات هدایت الکتریکی و سدیم دارد. به طوری که از سمت ارتفاعات جنوب و شمال منطقه به سمت مرکز دشت غلظت کلر افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۷: نقشه هم سدیم آب زیرزمینی در دشت سیلاخور

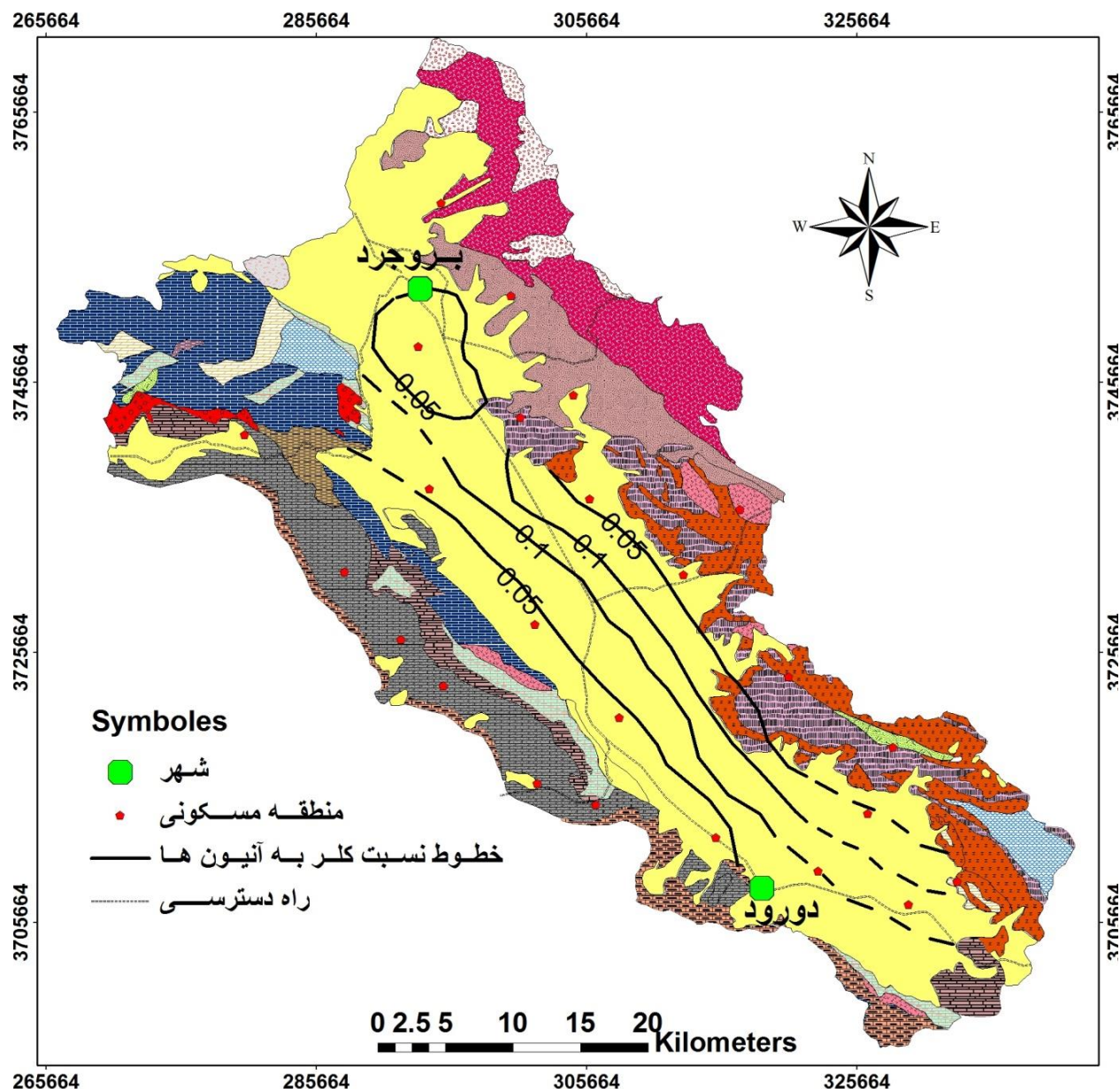


شکل ۴-۸: نقشه هم کلاز آب زیرزمینی در دشت سیلاخور

۴-۲-۸- بررسی تغییرات نسبت کلاز و سدیم به ترتیب به مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها

با استفاده از داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها و نسبت کلاز به مجموع آنیون‌ها نیز جهت بررسی تخریب کیفیت آب زیرزمینی محاسبه شد. این نسبت‌ها معیار بسیار خوبی برای تعیین میزان تخریب کیفیت آب در یک منطقه می‌باشند. بدین منظور نقشه‌های مربوط به نسبت کلاز به مجموع آنیون‌ها و نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها برای نمایش تصویری و

