





دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

هیدروژئولوژی

بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی دشت قره‌سو، استان گلستان

نگارنده:

محمدعلی شاه‌حسینی

استاد راهنما:

دکتر رحیم باقری

استاد مشاور:

مهندس عبدالرضا کابلی

بهمن ۹۶

شماره:
تاریخ:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، لوزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مصطفی رضایور منفرد با شماره دانشجویی ۹۴۰۸۱۳۴ رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی منابع آب دشت جاجرم، استان خراسان شمالی، که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>جسبی خوب</u>)
<input checked="" type="checkbox"/> عملی	<input type="checkbox"/> نظری

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

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز احمدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۲/۱۱/۱۴



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

تقدیم به:

آنان که وجودم جز بدیه وجودشان نیست،

پدر و مادر عزیزم

و همسر مهربانم که با صبرش در تمامی لحظات رفیق راهم

بود...

تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، برخورد لازم میدانم تا مراتب سپاسرا از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید. در ابتدا از زحمات و محبت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام که در نهایت صبر و بردباری، همواره محیطی مساعد و آرام را جهت رشد و تحصیلاتم فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌نمایم و از زحمات بی‌شائبه استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر باقری و استاد مشاور صبورم جناب آقای مهندسی کابلی که در تهیه و تکمیل این پژوهش همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان بهره برده‌ام، کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم. همچنین از زحمات تمامی اساتید دلسوز و محترم گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم زمین به ویژه جناب آقایان دکتر کرمی، دکتر جعفری و دکتر مومنی و از مسئولین محترم آزمایشگاه گروه آبشناسی و زیست محیطی سرکار خانم باقری و نیز کارشناس گروه سرکار خانم فارسی که در طول مدت انجام این پایان‌نامه از راهنمایی‌ها و همکاری‌های بی‌دریغشان بهره‌برده‌ام، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از همگی دوستان و همکلاسی‌های گرمی‌ام خانم‌ها اشجاری، برومند، توکلی، صادقی، صالحی، طالبی‌زاده و موسوی و آقایان رضایور، سوده‌گی، کاظمی، میرحسینی و مخدومی که در تمامی مراحل انجام این پایان‌نامه و نیز در طی مدت تحصیلاتم با ایشان، نهایت کمک و همیاری را در حق این جانب نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را می‌نمایم.

محمد علی شاه حسینی

تعهد نامه

اینجانب **محمدعلی شاه‌حسینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی گرایش آب‌شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **بررسی هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمیایی دشت قره‌سو ، استان گلستان** تحت راهنمایی آقای دکتر رحیم باقری متعهد می‌شوم:

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

دشت قره‌سو با وسعت تقریبی ۱۶۰۰ کیلومتر مربع و با مختصات $54^{\circ}00'$ تا $54^{\circ}45'$ طول شرقی و $36^{\circ}36'$ تا $36^{\circ}59'$ عرض شمالی به‌عنوان بخشی از حوضه گرگان می‌باشد که در قسمت غربی استان گلستان و در جنوب شرقی دریای مازندران واقع شده است. آب زیرزمینی در این منطقه نقشی حیاتی دارد. از دیدگاه هیدروژئولوژی این حوضه آبریز از دو آبخوان آزاد و تحت فشار تشکیل شده است. آب شور دریای مازندران و کفه‌های نمکی در غرب و شمال دشت وجود دارد. هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدروشیمیایی هر دو سفره می‌باشد. به منظور بررسی هیدروژئولوژیکی از داده‌های ۱۶ پیزومتر، ۱۸ حلقه چاه در آبخوان آزاد و ۲۳ حلقه چاه در آبخوان محبوس در دشت استفاده شده است. طبق هیدروگراف واحد آبخوان‌های آزاد و محبوس حوضه به ترتیب در یک دوره ۲۵ و ۱۵ ساله؛ شاهد $1/6$ و $5/77$ متر افت تراز سطح آب زیرزمینی به دلیل کاهش بارندگی و عدم مدیریت برداشت آب زیرزمینی می‌باشیم. طبق معادله بیلان برای آبخوان آبرفتی و محبوس حوضه قره‌سو، در سال ۸۹-۱۳۸۸ تغییرات حجم مخزن برای دو آبخوان آبرفتی و محبوس به ترتیب؛ $2/46-$ و $1/28-$ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. باتوجه به آنالیزهای هیدروشیمیایی از ۴۱ نمونه از چاه‌های بهره‌برداری و آب دریا، کیفیت آب زیرزمینی تحت تاثیر آب برگشتی به آبخوان و نفوذ آب شور در غرب و شمال دشت می‌باشد. میزان هدایت الکتریکی نیز در راستای جهت جریان از محل تغذیه به سمت محل تخلیه در حال افزایش می‌باشد به‌طوری‌که در آبخوان آزاد از ۴۰۰ تا ۲۷۸۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر و در آبخوان محبوس از ۷۰۰ تا ۲۲۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر متغیر است که در قسمت غربی حوضه دارای افزایش قابل توجهی می‌باشد. افزایش شوری در این آبخوان‌ها اساساً به علت نفوذ آب شور دریای مازندران و کفه‌های نمکی در شمال منطقه می‌باشد.

کلیدواژه: دشت قره‌سو، هیدروژئولوژی، نفوذ آب شور، هدایت الکتریکی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. شاه‌حسینی م.ع. باقری ر. کابلی ع. ر. (۱۳۹۵)، " بررسی هیدروشیمیایی آبخوان محبوس ساحلی در دشت قره‌سو، شرق دریای مازندران " سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
۲. شاه‌حسینی م.ع. باقری ر. کابلی ع. ر. (۱۳۹۶)، " بررسی نفوذ جبهه آب شور به سفره‌آزاد دشت قره‌سو " دهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، تبریز.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳
- ۳-۰۱- هواشناسی منطقه مورد مطالعه ۴
- ۴-۱- زمین‌شناسی منطقه ۵
- ۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه ۶
- ۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه ۸
- ۵-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه ۹
- ۶-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه ۱۰

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

- ۱-۱- مقدمه ۱۴
- ۲-۲- عوامل موثر بر کمیت آب زیرزمینی ۱۴
- ۱-۲-۲- تاثیر بارندگی و خشکسالی بر کمیت آب زیرزمینی ۱۵
- ۲-۲-۲- تاثیر برداشت بیش از حد بر روی کمیت آب زیرزمینی ۱۶
- ۳-۲- عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی ۱۸
- ۱-۳-۲- اثر سازندهای زمین‌شناسی و نفوذ آب شور در کیفیت آب زیرزمینی ۱۹
- ۲-۳-۲- اثر برداشت بیش از حد بر روی کیفیت آب زیرزمینی ۲۲
- ۳-۳-۲- نقش سایر عوامل طبیعی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی ۲۴
- ۴-۳-۲- اثر پساب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری، صنعتی بر کیفیت آب زیرزمینی ۲۵

فصل سوم: روش انجام کار

- ۱-۳- مقدمه ۲۸

- ۲-۳- جمع آوری آمار و داده‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی ۲۸
- ۳-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه ۲۸
- ۴-۳- بازدید صحرایی و نمونه برداری از آب‌های زیرزمینی ۲۹
- ۱-۴-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه برداری ۳۱
- ۱-۴-۳- هدایت الکتریکی (EC) ۳۱
- ۲-۴-۳- اسیدیته (pH) ۳۱
- ۲-۴-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ۳۲
- ۵-۳- تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه ۳۲
- ۱-۵-۳- نقشه کیفی و سری زمانی داده‌های کیفی منطقه مورد مطالعه ۳۳
- ۲-۵-۳- رسم نمودارهای کیفی آبخوان ۳۳
- ۳-۵-۳- نمودارهای ترکیبی ۳۳
- ۶-۳- داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه ۳۳
- ۱-۶-۳- رسم هیدروگراف واحد دشت ۳۴
- ۲-۶-۳- تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت آبخوان حوضه قره‌سو ۳۵
- ۳-۶-۳- بیلان ۳۵
- ۱-۳-۶-۳- تعریف بیلان ۳۶
- ۲-۳-۶-۳- محدوده بیلان ۳۶
- ۳-۳-۶-۳- دوره بیلان ۳۶
- ۴-۳-۶-۳- بیلان هیدروکلیماتولوژی یا هواشناسی ۳۷
- ۵-۳-۶-۳- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی ۳۷
- ۶-۳-۶-۳- بررسی اجمالی بیلان آب زیرزمینی حوضه آبریز قره‌سو ۳۸