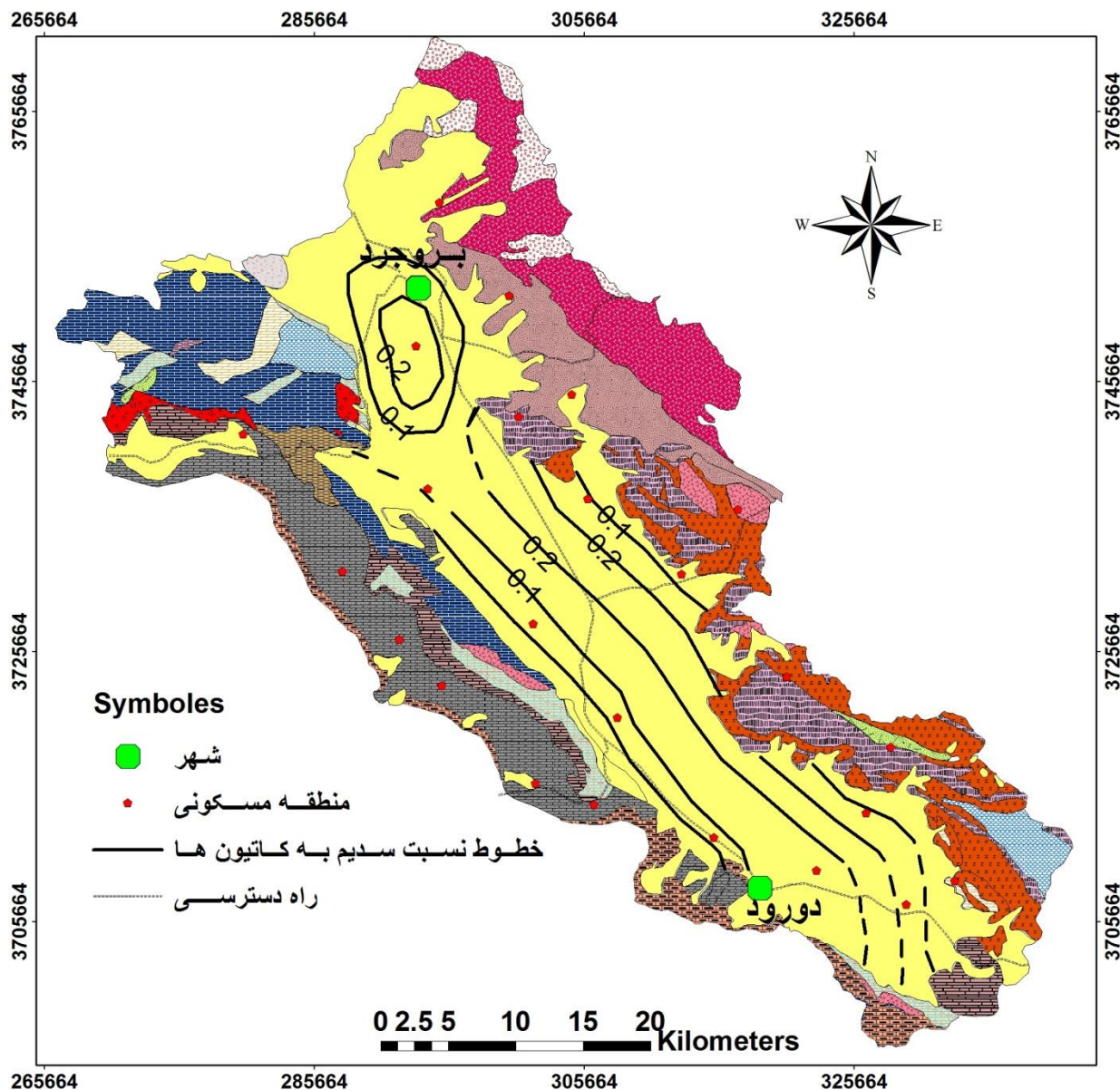
چگونگی تغییر این نسبت‌ها در شکل ۴-۹ و شکل ۴-۱۰ ترسیم شد. همان طور که مشاهده می‌شود تغییرات نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها به طور کلی هم‌جهت با تغییرات هدایت الکتریکی، کلر و سدیم افزایش می‌یابد. به این صورت که از سمت شمال و جنوب دشت و همچنین از سمت شمال غربی و جنوب شرقی در جهت جریان آب‌زیرزمینی به سمت مرکز دشت این نسبت زیاد می‌شود. کمترین مقدار نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها ۰/۰۲ می‌باشد که در نزدیکی سازندهای آهکی در جنوب و جنوب غربی دشت قرار دارد. آب‌های نزدیک زون سنندج - سیرجان نیز دارای نسبت کلر به مجموع آنیون بالاتری نسبت به آب‌های نزدیک سازندهای آهکی زاگرس مرتفع می‌باشد. همچنین نمونه‌هایی که در نزدیکی رودخانه‌ها گرفته شده‌اند دارای مقادیر پایین‌تری نسبت به نمونه‌هایی که از مناطق دورتر از رودخانه گرفته شده‌اند هستند. که می‌توان به نقش تغذیه آب زیرزمینی از طریق آب‌های سطحی منطقه اشاره کرد.



شکل ۴-۹: نقشه نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها

روند تغییرات نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها نیز همانند نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها به طور کلی تقریباً همسو با روند تغییرات هدایت الکتریکی، کلر و سدیم می‌باشد. به این مفهوم است که در جهت جریان آب زیرزمینی سدیم بیشتری در آب حل می‌شود و کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به طوری که از سمت شمال و جنوب دشت و همچنین از سمت شمال غربی و جنوب شرقی در جهت جریان آب زیرزمینی به سمت مرکز دشت این نسبت زیاد می‌شود. مقدار نسبت سدیم به مجموع

کاتیون‌ها نیز در نزدیکی واحدهای آهکی در زاگرس مرتفع، پایین‌ترین مقدار است. که به سمت مرکز دشت بر مقدار آن افزوده می‌شود.



شکل ۴-۱۰: نقشه نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها

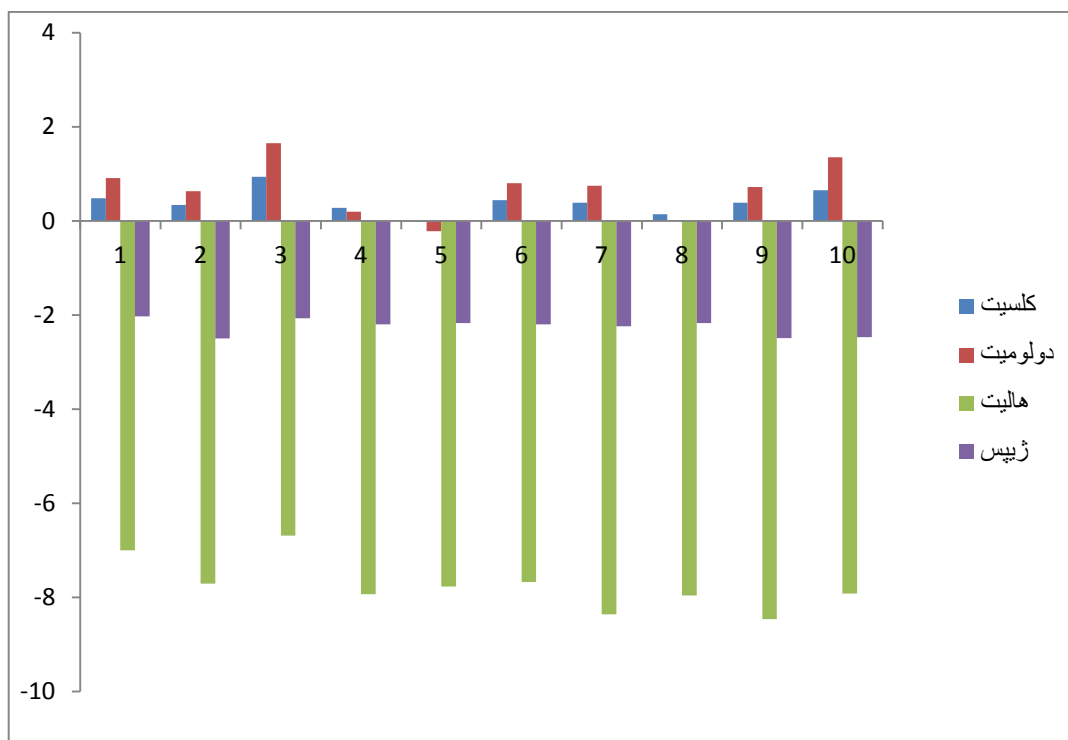
۴-۲-۹- محاسبه نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت

برای نشان دادن قابلیت انحلال کانی‌ها از شاخص اشباع استفاده می‌شود. بدین منظور برای محاسبه شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت در منطقه مورد مطالعه از نرم افزار PHREEQC استفاده گردید. اگر اندیس اشباع یک کانی خاص بالای صفر باشد به این مفهوم است که این کانی در آب حل نمی‌شود و در حال رسوب کردن است. و اگر اندیس اشباع نسبت به یک کانی زیر صفر باشد یعنی کانی مورد نظر در محلول هنوز قابلیت انحلال دارد. نتایج بررسی برای نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که شاخص اشباع کلسیت و دولومیت تقریباً برای تمامی نمونه‌ها مثبت بوده که بیانگر اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به این کانی‌ها می‌باشد. و کلسیت و دولومیت در حال رسوب کردن هستند. کلسیت و دولومیت جز اولین کانی‌هایی هستند که در آب به حد اشباع می‌رسند زیرا حلالیت آن‌ها نسبت به بقیه کانی‌ها از قبیل ژپس و هالیت کمتر است. انحلال سازندهای آهکی در جنوب و جنوب غربی منطقه عامل اصلی اشباع شدن آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت می‌باشد.

جدول ۴-۶: شاخص اشباع شدگی نمونه‌های آب منطقه نسبت به کانی‌های اصلی

نمونه	ژپس	هالیت	دولومیت	کلسیت
1	-2.03	-7	0.91	0.48
2	-2.5	-7.71	0.63	0.34
3	-2.07	-6.69	1.65	0.94
4	-2.2	-7.93	0.2	0.28
5	-2.17	-7.77	-0.22	-0.02
6	-2.2	-7.67	0.8	0.44
7	-2.24	-8.36	0.75	0.39
8	-2.17	-7.96	0.01	0.14
9	-2.49	-8.46	0.72	0.39
10	-2.47	-7.92	1.35	0.65

همچنین شاخص اشباع هالیت و ژپس در منطقه مورد مطالعه در تمام نمونه‌ها منفی می‌باشد. که نشان دهنده غیر اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به ژپس و هالیت و قابلیت انحلال بالای این دو کانی می‌باشد. نمودار مورد نظر در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



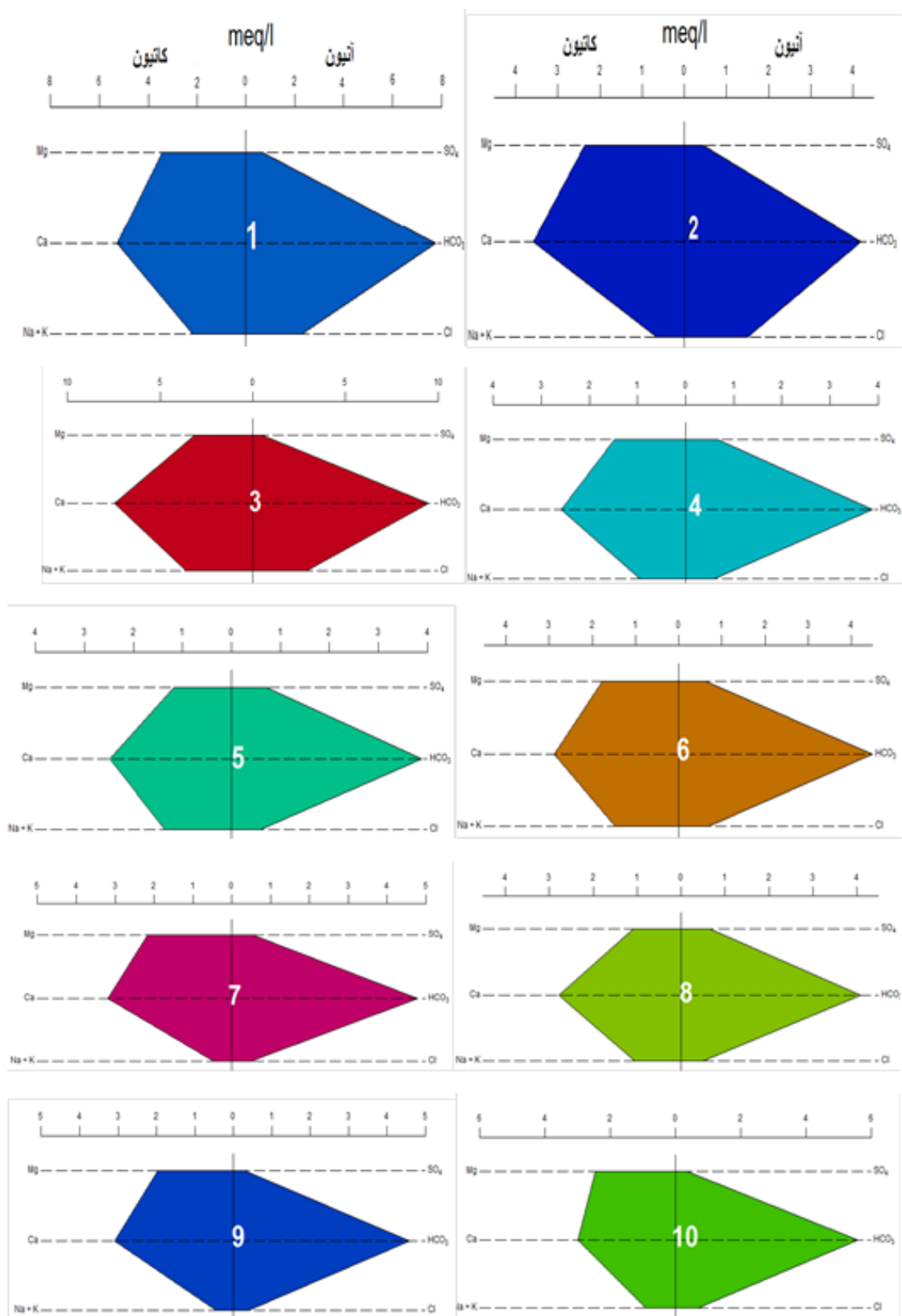
شکل ۴-۱۱: نمودار مربوط به شاخص اشباع کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت

۴-۲-۱۰- بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی دشت سیلاخور

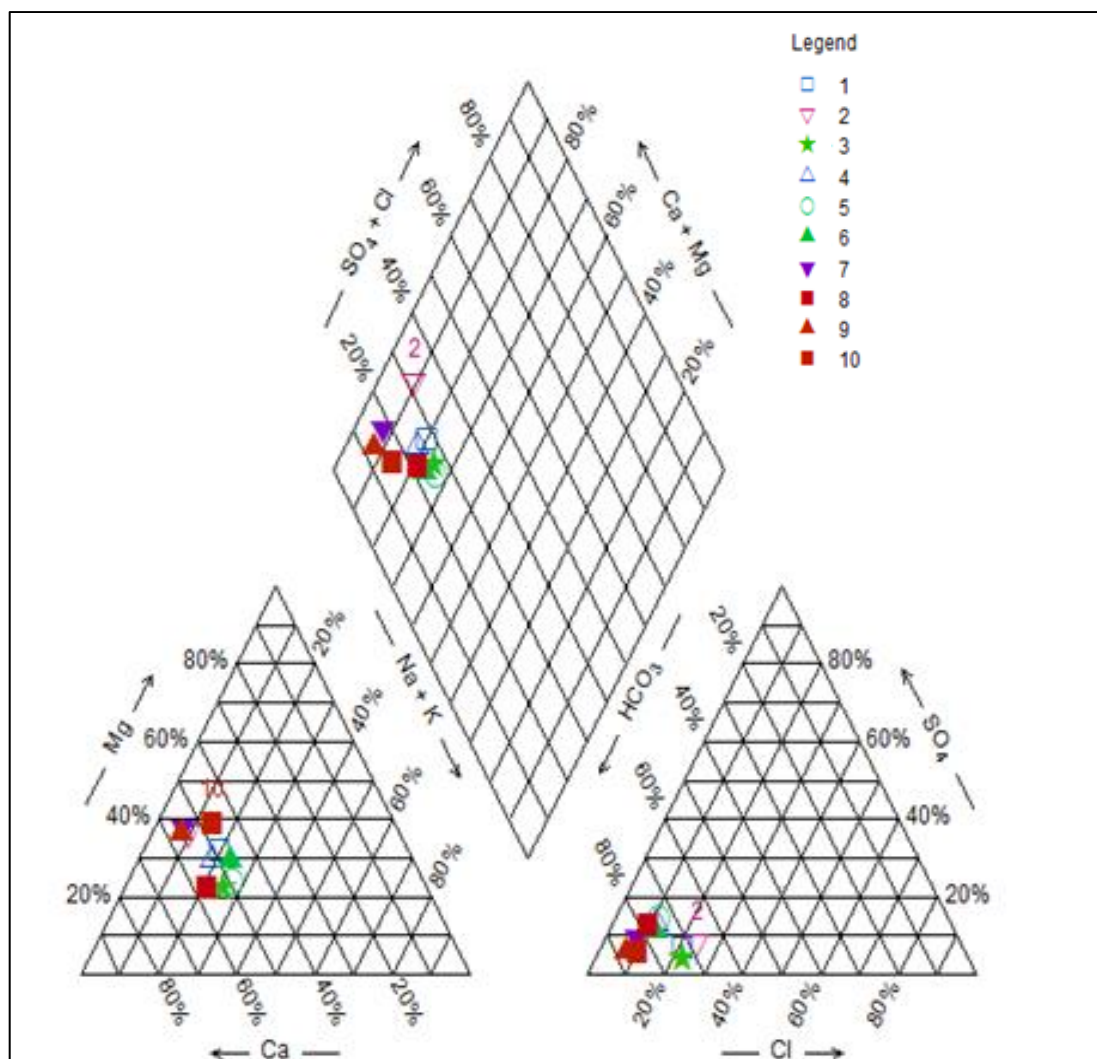
نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها بر حسب اکسی والان در میلیون (epm) در نمودار استیف بر روی خطوط افقی مطابق شکل ۴-۱۲ قرار داده شده است. با اتصال مقادیر یون‌ها به هم شکل‌های مشخصی به وجود می‌آید که برای مقایسه سریع چند نمونه بسیار مفید می‌باشد. نمودار استیف یکی از بهترین روش‌ها برای بدست آوردن تیپ آب می‌باشد. با توجه به شکل‌های حاصل از نمودار استیف، تیپ آب منطقه مورد مطالعه بی‌کربنات کلسیک می‌باشد چرا که در تمام نمونه‌ها یون بی‌کربنات از آنیون‌ها و یون کلسیم از کاتیون‌ها بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. در نمودار استیف فقط می‌توان

تیپ یک نمونه آب را مشخص کرد اما در نمودار پایپر می‌توان نوع تیپ تعداد زیادی از نمونه‌های آب را نشان داد. نمودار پایپر از ترکیب سه میدان مثلثی مجزا تشکیل شده‌است. درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در میدان‌های مثلثی و محل ترکیبی آن‌ها در میدان لوزی شکل قرار کی‌گیرد. شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها از طریق نمودار پایپر، بسیار بارز و مشخص می‌باشد. زیرا نمونه‌هایی که دارای خصوصیات مشابه هستند در کنار یکدیگر قرار کی‌گیرند.

با پلات کردن مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمودار پایپر که در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است نتیجه گرفته می‌شود که آب زیرزمینی منطقه دارای کلسیم، بی‌کربنات و منیزیم بالایی است. بر اساس این دیاگرام تمام نمونه‌ها دارای سختی کربناته بیش از ۵۰ درصد هستند و اسیدهای ضعیف و عناصر قلیایی خاکی نیز غالب هستند.