فصل چهارم : ارزیابی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آبخوان منطقه مورد مطالعه

- ۱-۴- مقدمه: ۴۰
- ۲-۴- هیدروژئولوژی آبخوان حوضه قره‌سو ۴۰
- ۱-۲-۴- بررسی نقشه‌های هم‌پتانسیل منطقه مورد مطالعه ۴۱

- ۴۳..... ۳-۴- ارزیابی حوضه بر اساس افت طولانی مدت
- ۴۵..... ۴-۴- بیان منابع آب حوضه قره‌سو
- ۴۵..... ۱-۴-۴- هیدروگراف واحد دشت مورد مطالعه
- ۴۹..... ۵-۴- بیان هیدروکلیماتولوژی حوضه قره‌سو
- ۴۹..... ۱-۵-۴- بیان هیدروکلیماتولوژی ارتفاعات
- ۵۰..... ۲-۵-۴- بیان هیدروکلیماتولوژی دشت
- ۵۱..... ۶-۴- بیان آب زیرزمینی
- ۵۱..... ۷-۴- بیان آبخوان سطحی آزاد
- ۵۲..... ۱-۷-۴- جریان ورودی زیرزمینی به محدوده بیان (Q_{in})
- ۵۲..... ۲-۷-۴- تغذیه ناشی از بارندگی در محدوده بیان R_p
- ۵۲..... ۳-۷-۴- تغذیه ناشی از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها (R_r)
- ۵۴..... ۴-۷-۴- تغذیه ناشی از پساب کشاورزی و فاضلاب شهری و صنعت (R_w)
- ۵۴..... ۱-۴-۷-۴- کشاورزی
- ۵۴..... ۲-۴-۷-۴- شرب و صنعت
- ۵۴..... ۵-۷-۴- جریان خروجی زیرزمینی (Q_{out})
- ۵۶..... ۶-۷-۴- تبخیر از آب زیرزمینی (E)
- ۵۶..... ۷-۷-۴- بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی در محدوده بیان (W)
- ۵۷..... ۱۳-۴- زهکشی از آب زیرزمینی و چشمه‌ها (D)
- ۵۷..... ۹-۷-۴- تغییرات حجم مخزن آبخوان آزاد در دوره بیان
- ۵۷..... ۸-۴- بیان آبخوان عمیق تحت فشار
- ۵۷..... ۱-۸-۴- جریان خروجی زیرزمینی (Q_{out})
- ۵۹..... ۲-۸-۴- بهره‌برداری از آبخوان عمیق (W)
- ۵۹..... ۳-۸-۴- تغییرات حجم مخزن آبخوان عمیق در دوره بیان
- ۶۰..... ۹-۴- هیدروژئوشیمی آبخوان حوضه قره‌سو
- ۶۱..... ۱۰-۴- داده‌های هیدروشیمیایی

- ۱۱-۴- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان ۶۵
- ۱-۱۱-۴- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی ۶۵
- ۲-۱۱-۴- بررسی تغییرات زمانی و مکانی هدایت الکتریکی در حوضه قره‌سو ۶۸
- ۱-۲-۱۱-۴- گروه ۱- چاه‌های شیرین با بازه $EC < 1000 \mu\text{mho/cm}$ ۶۹
- ۲-۲-۱۱-۴- گروه ۲- چاه‌های نیمه شور با بازه $1000 < EC < 2500 \mu\text{mho/cm}$ ۶۹
- ۳-۲-۱۱-۴- گروه ۳- چاه‌های شور با بازه $EC > 2500 \mu\text{mho/cm}$ ۷۰
- ۳-۱۱-۴- بررسی تغییرات یون کلر ۷۱
- ۴-۱۱-۴- بررسی تغییرات یون سولفات ۷۴
- ۵-۱۱-۴- ارزیابی تغییرات غلظت سایر یون‌ها ۷۶
- ۱-۵-۱۱-۴- یون کلسیم ۷۶
- ۲-۵-۱۱-۴- یون منیزیم ۷۹
- ۳-۵-۱۱-۴- یون سدیم ۸۱
- ۶-۱۱-۴- نمودارهای ستونی یون‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه ۸۳
- ۱۲-۴- تعیین رخساره های هیدروژئوشیمیایی منطقه ۸۵
- ۱-۱۲-۴- نمودار استیف ۸۵
- ۲-۱۲-۴- نمودار شولر ۹۰
- ۳-۱۲-۴- نمودار پایپر ۹۴
- ۱۳-۴- شاخص اشباع ۹۶
- ۱۴-۴- بررسی تکامل ژئوشیمیایی حوضه قره‌سو ۱۰۰
- ۱۵-۴- بررسی اختلاط آب شور در نمونه‌های حوضه قره‌سو ۱۰۷
- ۱-۱۵-۴- واکنش بین آب و سنگ ۱۰۷

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱-۵- بررسی هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی حوضه قره‌سو ۱۱۴
- ۱-۱-۵- ارزیابی گرادیان هیدرولیکی و مناطق عمده تغذیه و تخلیه دشت ۱۱۴

- ۱۱۴..... ۵-۱-۲- ارزیابی دشت بر اساس تغییرات افت طولانی مدت
- ۱۱۵..... ۵-۱-۳- هیدروگراف واحد دشت
- ۱۱۶..... ۵-۲- بررسی هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه
- ۱۱۶..... ۵-۲-۱- نتایج حاصل از بررسی هدایت الکتریکی
- ۱۱۶..... ۵-۲-۲- ارزیابی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی
- ۱۱۷..... ۵-۲-۳- بررسی تیپ آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه
- ۱۱۸..... پیشنهادها

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۴
- شکل ۱-۲: نمودار آمبروترمیک حوضه قره‌سو ۵
- شکل ۱-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۶
- شکل ۱-۴: موقعیت نسبی شاخه‌های مربوط به رودخانه قره‌سو ۹
- شکل ۳-۱: محل‌های نمونه برداری منطقه مورد مطالعه در آبخوان آزاد ۳۰
- شکل ۳-۲: محل‌های نمونه برداری منطقه مورد مطالعه در آبخوان محبوس ۳۰
- شکل ۳-۳: آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه آب و محیط‌زیست دانشگاه صنعتی شاهرود ۳۲
- شکل ۳-۴: محل‌های اندازه‌گیری سطح آب در پیژومترهای حوضه قره‌سو ۳۴
- شکل ۴-۱: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان آزاد حوضه قره‌سو پاییز ۹۴ ۴۲
- شکل ۴-۲: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان آزاد حوضه قره‌سو بهار ۹۵ ۴۲
- شکل ۴-۳: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان محبوس حوضه قره‌سو پاییز ۹۴ ۴۳
- شکل ۴-۴: مقدار افت در نقشه‌زون بندی ۴۴
- شکل ۴-۵: گروه‌بندی پیژومترها بر اساس رفتار سری زمانی تغییرات تراز سطح آب بر حسب متر از سطح دریا ۴۵
- شکل ۴-۶: هیدروگراف واحد آبخوان آزاد حوضه قره‌سو ۴۷
- شکل ۴-۷: هیدروگراف واحد آبخوان عمیق حوضه قره‌سو ۴۸
- شکل ۴-۸: موقعیت ورودی آب زیرزمینی از مقاطع مختلف به آبخوان آبرفتی ۵۳
- شکل ۴-۹: مقادیر خروجی آب زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان آزاد ۵۵
- شکل ۴-۱۰: موقعیت خروجی زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان تحت فشار دشت قره‌سو ۵۸
- شکل ۴-۱۱: موقعیت چاه‌های نمونه برداری در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو ۶۲
- شکل ۴-۱۲: موقعیت چاه‌های نمونه برداری در آبخوان تحت فشار حوضه قره‌سو ۶۲
- شکل ۴-۱۳: نقشه تغییرات EC در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho/cm}$ (پاییز ۹۴) ۶۶
- شکل ۴-۱۴: نقشه تغییرات EC در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho/cm}$ (بهار ۹۵) ۶۷
- شکل ۴-۱۵: نقشه تغییرات EC در آبخوان محبوس حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho/cm}$ (پاییز ۹۴) ۶۷
- شکل ۴-۱۶: نقشه تغییرات EC در آبخوان محبوس حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho/cm}$ (بهار ۹۵) ۶۸