شکل ۴-۱۲: نمودار استیف نمونه‌های آب

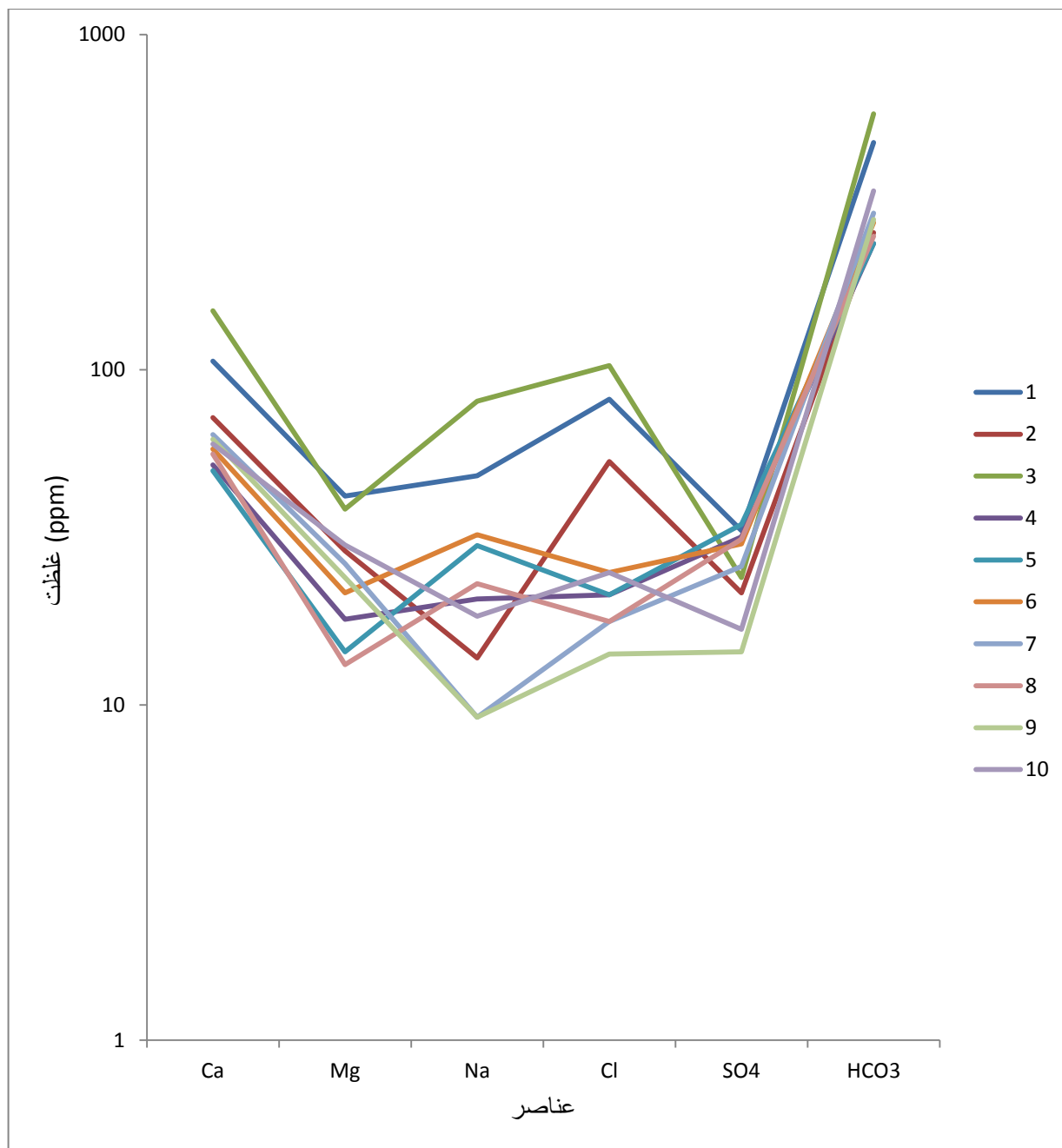


شکل ۴-۱۳: نمودار پایپر نمونه‌های آب

۴-۲-۱۱- مقایسه غلظت یون‌های اصلی نمونه‌های آب دشت سیلاخور به وسیله نمودار شولر

برای مقایسه غلظت یون‌های اصلی نمونه‌های آب دشت سیلاخور از نمودار نیمه لگاریتمی شولر استفاده شده است. طبق این نمودار (شکل ۴-۱۴) به غیر از یون‌های سدیم و کلر، بقیه یون‌های اصلی در تمام نمونه‌ها از یک روند تبعیت می‌کنند. این امر بیانگر این است که منشأ تمام این آب‌ها کم و بیش یکسان است. علت اختلاف در غلظت‌های سدیم و کلر به خاطر قابلیت انحلال بسیار بالای نمک‌های این یون‌هاست که می‌تواند

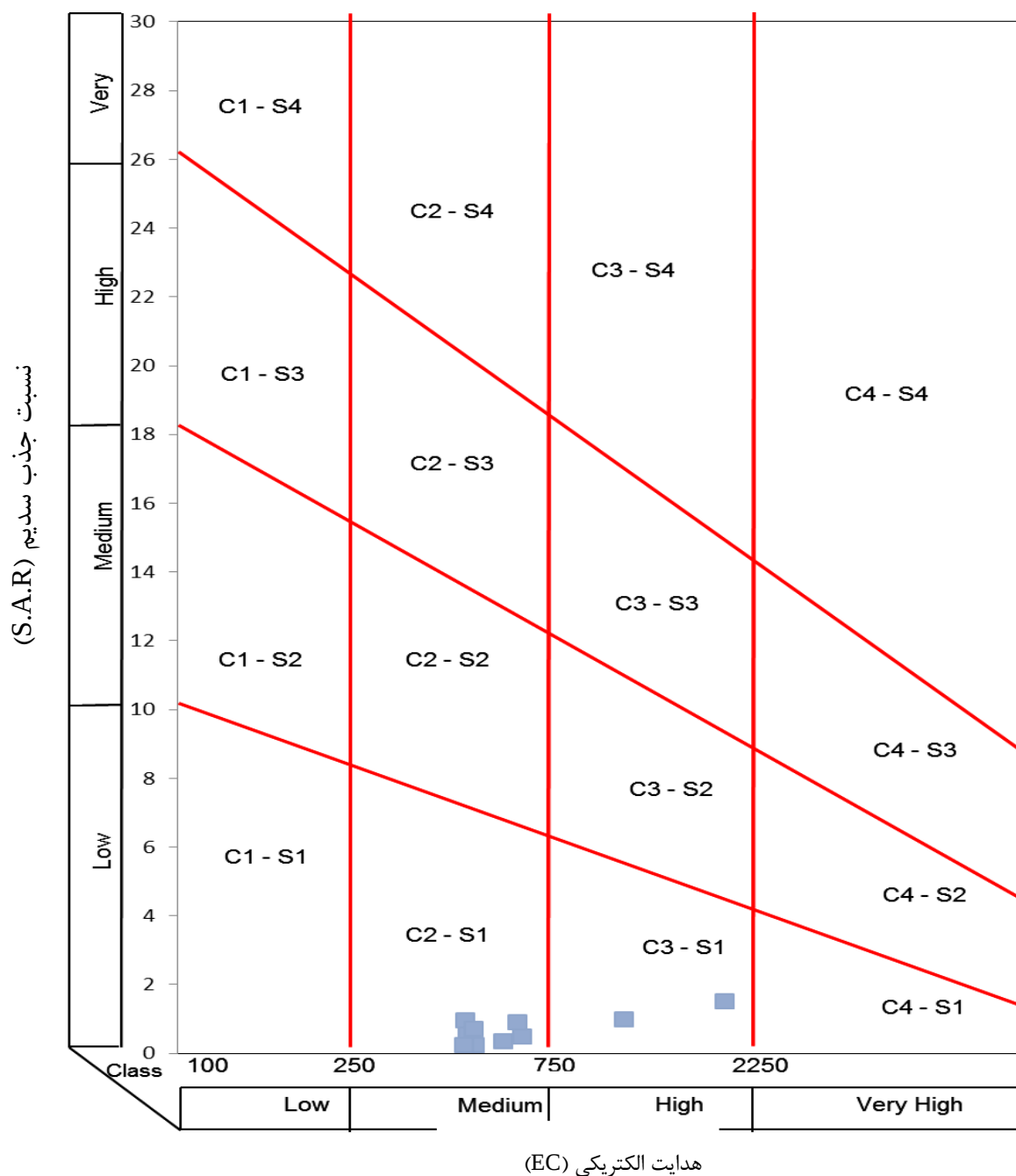
در بخش‌های مختلف دشت تا حدودی متفاوت باشد. همچنین بر اساس این نمودار ملاحظه می‌شود که بیشترین مقادیر یون‌های اصلی مربوط به نمونه‌های ۱ و ۳ می‌باشد و بقیه نمونه‌ها کم و بیش دارای غلظت یکسانی از یون‌های اصلی هستند.