- شکل ۴-۱۷: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و گروه بندی چاه‌ها ۶۸
- شکل ۴-۱۸: چاه‌های با $EC < 1000$ ۶۹
- شکل ۴-۱۹: چاه‌های با $1000 < EC < 2500$ ۶۹
- شکل ۴-۲۰: چاه‌های با $EC > 2500$ ۷۰
- شکل ۴-۲۱: پروفیل طولی در امتداد شرق-غرب منطقه مورد مطالعه ۷۰
- شکل ۴-۲۲: پروفیل A-B و نمایش تغییرات مکانی هدایت الکتریکی ۷۱
- شکل ۴-۲۳: پروفیل C-D و نمایش تغییرات مکانی هدایت الکتریکی ۷۱
- شکل ۴-۲۴: نقشه هم‌کلرآبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۷۲
- شکل ۴-۲۵: نقشه هم‌کلرآبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۷۲
- شکل ۴-۲۶: نقشه هم‌کلرآبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۷۳
- شکل ۴-۲۷: نقشه هم‌کلرآبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۷۳
- شکل ۴-۲۸: نقشه هم‌سولفات آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۷۴
- شکل ۴-۲۹: نقشه هم‌سولفات آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۷۵
- شکل ۴-۳۰: نقشه هم‌سولفات آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۷۵
- شکل ۴-۳۱: نقشه هم‌سولفات آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۷۶
- شکل ۴-۳۲: غلظت یون کلسیم آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۷۷
- شکل ۴-۳۳: غلظت یون کلسیم آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۷۷
- شکل ۴-۳۴: غلظت یون کلسیم آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۷۸
- شکل ۴-۳۵: غلظت یون کلسیم آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۷۸
- شکل ۴-۳۶: غلظت یون منیزیم آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۷۹
- شکل ۴-۳۷: غلظت یون منیزیم آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۸۰
- شکل ۴-۳۸: غلظت یون منیزیم آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۸۰
- شکل ۴-۳۹: غلظت یون منیزیم آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۸۱
- شکل ۴-۴۰: غلظت یون سدیم آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۸۲
- شکل ۴-۴۱: غلظت یون سدیم آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۸۲

- شکل ۴-۴۲: غلظت یون سدیم آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm) ۸۳
- شکل ۴-۴۳: غلظت یون سدیم آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm) ۸۳
- شکل ۴-۴۴: نمودار ستونی غلظت یون های اصلی در آبخوان آزاد حوضه قرهسو ۸۴
- شکل ۴-۴۵: نمودار ستونی غلظت یون های اصلی در آبخوان محبوس حوضه قرهسو ۸۴
- شکل ۴-۴۶: نمودارهای استیف چاههای آبخوان آزاد حوضه قرهسو ۸۶
- شکل ۴-۴۷: نمودارهای استیف چاههای آبخوان آزاد حوضه قرهسو ۸۷
- شکل ۴-۴۸: نمودارهای استیف چاههای آبخوان آزاد حوضه قرهسو ۸۷
- شکل ۴-۴۹: نمودارهای استیف چاههای آبخوان محبوس حوضه قرهسو ۸۹
- شکل ۴-۵۰: نمودارهای استیف چاههای آبخوان محبوس حوضه قرهسو ۸۹
- شکل ۴-۵۱: نمودار شولر نمونه‌های آبخوان آزاد حوضه قرهسو ۹۰
- شکل ۴-۵۲: گروه یک سفره آزاد با تیپ Ca-HCO_3 Mg-HCO_3 ۹۱
- شکل ۴-۵۳: گروه دو سفره آزاد با تیپ Mg-SO_4 ۹۲
- شکل ۴-۵۴: گروه سه سفره آزاد با تیپ Na-Cl ۹۳
- شکل ۴-۵۵: نمودار شولر نمونه‌های آبخوان محبوس حوضه قرهسو ۹۳
- شکل ۴-۵۶: گروه سه سفره محبوس با تیپ Na-Cl ۹۵
- شکل ۴-۵۷: نمودار پایپر نمونه های آبخوان آزاد ۹۶
- شکل ۴-۵۸: نمودار پایپر نمونه های آبخوان محبوس ۹۸
- شکل ۴-۵۹: مقادیر نمایه‌های اشباع در منابع آب آبخوان آزاد حوضه قرهسو ۱۰۰
- شکل ۴-۶۰: مقادیر نمایه‌های اشباع در منابع آب آبخوان محبوس حوضه قرهسو ۱۰۱
- شکل ۴-۶۱: رابطه بین هدایت الکتریکی با یون های مختلف در آبخوان آزاد حوضه قرهسو ۱۰۲
- شکل ۴-۶۲: رابطه بین هدایت الکتریکی با یون های مختلف در آبخوان محبوس حوضه قرهسو ۱۰۳
- شکل ۴-۶۳: نمودار نسبت کلر به سدیم در مقابل کلر آبخوان آزاد ۱۰۴
- شکل ۴-۶۴: نمودار نسبت کلر به سدیم در مقابل کلر آبخوان محبوس ۱۰۵
- شکل ۴-۶۵: نسبت Ca+Mg در مقابل SO_4+HCO_3 در آبخوان آزاد ۱۰۵
- شکل ۴-۶۶: نسبت بین Ca+Mg/SO_4 در مقابل نسبت Na/Cl در آبخوان آزاد ۱۰۶

- شکل ۴-۶۷: نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 در آبخوان محبوس ۱۰۶
- شکل ۴-۶۸: نسبت بین $Ca+Mg/SO_4$ در مقابل نسبت Na/Cl در آبخوان محبوس ۱۰۸
- شکل ۴-۶۹: بررسی فرایند اختلاط در گروه‌های مختلف منابع آب سفره آزاد حوضه قره‌سو ۱۰۹
- شکل ۴-۷۰: نمودار کلسیم در مقابل بی‌کربنات نمونه‌های منطقه مرد مطالعه (epm) ۱۰۹
- شکل ۴-۷۱: نمودار کلسیم در مقابل سولفات نمونه‌های منطقه مورد مطالعه (epm) ۱۱۰
- شکل ۴-۷۲: بررسی فرایند اختلاط در گروه‌های مختلف منابع آب سفره محبوس حوضه قره‌سو ۱۱۱
- شکل ۴-۷۳: نمودار کلسیم در مقابل بی‌کربنات نمونه‌های منطقه مورد مطالعه (epm) ۱۱۱
- شکل ۴-۷۴: نمودار کلسیم در مقابل سولفات نمونه‌های منطقه مورد مطالعه (epm) ۱۱۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: میزان بارندگی و دما در ماه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه ۴
- جدول ۱-۲: میزان تغذیه و تخلیه منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی دشت گرگان (مهندسين مشاور كنكاش
عمران ۱۳۸۷) ۱۱
- جدول ۱-۴: داده‌های بارش و تراز سطح آب حوضه آزاد قره‌سو ۴۶
- جدول ۲-۴: داده‌های بارش و تراز سطح آب حوضه محبوس قره‌سو ۴۷
- جدول ۳-۴: بیلان هیدروکلیماتولوژی ارتفاعات حوضه قره‌سو - ارقام به میلیمتر ۵۰
- جدول ۴-۴: بیلان هیدروکلیماتولوژی محدوده دشت حوضه قره‌سو - ارقام به میلیمتر ۵۰
- جدول ۵-۴: مقادیر ورودی زیرزمینی از مقاطع مختلف به آبخوان آبرفتی ۵۳
- جدول ۶-۴: مقادیر خروجی زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان ۵۵
- جدول ۷-۴: میزان بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی سطحی آزاد حوضه قره‌سو ۵۶
- جدول ۸-۴: مقادیر خروجی زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان تحت فشار دشت قره‌سو ۵۸
- جدول ۹-۴: میزان بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی عمیق حوضه قره‌سو ۵۹
- جدول ۱۰-۴: خلاصه محاسبات مربوط به پارامترهای بیلان آبخوان‌های آبرفتی حوضه قره‌سو (میلیون مترمکعب) ۶۰
- جدول ۱۱-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان کم عمق پاییز ۹۴ ۶۳
- جدول ۱۲-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان کم عمق بهار ۹۵ ۶۳
- جدول ۱۳-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان عمیق پاییز ۹۴ ۶۴
- جدول ۱۴-۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان عمیق بهار ۹۵ ۶۴
- جدول ۱۵-۴: مقدار نمایه‌های اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان حوضه قره‌سو ۹۷
- جدول ۱۶-۴: مقدار نمایه‌های اشباع نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان حوضه قره‌سو ۹۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- بیان مسئله و اهداف مطالعه

آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع آب شیرین در سراسر جهان می‌باشد. بسیاری از تمدن‌های بزرگ بشری در کنار منابع مهم آب چون نهرها و رودخانه‌ها بزرگ ایجاد شده‌اند. روز به روز که بر تعداد جمعیت دنیا افزوده می‌شود و سطح تمدن و فرهنگ بالا می‌رود و علم و تکنولوژی توسعه پیدا می‌کند، مصرف آب زیادتر می‌شود. امروزه با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و بهداشت، فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی وارد شده است. آب به عنوان یک منبع قابل تجدید، همواره به عنوان یک رکن اصلی توسعه مطرح بوده است و نقش مهمی در توسعه مناطق شهری و روستایی دارد. آبخوان‌های ساحلی یکی از مهمترین ذخائر منابع آب در جهان است (IAH 2003). در بسیاری از کشورها وابستگی تنگاتنگی در مورد استفاده از اینگونه آبخوان‌ها مشاهده می‌شود. در ایران نیز همانند دیگر کشورها وابستگی مشابه‌ای به استفاده از آبخوان‌های ساحلی دارد و بدنبال آن نفوذ آب شور دریا نیز مشکل بالقوه‌ای در آبخوان‌های ساحلی محسوب می‌شود (صداقت ۱۳۸۷).

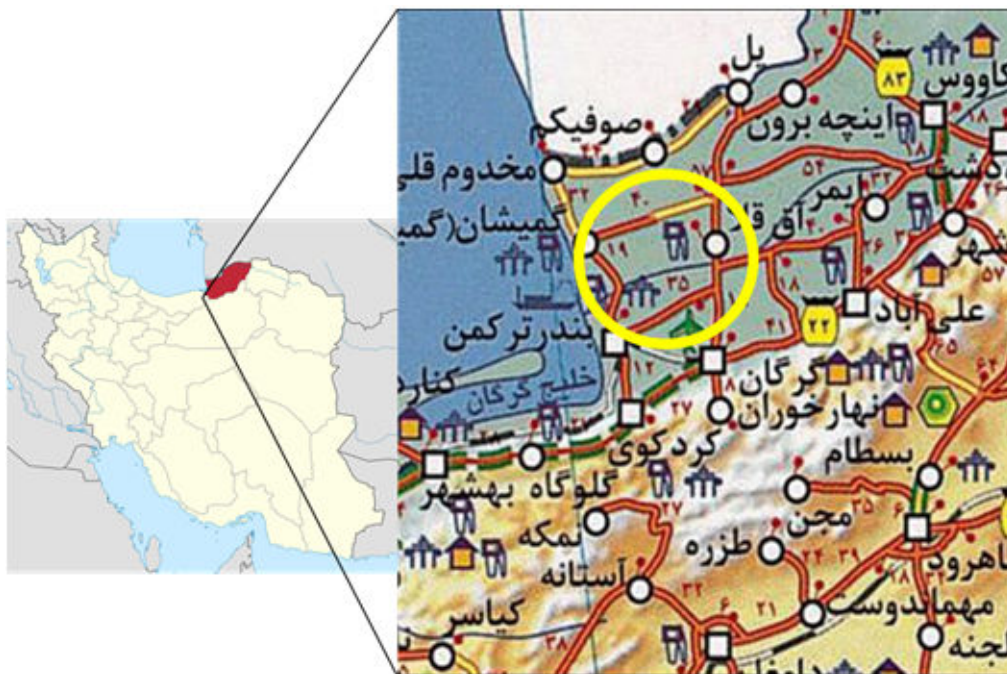
سفره‌ای آب زیرزمینی در نواحی ساحلی دریاها و دریاچه‌های آب شور همواره با خطر پیشرفت و هجوم آب شور مواجه هستند. با توسعه بهره‌برداری از آبخوان‌های ساحلی، پیشرفت و نفوذ آب شور به داخل خشکی افزایش می‌یابد و به تدریج آلودگی سفره‌های آب شیرین را فراهم می‌سازد. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی درحالی‌که افت سطح ایستایی را سبب خواهد شد، نفوذ آب شور را سریع‌تر و در نتیجه باعث نابودی کامل آبخوان آب شیرین می‌شود. در اغلب اوقات جبران خسارات وارد شده کار آسانی نبوده و احتیاج به سالها وقت و صرف هزینه‌های زیادی است. لذا در استفاده از منابع آبهای زیرزمینی مخصوصاً در خطوط ساحلی باید دقت کافی را داشت و مساله نفوذ آب شور به دقت مورد بررسی قرار گرفته و در مورد میزان و نحوه بهره‌برداری تدابیر مناسب و دقیق اتخاذ نمود (Vagosh 2001).

نفوذ آب شور معمولاً با روش‌ها و ابزارهای مختلفی قابل رصد شدن می‌باشد. این روش‌ها شامل حفر چاه‌های اکتشافی و رصد سطح ایستابی چاه‌ها مشاهده‌ای، بررسی و تجزیه شیمیایی مداوم منابع آب زیرزمینی، اندازه‌گیری حرکات جزر و مد و مقایسه آن با تغییرات محل سطح جدایی آب شور و شیرین، روشهای ژئوفیزیک، بررسی‌های زمین‌شناسی و مطالعات ایزوتوپی است (Todd 2005).

دشت قره‌سو در حوضه آبریز قره‌سو در بخش جنوب شرقی استان گلستان واقع شده است. این دشت در مجاورت دریای مازندران قرار گرفته است. دشت قره‌سو از دو سفره آزاد و تحت فشار تشکیل شده است. با توجه به برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی از این دو سفره کیفیت آب زیرزمینی در برخی از نقاط تغییر کرده است که یکی از منابع احتمالی می‌تواند نفوذ آب شور دریا باشد. لذا با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در این منطقه ساحلی، مطالعه کمی و کیفی آنها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به عدم مطالعه جامع در این منطقه، این تحقیق جهت شناخت رفتار هیدروشیمیایی و هیدروژئولوژی دو سفره لازم و ضروری می‌باشد.