شکل ۴-۱۴: نمودار نیمه لگاریتمی شولر مربوط نمونه‌های آب در دشت سیلاخور

۴-۲-۱۲- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی

برای طبقه بندی آب زیرزمینی از نظر کشاورزی، از روش طبقه‌بندی ویلکاکس استفاده شد. نمودار ویلکاکس (Wilcox, 1955) بر اساس دو عامل SAR (خطر سدیم) و EC (هدایت الکتریکی)، آب مورد استفاده کشاورزی را به ۱۶ طبقه تقسیم می‌کند. آب‌های در رده C_1S_1 بهترین کیفیت و آب‌های در رده C_4S_4 بدترین کیفیت را برای مصارف کشاورزی دارند. افزایش شوری آب باعث مختل کردن رشد گیاه در اثر کاهش آبیگری توسط گیاه می‌شود. همچنین وجود بعضی از کاتیون‌ها بویژه سدیم باعث به هم زدن بافت خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی شده که این عوامل نیز در کاهش رشد گیاهان تاثیر غیر مستقیم دارند. به هم زدن بافت خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک در اثر جانشینی یون سدیم با یون‌های کلسیم و منیزیم می‌باشد. بنابراین شوری و میزان جانشینی سدیم، که با نسبت جذب سدیم بیان می‌شود مهمترین معیار برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی و آبیاری می‌باشند. طبق نمودار ویلکاکس که در شکل ۴-۱۵ مشاهده می‌شود اگر نسبت جذب سدیم از ۱۰ کمتر باشد مشکلی از لحاظ میزان سدیم وجود ندارد. اما با افزایش این نسبت از ۱۰، مقدار سدیم خاک زیاد شده و باعث کاهش نفوذ پذیری خاک و به هم خوردن بافت خاک می‌شود. با توجه به این- که نسبت جذب سدیم نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه کمتر از سه می‌باشند و با توجه به مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی، اکثر نمونه‌ها در رده C_2S_1 قرار دارند و کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ کشاورزی در طبقه مطلوب قرار دارد. تنها دو تا از نمونه به احتمال زیاد به خاطر وضعیت زمین‌شناسی خاص در رده C_3S_1 قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۱۵: نمودار ویلکاکس مربوط به کیفیت آب از نظر کشاورزی

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

همانطور که قبلاً اشاره شده است، هدف از انجام این تحقیق بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی دشت سیلاخور می باشد. نتایجی که از انجام این تحقیق بدست آمده است به طور مختصر در این فصل ارائه می شود. با توجه به نتایج بدست آمده در انتهای فصل نیز پیشنهادهایی برای ادامه مطالعات در دشت سیلاخور ارائه شده است.

۵-۱-۱- هیدروگراف میانگین دشت

سطح آب در طی دوره ۱۶ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۶) به ویژه در سال های اخیر افت تقریباً زیادی داشته است. سال ۱۳۷۶ به علت بارندگی مناسب سطح آب زیرزمینی بالا بوده است ولی در سال های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ با کاهش بارندگی سطح آب زیرزمینی تقریباً دو متر افت پیدا کرده است. مشخص می شود که مقدار بارندگی تاثیر مستقیمی بر روی تراز سطح آب زیرزمینی دارد. در طی سال های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ مخصوصاً در سال آبی دوباره با کاهش بارندگی افت قابل توجهی (حدود ۵ متر) در سطح آب زیرزمینی رخ داده است.

۵-۱-۲- بررسی جهت عمومی آب زیرزمینی در منطقه

جهت جریان آب زیرزمینی در شمال منطقه، شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد. در این منطقه به دلیل حجم بالای تغذیه توسط سازندهای آهکی و همچنین برداشت کمتر از آب زیرزمینی و تغذیه از طریق چاه‌های جذبی شهری خطوط هم‌پتانسیل به هم نزدیک هستند که این باعث شیب هیدرولیکی زیاد و حرکت سریع آب زیرزمینی می‌شود. در قسمت‌های مرکزی دشت، شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی به علت برداشت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی به شدت کاهش می‌یابد. در قسمت‌های جنوبی‌تر منطقه جهت حرکت آب از سمت سازندهای آهکی زاگرس مرتفع، جهتی تقریباً جنوب غربی - شمال شرقی دارد که به تدریج به سمت بخش‌های مرکزی دشت جهت جریان عوض شده و روند شمال غربی - جنوب شرقی به خود می‌گیرد. در بخش‌های انتهایی دشت جهت حرکت آب جنوب شرق - شمال غرب می‌باشد. و در نهایت آب‌هایی که از شمال و جنوب حرکت می‌کنند در نزدیکی شهر دورود که دارای کمترین سطح اساس فرسایش در منطقه می‌باشد به هم می‌رسند و از آبخوان به سمت جنوب خارج می‌شوند.

۵-۱-۳- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

حداکثر و حداقل هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در منطقه به ترتیب، ۱۹۲۵ و ۴۴۷ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به نقشه هدایت الکتریکی منطقه، مشهود است که مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی از ارتفاعات مجاور به سمت مرکز دشت افزایش پیدا می‌کند. با توجه به نقشه هم-پتانسیل منطقه در فصل چهارم قابل درک است که هدایت الکتریکی منطبق با جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد. آب‌های نزدیک سازندهای آهکی دارای کیفیت بهتری هستند. افزایش غلظت املاح موجود در آب زیرزمینی در تمام نقاط دشت دارای روند ثابتی نیست مثلاً در نمونه شماره سه هدایت الکتریکی به حدود ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسیده است که می‌تواند دلایل زیادی

داشته باشد. دلیل اصلی که می‌توان ذکر کرد این است که چاه در محل بسیار دانه‌ریزی حفر شده است بنابراین سرعت حرکت آب به شدت کاهش یافته و زمان ماندگاری آب و تماس آب با رسوبات افزایش یافته است و باعث افزایش هدایت الکتریکی شده است.

با توجه به ارتباط بین هدایت الکتریکی با یون‌های ذکر شده، یون کلسیم، سدیم، بیکربنات و کلر بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی و سولفات و منیزیم کمترین همبستگی را با هدایت الکتریکی دارند.

۵-۱-۴- بررسی مقادیر pH

با اندازه‌گیری خاصیت اسیدی در محل نمونه‌برداری مقدار اسیدیته آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بین ۷/۵۷ و ۸/۳ می‌باشد. مقدار متداول pH بین ۶/۵ تا ۹ می‌باشد که بیان‌کننده غالب بودن غلظت بی‌کربنات نسبت به کربنات است.

۵-۱-۵- کل مواد جامد محلول

در منطقه مورد نظر مقدار کل مواد جامد محلول بین ۲۹۹ تا ۱۲۳۳ میلی گرم در لیتر متغیر است.

۵-۱-۶- سختی کل آب

در منطقه مورد مطالعه سختی آب زیرزمینی بین بازه ۱۸۵ تا ۵۳۵ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم تغییر می‌کند و اکثر نمونه‌های آب در گروه سخت تا خیلی سخت می‌باشند

۵-۱-۷- محاسبه نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت

نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که شاخص اشباع کلسیت و دولومیت تقریباً برای تمامی نمونه‌ها مثبت بوده که بیانگر اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به این کانی‌ها می‌باشد. کلسیت و دولومیت جز اولین کانی‌هایی هستند که در آب به حد اشباع می‌رسند زیرا حلالیت آن‌ها نسبت به بقیه کانی‌ها از قبیل ژیپس و هالیت کمتر است. انحلال سازندهای آهکی در جنوب و جنوب غربی منطقه عامل اصلی اشباع شدن آب زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت می‌باشد. همچنین شاخص اشباع هالیت و ژیپس در منطقه مورد مطالعه در تمام نمونه‌ها منفی می‌باشد. که نشان دهنده غیر اشباع بودن آب زیرزمینی نسبت به ژیپس و هالیت و قابلیت انحلال بالای این دو کانی می‌باشد.

۵-۱-۸- بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

با استفاده از نمودار استیف، تیپ آب منطقه مورد مطالعه بی‌کربنات کلسیک می‌باشد چرا که در تمام نمونه‌ها یون بی‌کربنات از آنیون‌ها و یون کلسیم از کاتیون‌ها بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس نمودار پایپر تمام نمونه‌ها دارای سختی کربناته بیش از ۵۰ درصد هستند و اسیدهای ضعیف و عناصر قلیایی خاکی نیز غالب هستند.

۵-۱-۹- بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی

با توجه به این که نسبت جذب سدیم نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه کمتر از سه می‌باشند و با توجه به مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی، اکثر نمونه‌ها در رده C_2S_1 قرار دارند و کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ کشاورزی در طبقه مطلوب قرار دارد. تنها دو تا از نمونه به احتمال زیاد به خاطر وضعیت زمین‌شناسی خاص در رده C_3S_1 قرار گرفته‌اند.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه نمود:

-به دلیل کاهش بارندگی و افت سطح ایستابی و متعاقباً خشک شدن بعضی از چاه‌های دشت سیلاخور، لذا پیشنهاد می‌شود که میزان برداشت سالانه آب زیرزمینی کاهش یابد.

-با توجه به وجود کارخانه‌های بسیار در دشت سیلاخور، بررسی پتانسیل آلوده شدن آب زیرزمینی دشت توسط آلاینده‌های صنعتی پیشنهاد می‌شود.

-همچنین از آنجایی که کشاورزی در دشت سیلاخور به صورت گسترده انجام می‌شود بررسی میزان نفوذ آب برگشتی از کشاورزی به سفره آب زیرزمینی و تاثیر آن روی آلودگی نترات در دشت پیشنهاد می‌شود.

مراجع مورد استفاده

-آقاباتی، ع. (۱۳۸۳). "زمین شناسی ایران". چاپ اول، تهران: انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-آباد، م. اونق، م. مساعدی، ا. وزین الدینی، ع. (۱۳۸۵). "بررسی اثر افت سطح ایستابی در شوری آب های زیرزمینی منطقه زیدآباد سیرجان". مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال سیزدهم ص ۱۸-۲۸

چیت سازان، م.، یعقوبی، م.، روحی، ح. (۱۳۹۰). "تاثیر کمیت و کیفیت در مدیریت آب زیرزمینی دشت خویس جهت مصارف کشاورزی". مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۷ص.

رستمی، ا. فرقانی، گ. کرمی، غ. (۱۳۹۰). "ارزیابی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب های زیرزمینی دشت رومشکان، لرستان، ایران". مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷ص.

رحمانی، ع.ر.، شکوهی، ر. (۱۳۸۶). "بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان-بهار". دهمین همایش ملی بهداشت محیط. همدان.

رستمی، ا. حکیمی، ف. (۱۳۹۰). "مقایسه کیفیت آب های زیرزمینی دشت کوهدشت و دشت رومشکان (لرستان)". مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران. ۷ ص.

رضایی، ل. (۱۳۸۸). "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی در جنوب شرقی داراب." *پایان نامه کارشناسی/ارشد*. ۱۰۰ ص.

زهتابیان، غ. خلیل پور، ا. جعفری، م. (۱۳۸۱). "تخریب آبخوان در اثر بهره برداری بی رویه از آبهای زیرزمینی (مطالعه موردی دشت قنات قم)." ۹۹-۱۱۹.

ولایتی، س. (۱۳۷۶). "هیدروژئولوژی سازندهای نرم و سخت". مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

صداقت، م. (۱۳۷۳). "زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی)". انتشارات پیام نور، ۱۳۷۳.

شریف زاده، ب. محمدی، ض. زارع، م. (۱۳۸۷). "بررسی فرایندهای اثرگذار بر هیدروشیمی آبخوان دشت آبدان در استان بوشهر." *دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران*. اهواز. ۲۴۳-۲۴۹.

شعبانی، رحمت الله. (۱۳۷۱). "بررسی منابع آب زیرزمینی دشت سیلاخور و عوامل موثر در آن." *آموزش جغرافیا*. ۱۵-۲۳.

نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم آباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دورود- بروجرد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

ناصری، ح.ر.، علیجانی ف. (۱۳۸۶). "بررسی منابع آلاینده آب های زیرزمینی دشت ایذه، شمال شرق خوزستان." *علوم محیطی شماره چهارم*. ۳۳-۴۶.

مهندسین مشاور سنگاب زاگرس "گزارش توجیهی تخصیص منابع آب محدوده مطالعاتی دورود- بروجرد" گزارش سازمان آب منطقه ای لرستان. اسفند ۱۳۹۱

مقیم، ه. (۱۳۸۹) "هیدروژئوشیمی". تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۳۸۹.

موسوی مداح، م.، غفوری، م.، لشکری پور، غ. و افشار، س. (۱۳۸۹). "بررسی پدیده نشست زمین و تاثیر آن بر روی گسیختگی لوله های جدار چاه های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه بندی تغییرات دانه بندی زمین." چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک مکانیک خاک ایران، انجمن ژئوتکنیک ایران. تهران.

محمدی و همکاران. (۱۳۸۲). "تاثیر خشکسالی های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت های شمال همدان." پژوهش های جغرافیایی شماره ۴۵، ۱۱۵-۱۳۰.