۱-۱- موقعیت جغرافیایی حوضه قره‌سو

حوضه آبریز رودخانه قره‌سو در بخش جنوب شرقی استان گلستان واقع شده و در تقسیم بندی کلی هیدروژئولوژی ایران، جزئی از آبریز دریای مازندران به شمار می‌رود. وسعت تقریبی حوضه مورد مطالعه ۱۷۰۰-۱۵۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوضه قره‌سو ۳۲۰۰ متر و وسعت آن ۱۷۸۰ کیلومتر و طول رودخانه اصلی ۱۰۸ کیلومتر برآورده شده است. پوشش جنگلی متراکمی در ارتفاعات وجود دارد که دامنه آن تا ارتفاع حدود ۲۵۰ الی ۵۰۰ متری گسترده می‌باشد. این حوضه از شمال و شرق با حوضه گرگانرود و از غرب با دریای مازندران و از جنوب به ارتفاعات البرز محدود می‌گردد (شکل ۱-۱). از مهمترین شهرهای موجود در این محدوده مطالعاتی می‌توان به شهرهای گرگان، بندر ترکمن، سرخنگلانه و کردکوی اشاره نمود.



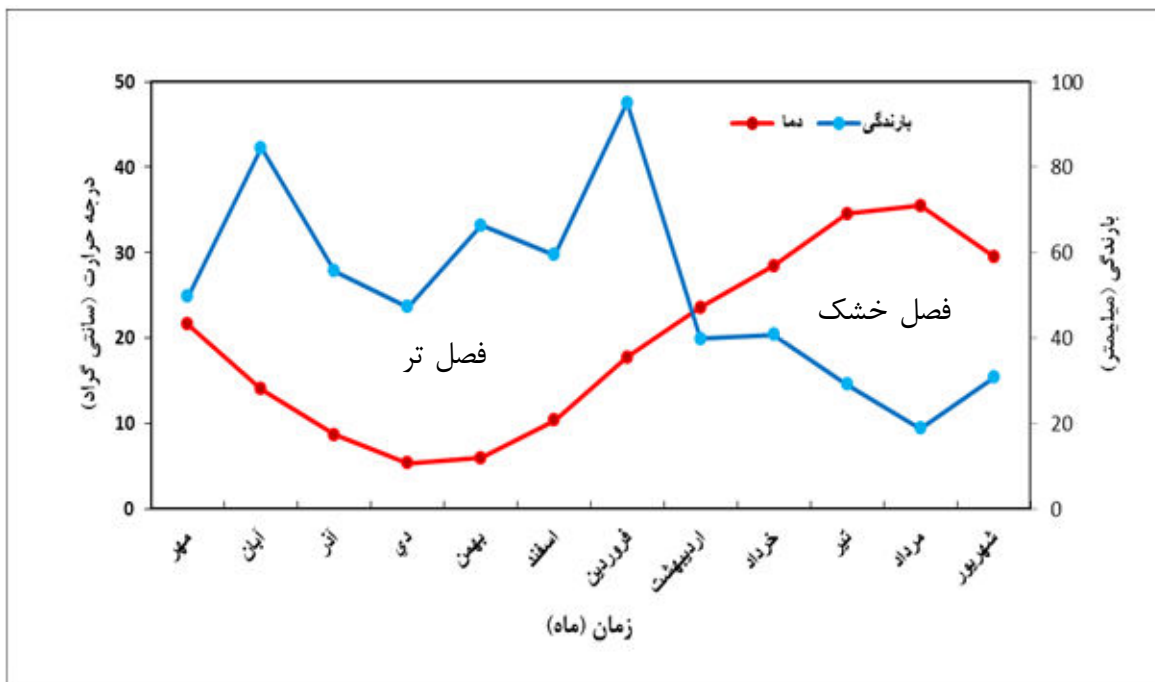
شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه

۱-۳- هواشناسی منطقه

میانگین درجه حرارت در این حوضه $10/78$ درجه سانتیگراد است و بیشترین میزان بارندگی در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهد و میانگین آن 452 میلیمتر در سال می‌باشد (جدول ۱-۱). رطوبت حوضه در فصل سرد به 78 و در فصل گرم به 71 درصد می‌رسد (گزارش شرکت منابع طبیعی گلستان، 1389). با توجه به آمار ارائه شده، نمودار آمبروترمیک برای ایستگاه مورد نظر ترسیم گردید (شکل ۱-۲). با توجه به نمودارهای مذکور، در زمانهایی که میانگین بارندگی بالاتر از میانگین دما است، فصل تر و در غیر این صورت فصل خشک اتفاق می‌افتد. بر طبق این نمودار، فصل تر منطقه تقریباً از مهر ماه تا اردیبهشت ماه بوده و بقیه سال، فصل خشک می‌باشد.

جدول ۱-۱: میزان بارندگی و دما در ماه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

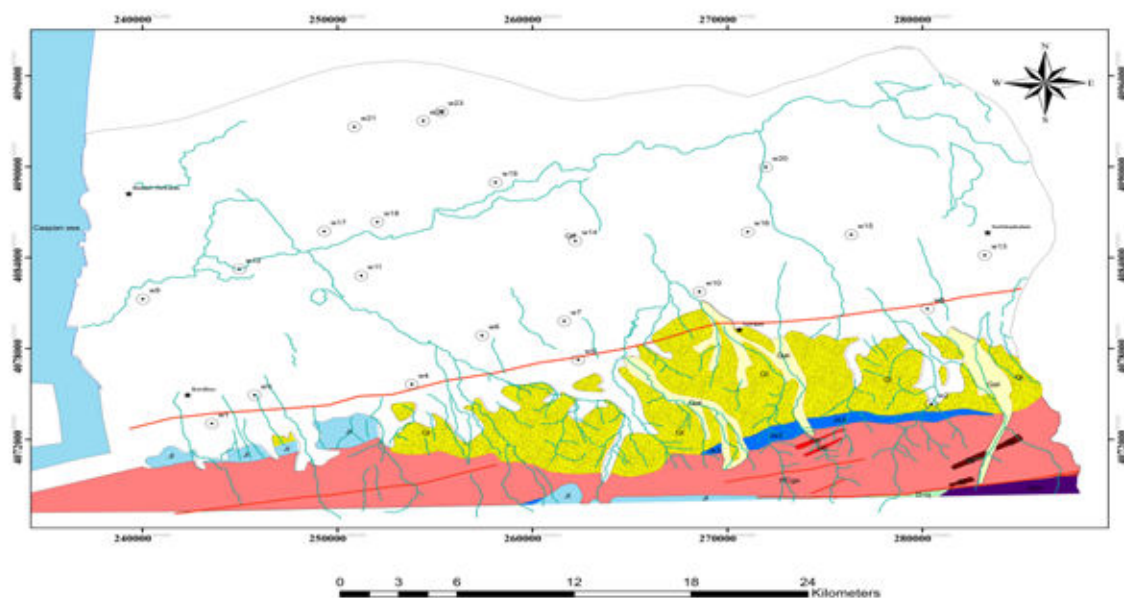
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	سال (ماه)
۵۳/۲۹	۵۱/۳۵	۵۳/۳۴	۴۱/۲۸	۵۷/۲۳	۷۴/۱۷	۳۷/۱	۹۵/۵	۳۶/۵	۶۳/۸	۱۴	۶/۲۱	دما (°C)
۷/۳	۸/۱۸	۱/۲۹	۷/۴	۸/۳۹	۱/۹۵	۵/۵۹	۳/۶۶	۲/۴۷	۶/۵۵	۵/۸۴	۷/۴۹	بارندگی (mm)



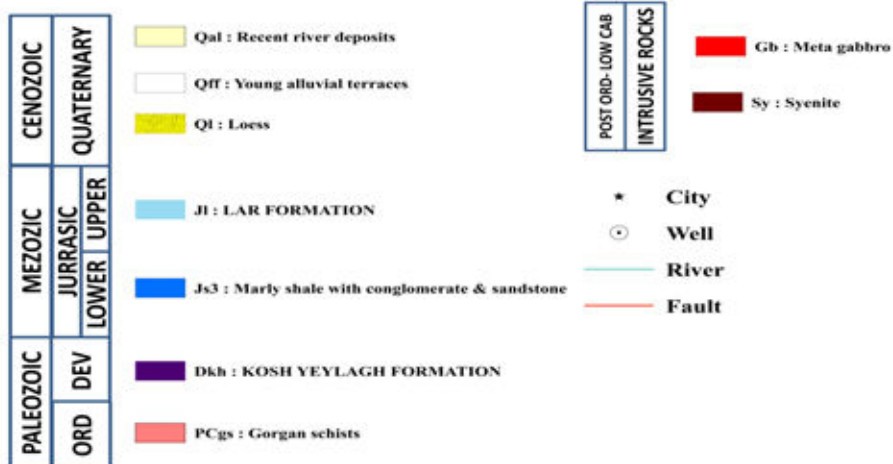
شکل ۱-۲: نمودار آمبروترمیک حوضه قره‌سو

۴-۱- زمین‌شناسی حوضه قره‌سو

حوضه آبریز قره‌سو در زون ساختمانی گرگان-رشت واقع شده است. در شکل (۱-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه نمایش داده شده است. براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه، مهمترین واحدهای رخنمون یافته منطقه عبارتند از نهشته‌های لسی کواترنری، شیست‌های گرگان به سن اردویسین، آهک و آهک دولومیتی و شیل خاکستری تیره به سن دونین، آهک‌های ناپیوسته کربونیفر، آهک و آهک دولومیتی ضخیم تا توده‌ای خاکستری به سن کربونیفر زیرین، سنگ آهک آنکولیتی به سن پرمین زیرین، آهک متوسط لایه تا توده ای با میان لایه مارن به سن پرمین فوقانی، ماسه سنگ خاکستری و شیل به سن ژوراسیک زیرین می‌باشند.



Legend



شکل ۱-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۴-۱: چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه:

❖ سازند لار (ژوراسیک پسین-نئوکومین):

سازند لار که اولین بار توسط آسرتو (۱۹۶۶) معرفی شده است، در مقطع تیپ (دره لار در البرز مرکزی) ردیفی از طبقات نازک تا توده‌ای از آهک را شامل می‌شود که نودول‌ها و نوارهای نازکی از

چرت‌های سفید و بنفش را دارا هستند. مرز زیرین آن بر روی سازند شمشک و مرز بالایی آن با ناپیوستگی هم شیب تا کمی زاویه‌دار در زیر رسوبات کرتاسه بالایی قرار گرفته است.

❖ سازند خوش ییلاق :

به عنوان الگوی سنگی دونین میانی- بالایی البرز شرقی یکی از ستبرترین ردیف‌های دونین البرز به شمار می‌رود که بین سازند آواری پادها و سازند آهکی مبارک قرار دارد و در برش الگوی آن توسط (بزرگ نیا ۱۹۷۳) و در گردنه خوش ییلاق مطالعه و معرفی شده است. بطور کلی این سازند از لحاظ سنگ‌شناسی شامل مجموعه آهک‌های نازک تا متوسط لایه با میان لایه‌هایی از شیل‌های سیاه رنگ؛ مارن و رگه‌های نازک زغال، آهک ماسه‌ای و آهک دولومیتی متوسط تا ضخیم لایه همراه با دیابازهای اسپیلیتی است. روند گسترش این سازند در حوضه قره‌سو شمال شرقی- جنوب غربی بوده و مرز زیرین آن پوشیده و یا بصورت گسلی می‌باشد.

❖ شیست‌های گرگان :

دگرگونی‌های گرگان که مجموعه‌ای از سنگ‌های ولکانوژنیک را به همراه سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی مافیک و حدواسط به نمایش می‌گذارد، نواری به طول تقریبی ۱۱۰ کیلومتر با روند شرقی- غربی در دامنه‌های شمالی البرز و در جنوب گلوگاه تا فاضل آباد را شامل می‌شود که شامل بخش جنوبی حوضه قره‌سو می‌باشد. این مجموعه در بخش جنوبی از یکسو توسط یک راندگی شکل‌پذیر با شیب به سمت شمال و جهت حرکتی به سمت جنوب بروی طبقات رسوبی دونین-کربونیفر رانده شده است (رحیمی ۱۳۸۱).

❖ نهشته‌های آبرفتی بستر رودخانه:

نهشته‌های آبرفتی در بستر رودخانه اصلی مشاهده می‌گردد. واحدهای آبرفتی از فرسایش واحدهای سنگی ارتفاعات جنوبی حوضه سرچشمه گرفته‌اند که در بخش‌های جنوبی و تا حدودی میانی حوضه گسترش یافته‌اند.

❖ نهشته‌های کواترنری:

نهشته‌ای کواترنر جوان‌ترین نهشته‌های موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این نهشته‌ها بصورت رسوب منفصل و یا رسوبات با فشردگی اندک دیده می‌شوند. نهشته‌ای گراولی پلیوکواترنر با فشردگی اندک، قدیمی‌ترین نهشته‌های کواترنری را تشکیل می‌دهند. این رسوبات بصورت دگرشیب سنگ‌های قدیمی را پوشانده‌اند. رسوبات کواترنری شامل لس‌ها، پادگانه‌ها و مخروط افکنه می‌باشد. لس‌ها از سیلت و کمی رس تشکیل شده که به رنگ نخودی روشن دیده می‌شوند. این رسوبات بوسیله باد حمل شده و در ابتدا همانند پتو منطقه را پوشانیده و با گذشت زمان در پشته‌های مسطح تاقدیس‌ها و دامنه‌های کم شیب به صورت کلاهی باقیمانده است.

۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه:

از نظر زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌ساخت، بخش جنوبی استان گلستان که قسمتی از حوضه قره‌سو در زون گرگان - رشت قرار گرفته است.

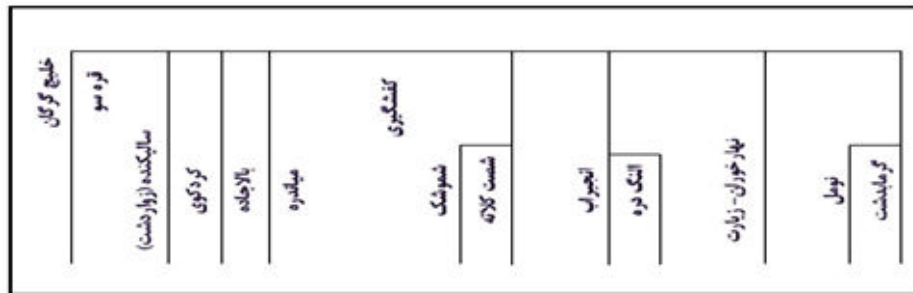
این پهنه بین دو گسل اصلی جنوب البرز (نبوی ۱۳۵۵) و مازندران جنوبی (بربریان ۱۹۸۳) قرار دارد. ساختارهای تکتونیکی، زمین‌شناسی و نحوه گسترش آنها در محدوده مورد مطالعه از روند ساختاری حاکم بر ایالت البرز تبعیت می‌کند. روند اصلی منطقه شرقی - غربی بوده که منطبق با تکتونیک کلی ایالت البرز می‌باشد. البته این روند در بعضی از نقاط بطور خیلی ضعیف به طرف شمال شرقی -

جنوب غربی متمایل شده است. بخش‌های شرقی و شمالی استان، در زون کپه داغ و البرز شرقی واقع می‌شود و شامل رسوبات دریایی- قاره ای با ضخامت ۸۰۰۰ متر و بصورت پیوسته و هم شیب، شامل سنگ‌های آهکی، شیل، مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا و رسوبات تبخیری در زون کپه داغ و سازندهای شمشک و دلیچای در زون البرز است. ساختارهای تکتونیک، زمین‌شناسی و نحوه گسترش آنها در بخش شمالی بطور عمده از روند ساختاری حاکم بر کپه داغ تبعیت می‌کند و لیکن در بخش‌های شرقی از روند ساختاری ایالت البرز تبعیت می‌کند.