قلعه نی. م. م.، ابراهیمی. ک.، عراق نژاد، ش. (۱۳۹۰). "ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی ساوه و اراک)." مجله دانش آب و خاک. ۹۳-۱۰۸.

عبداللهی، م. رستمی، ا. تقی زاده، س. (۱۳۹۰). "بررسی هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت راور با استفاده از SPSS و PHREEQC." سی ومین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۷ص.

عطایی، ه. قادری، ن. قادرزاده، ح. (۱۳۹۰). "بررسی رابطه بین نوسانات اقلیمی با تراز آبخوان دهگلان." فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.

علیزاده، ا. (۱۳۸۹). "اصول هیدرولوژی کاربردی". فصل بیست و یکم (۸۷۰-۸۸۱ ص). انتشارات دانشگاه امام رضا.

غزنوی، ک. کرمی، غ. ج. سلیم، ق. (۱۳۹۰). "بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی آب دشتهای آبرفتی مجاور سراب نیلوفر در استان کرمانشاه." هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. شاهرود: دانشگاه شاهرود. ۱۰ص.

- Aghazadeh, N. and Mogaddam A.A. (2011). “Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, Northwest of Iran.” *Environ Monit Assess*, pp. 183-195.
- Ajdary, KH. and Kazemi, G.A. (2014). “Quantfying changes in groundwater level and chemistry in shahrood.” *Hydrogeology Journal*, pp. 469-480.
- Almasri, M. K. J. (2007). “Modling nitrate contamination groundwater in agricultural watersheds.” *Hydrology Journal*., pp. 211-229.
- Changming, L., Jingjie, Y. and Kendy, E., (2001). “Groundwater exploitation and its impact on the environment in the north Chine plain.” *water International*, vol. 26, pp. 265-272.
- Davis, S.N and Dewist, R.J.M . (1996). “ *Hydrogeology*”. New York: John Wiley.
- Hoque, M.A., Hoque, M.M., and Ahm, K.M.,. (2007). “Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka metropolitan area, Bangladesh: causes and quantification.” *Hydrogeology Journal*, vol.15,pp. 1523-1534.
- Jamshidzadeh, Z. Mirbagheri , S.A. (2010). “Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran.” *Desalination*, pp. 23-30.
- Khider, k. and Mcphail, D.C. (2005). “Hydrogeology and Hydrogeochemistry in the area.” *NSW Rigolish-years of CRC LEME*, pp. 165-169.
- Kord, M., Asgharimoghaddam, A., Nakhaeei, M. (2013). “Investigation of

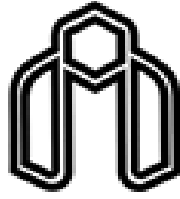
- Hydrogeological Characteristics of Ardbil Plain Aquifer, Northwest of Iran.” *ISESCO Journal of science and Technology*, pp. 63-69.
- Langemuir, D. (1977). “*Aqueous Environmental Geochemistry*.” Prentice Hall.
- Malakootian, M. and Nouri, J. (2010). “Chemical Variation of Groundwater Affectet by the Earthquake in Bam region.” *Int, J. Environ.Res* 4, pp. 443-454.
- Min, Z. C. (2010). “Effect of diffirent land use/land cover on karst hydrogeochemistry: A paired catchment study of Chnqi and Dengzhanhe, Puding, Guizhou, SW China.” *Journal of Hydrology*, pp. 121-130.
- Nwankwoala, H.O. (2011). “Hydrochemical and suitability Evaluation of Groundwater in Bonny Island, eastern Niger Dekta.” *African Jornal of Basic & Applied Sciences*, pp. 271-277.
- Sajil Kumar, P.J. (2013). “Interpretation of groundwater chemistry using piper and chadha diagrams: a camprative study from Perambalur Taluk.” pp. 12208-12211.
- Schmidt, S. G. (2013). “Quantification of long-term wastewater impacts on karst groundwater resources in a semi-arid environment by chlorid mass balance methods.” *Journal of Hydrology*, pp. 177-190.
- Schoeller, D. R. (1986). “Energy expenditure by doubly labelled water: validation and proposed calculation.” *American Journal of Physiology*, pp. 823-830.

- Todd, D.K., Mays, L.W., (2005). “*Groundwater Hydrology.*” New York,: John Wiley and sons. PP. 535.
- Wilcox, L. V. (1955). *Classification and Use of Irrigation Waters*,. USA: US Department of Agriculture, Issu 969, Washington D.C.
- Yii-Soong-Tsao. (1983). “Change of Groundwater quality in the yun-lin basin duo to overpumping.” *Agricultural Engineering Department.*
- Yuce, G., Uguruog, D. (2009). “The efect of litology on water pollution.” *Journal of water airsail pollunt*, PP. 69-89.
- Zghibi, a. T. (2013). “Assessment of seawater intrusion and nitrate contamination on the groundwater quality in the Korba coastal plain of Cap-Bo(North-east of Tunisia).” *Journal of African Eart Sciences*, PP. 1-12.

Abstract

Sylakhor plain with an area of almost 800 km² is situated between 48° 28′ - 49° 30′ east longitude and 33° 15′ - 44° 10′ latitude in the southeast of Borujerd. The aquifer in the study area is an unconfined aquifer and its thickness is about 160 m which consist of alternatively clay and sand. This aquifer is draining for agricultural usage with 1679 wells. To evaluate changes in groundwater level, average hydrograph of plain were computed from 1376 to 1392. According to this hydrograph, due to reduced precipitation and increased exploitation in recent years, a sharp drop in the groundwater has occurred so that some shallow wells has been dried. In order to evaluate groundwater quality, sampling was performed in active wells. Electrical conductivity and pH were measured at the sampling site and the samples were sent to the laboratory for chemical analysis in order to determine the amounts of major elements such as calcium, sodium, magnesium, potassium, bicarbonate, sulfate and chloride. Given that the main direction of movement of groundwater flow in the study area is northeast-southeast but the results of chemical analysis showed that nearly the entire aquifer has a constant electrical conductivity values and doesn't follow any particular trend. It is because, Silakhor plaine is a rather long plane which is from the northwest to the southeast and its feeding is majorly from northeastern to southwestern highlands that their path is relatively short, so there are not a lot of changes in the electrical conductivity values. Equipotential map of the plane confirms its feeding locations. By using Stiff and Piper diagrams, the type and facies of all groundwater samples are bicarbonate-calcic which indicates the high quality of the groundwater in the plain of Silakhor.

Keywords: Silakhor plain, hydrogeochemistry, hydrogeology



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences
Hydrogeology and Environmental Geology Group

MSc. Thesis

**Evaluating hydrogeological and hydrogeochemical characteristics
of Sylakhor plain , Borujerd**

By

Mohammad pirvali

Supervisor

Dr. Gholam Hossein Karami

November 2014