فراوانی سیستم‌های شکستگی و درز و شکاف در سنگ‌های صلب فراوان‌تر و مشخص‌تر می‌باشد. از میان رخساره‌های متداول در محدوده‌های مورد مطالعه سنگهای مقاومی نظیر سنگ‌های کربناته (آهکی) و ماسه‌سنگ‌ها که در حوضه از تراکم بالایی برخوردارند دارای گسل خوردگی و شکستگی‌های بیشتری بوده و توسعه سیستم درز و شکاف بر روی آنها از تراکم چشمگیری برخوردار است.

۱-۵- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه یکی از زیرحوضه‌های دشت گرگان محسوب می‌شود. مهمترین رودخانه این حوضه قره‌سو می‌باشد که توسط شاخه‌های گرمابدشت، نومل، زیارت، النگذره، طول چشمه، انجیراب، شصت‌کلاته، کفشگیری، میاندره، بالاجاده، کردکوی و زواردشت که از ارتفاعات جنوبی حوضه سرچشمه می‌گیرند تغذیه می‌شود (شکل ۱-۴). این شاخه‌ها مجموع جریانات سطحی را به شاخه اصلی قره‌سو منتقل می‌کنند که نقش بسزایی در تامین آب شرب، صنعت و کشاورزی منطقه دارد. این جریانات در نهایت از طریق رودخانه قره‌سو به دریای مازندران تخلیه می‌گردند.



شکل ۱-۴: موقعیت نسبی شاخه‌های مربوط به رودخانه قره‌سو

۱-۶- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه:

دشت گرگان یکی از دشتهای وسیع و با اهمیت کشور است که فعالیت کشاورزی در آن از دوره‌های گذشته به علت حاصلخیزی زمین‌ها از رونق بالایی برخوردار بوده و در حال حاضر نیز یکی از قطب‌های کشاورزی کشور محسوب می‌گردد. وسعت زیاد دشت و وجود رودخانه‌های متعدد که از ارتفاعات مشرف به آن سرچشمه می‌گیرند، باعث تشکیل سفره آب زیرزمینی وسیع با توانایی بالا شده است. در حال حاضر بیش از ۲۳ هزار حلقه چاه در حال بهره برداری در دشت گرگان وجود دارد. طبق آخرین آماربرداری در محدوده مطالعاتی گرگان، میزان بهره برداری از آب زیرزمینی توسط چاه‌ها از رقم ۳۶۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۴۶ به ۴۲۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۵۰، به بیش از ۶۹۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۷۵، بیش از ۷۹۷ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۲ و بر اساس آمار به هنگام شده تا پایان سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ به رقم ۱۰۶۵ میلیون مترمکعب رسیده و ارقام تخلیه از قنات‌ها نیز به ترتیب ۴۲/۷، ۷۲، ۸۶، ۱۲۰ مترمکعب می‌باشد. لازم به ذکر است که رواناب، تأمین کننده بخش قابل توجهی از نیازها، به ویژه در بخش کشاورزی می‌باشد. میزان بهره‌برداری از رواناب در حوضه آبگیر قره سو و گرگانرود حدود ۵۲۹ میلیون مترمکعب در سال بوده و مصرف از منابع زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) بیش از ۱۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. به عبارت دیگر حدود ۶۹ درصد از نیازها از طریق منابع آب زیرزمینی و حدود ۳۱ درصد بقیه از آبهای سطحی تأمین می‌شود (جدول ۱-۲). تعداد لایه‌های آبدار در دشت گرگان، در نواحی مختلف، متفاوت بوده به نحویکه در

بخشهای مرکزی ۶ تا ۸ لایه تحت فشار و در برخی موارد تا ۱۰ لایه آبدار تا عمق ۵۷۰ متری گزارش گردیده است. ضخامت آبخوان آبرفتی در نواحی مخروط افکنهای زیاد و به سمت شمال از میزان آن کاسته می‌گردد. حداکثر ضخامت به میزان بیش از ۲۵۰ متر در بخش مرکزی و مخروط افکنه‌ای و حداقل آن در حاشیه شمالی و شمال غربی در حدود کمتر از ۱۰ متر است و ضخامت متوسط آبخوان آبرفتی دشت گرگان، حدود ۱۰۰ متر می‌باشد.

جدول ۱-۲: میزان تغذیه و تخلیه منابع آب زیرزمینی در آبخوان های آبرفتی دشت گرگان (مهندسین مشاور کنکاش عمران ۱۳۸۷)

تخلیه کل سالانه (Mm ³)	چشمه		قنات		چاه		نوع آبخوان
	تخلیه (Mm ³)	تعداد	تخلیه (Mm ³)	تعداد	تخلیه (Mm ³)	تعداد	
۵۱۳/۸۰	۵/۰۶	۴۷	۴۲/۳۴	۱۵۵	۴۶۶/۴۰	۱۷۶۲۸	آزاد
۵۷۶/۲۹۸	-	-	-	-	۵۷۶/۲۹	۵۳۹۱	تحت فشار

فصل دوم

هروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی، در بسیاری از نقاط کشورمان سهم عمده‌ای در تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت دارا می‌باشد. مطالعه آب‌های زیرزمینی و شناخت منابع تخلیه و تغذیه کننده آبخوان به منظور مدیریت مناسب و هدفمند و جلوگیری از اثرات زیان آور ناشی از برداشت بی‌رویه ضروری می‌باشد. شرایط کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی به عوامل مختلفی بستگی دارد. شدت اثر هر یک از این عوامل در مناطق مختلف متفاوت است. در این فصل به بررسی عوامل تاثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی پرداخته خواهد شد.

۲-۲- عوامل موثر بر کمیت آب زیرزمینی

اصولاً بارندگی تأثیر زیادی بر کمیت آب زیرزمینی می‌گذارد. مقدار آب حاصل از بارندگی که به درون زمین نفوذ می‌کند و باعث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود به عوامل مختلفی از جمله جنس زمین، بافت خاک، رطوبت اولیه خاک و مقدار هدایت هیدرولیکی خاک بستگی دارد. بیان کمیت آب‌های زیرزمینی انعکاس دهنده اهمیت و ارزش آن در ارتباط با دیگر اجزا در چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد. با توجه به شرایط آب و هوایی کشور ایران، بطور کلی بخش قابل توجهی از منابع آب قابل بهره‌برداری بی‌رویه و بیش از حدی که از این منابع صورت می‌گیرد، می‌طلبد که مدیریت بهره‌برداری اصولی‌تری براین منابع صورت گیرد.

عوامل زیادی بر کمیت آب‌های زیرزمینی تاثیرگذار هستند. این عوامل یا در اثر پدیده‌های طبیعی مانند خشکسالی، تغذیه ناشی از بارندگی و نفوذ آب‌های سطحی و یا ناشی از فعالیت‌های انسانی از قبیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی یا تغذیه مصنوعی به لایه‌های آبدار می‌باشند. بارندگی‌ها و خشکسالی از مهمترین رویدادهای اقلیمی بوده که آثار کوتاه مدت و بلندمدت بر منابع آب زیرزمینی در دسترس دارند. در بیشتر موارد، اثر توأم این عوامل کمیت آب‌های زیرزمینی را در یک منطقه تعیین می‌کند.

۲-۱-۲- تاثیر بارندگی و خشکسالی بر کمیت آب زیرزمینی

بارندگی در هر منطقه با توجه به داشتن شرایط لازم می‌تواند تاثیر بسزایی در مقدار آب موجود در آبخوان‌ها داشته باشد. تاثیر بارندگی‌ها در کمیت آب‌های زیرزمینی امری بدیهی است و عامل تعیین کننده‌ای در میزان تغذیه آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. کمبود بارش در تمام سیستم هیدرولوژیکی باعث می‌شود که خشکسالی در منطقه غیراشباع، اشباع و آب‌های سطحی رخ دهد. خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخدادهایی است که هر ساله خسارت‌های زیادی را باعث می‌شود. این پدیده از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده تمامی اقلیم‌ها به شمار می‌آید. اثرات خشکسالی صرفاً به نواحی خشک و نیمه خشک محدود نبوده و می‌تواند اثرات زیان آوری بر منابع آب زیرزمینی هر منطقه داشته باشد. از خشکسالی به‌عنوان بی سرو صداترین بلای طبیعی نام برده می‌شود. این در حالی است که خطر و خسارت ناشی از خشکسالی به مراتب بیشتر و گسترده‌تر از سایر بلایای طبیعی نظیر سیل، آتشفشان و حتی زلزله است. از نقطه نظر هیدرولوژیکی زمانی به وقوع می‌پیوندد که نه تنها نزولات جوی بلکه جریان رودخانه، رواناب سطحی و آب ذخیره شده نیز با کمبود روبرو شود. براساس تعریف هیدرولوژیست‌ها؛ خشکسالی به دوره ای گفته می‌شود که جریان رودخانه‌ها به کمتر از مقدار طبیعی رسیده و رواناب یا ذخیره منابع به شدت کاهش یافته و علت همگی موارد بارندگی کمتر از حد طبیعی، تبخیر بیش از حد و یا کاهش تجمع برف است (روشندل ۱۳۹۱). به منظور مدیریت بهینه و آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی لازم است از

نوسانات سطح آب زیرزمینی بررسی‌های دقیقی صورت گرفته و برای یافتن اثرات بارندگی و بررسی تغییرات آن بر روی سطح آب زیرزمینی ضروری باشد.

شهید و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر خشکسالی و کمبود بارش را در شمال غرب منطقه بنگلادش مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که هرساله در این منطقه کاهش سطح آب دیده می‌شود. تحلیل هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و سری زمانی بارندگی نشان داد که برداشت زیاد از آب زیرزمینی و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشد و عامل عمده در ایجاد خشکسالی و کمبود آب اگر دخالت انسان نباشد را می‌توان به کاهش بارندگی نسبت داد. عزیزی (۱۳۸۲) در دشت قزوین به منظور بررسی ارتباط بین خشکسالی‌های اخیر و منابع آب‌های زیرزمینی از داده‌های بارش و آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که خشکسالی در آب‌های زیرزمینی با دو الی سه ماه تاخیر نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی بروز می‌کند. چیت‌سازان و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تاثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی دشت خویس در شمال خوزستان پرداختند. آنان جهت تحلیل زمانی از هیدروگراف واحد دشت و جهت تحلیل مکانی از سامانه اطلاعات جغرافیایی و جهت بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی از کموگراف دشت استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها موید تاثیر خشکسالی اخیر روی نزول سطح آب زیرزمینی و پایین آمدن کیفیت آبخوان مورد مطالعه بود.

کلانتری و ارشد (۱۳۹۱) به بررسی تاثیر خشکسالی به بررسی تاثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت آبخوان دشت چاهگاه با استفاده از ترسیم هیدروگراف واحد دشت، بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۵ به کمک نرم افزار GIS و تعیین هدایت الکتریکی (EC) پرداختند. با توجه به هیدروگراف ۵ ساله دست چاهگاه نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی در طی این دوره حدود ۲ متر افت داشته است. از جمله عوامل اساسی افت سطح آب، کاهش نزولات جوی و بهره برداری بی‌رویه می‌باشد. بنابراین عوامل اقلیمی به ویژه کمبود بارندگی در

درجه اول باعث کاهش تغذیه از سطح زمین و در نهایت منجر به افت سطح آب زیرزمینی و تخریب کیفیت آن شده است.

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

با توجه به کمبود منابع آب سطحی و نیز رشد سریع جمعیت و گسترش شهرنشینی، منابع آب زیرزمینی نقش مهمی را در زندگی بشر امروز ایفا می‌نمایند. از آنجا که فعالیت‌های انسانی در بسیاری از موارد به توازن موجود در طبیعت آسیب وارد می‌کند، پمپاژ بیش از حد از سفره آب زیرزمینی، پیامدهای زیست محیطی فراوانی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین و ایجاد درز و شکاف در سطح زمین را به دنبال دارد. همچنین برداشت بی‌رویه از چاه‌های کشاورزی اطراف دریاچه علاوه بر کاهش سطح آب زیرزمینی و شوری بیشتر آب باعث حرکت آب زیرزمینی به سمت چاه‌های اطراف شده است. در صورتیکه حجم آب خروجی از آبخوان‌ها از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق یا خروجی‌های طبیعی بیشتر از حجم ورودی آن شود؛ سطح آب سفره پایین می‌افتد و اگر در فصول غیرزراعی آبهای ورودی ناشی از نفوذ رواناب‌های سطحی و تغذیه‌های طبیعی، افت به وجود آمده در سفره را جبران نکند، سفره با کسری حجم مخزن روبرو می‌شود و در صورت تکرار این روند در سال‌های بعد آبخوان با خطر نابودی مواجه می‌گردد. با بررسی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت سیرجان توسط عباس نژاد و شاهی (۱۳۹۲) پیامدهای ناشی از برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی را ارزیابی و شناسایی کردند. بدین منظور کلیه اطلاعات هواشناسی، هیدروژئولوژیکی، زمین شناسی و جغرافیایی منطقه جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شده است. نقشه‌های کیفیت شیمیایی و هم‌عمق سطح آب رسم و پس از آن اضافه برداشت؛ افت سطح ایستابی، کسری مخزن و تغییرات شوری آب زیرزمینی منطقه به کمک نرم افزار ArcGIS در قسمت‌های مختلف دشت محاسبه گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی دشت، پیامدهایی همچون تغییر

کیفیت آب زیرزمینی، افزایش آسیب پذیری دشت نسبت به خشکسالی، از بین رفتن اکوسیستم منطقه و خشک شدن باغات و... را نیز به دنبال داشته است. رین و فارست (۲۰۱۲) روند تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی در ۶۷ چاه در بریتیش کلمبیا را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که ۴/۳۴ درصد از این چاه‌های مورد بررسی دارای روند کاهشی در سطح آب بوده‌اند. همچنین ۶ درصد از چاه‌ها روند افزایشی و ۶/۵۹ درصد از چاه‌ها تغییرات زمانی قابل ملاحظه‌ای در تراز سطح آب زیرزمینی نداشته‌اند. دلیپ و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی برای شناختن و یافتن روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه اوريسا هند و تاثیر خشکسالی و دخالت بشر از روش‌های آماری ناپارامتری من- کندال استفاده کرده‌اند. نتایج آنها نشان داد که افت سطح آب به علت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت انسان نتوانسته در طول سال‌های مرطوب با وجود تغذیه آبخوان جبران شود. جهانشاهی نوکنده و کرمی (۱۳۹۴) با بررسی داده‌های سی ساله آب دشت گرگان از نظر کمی در ۲۸۹ پیژومتر نشان دادند که سطح آب زیرزمینی در این دشت از سال ۶۳ تا ۸۰ روند نزولی داشته و مقدار ۲۳/۱۲ متر در این مدت افت کرده است. اما از سال ۸۰ تا ۹۲ روند صعودی داشته و افت سطح آب جبران شده است. بطور کلی تغییرات طولانی مدت سطح آب در این دشت افت نسبتاً کمی در حدود یک متر را نشان می‌دهد.

۲-۳- عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی

در مطالعات منابع آب، به همان اندازه که کمیت مهم می‌باشد کیفیت نیز حائز اهمیت است. زیرا عمده فعالیت‌های آبشناسی در تامین آب برای جمعیت به جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد. به طور کلی، کیفیت آب زیرزمینی و تغییرات آن توسط فرآیندهای طبیعی شامل لیتولوژی، سرعت جریان آب زیرزمینی و زمان ماندگاری، مقدار و کیفیت آب تغذیه شده به آبخوان، برهم‌کنش آب زیرزمینی با دیگر آبخوان‌ها، شرایط اکسیداسیون و احیا حاکم بر سفره و خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کنترل می‌گردد (Richter and Kreitler 1993, Vengosh 2005).

کوپر (Copper 1995) بیان کرد که حرکت آب شیرین به سمت ساحل باعث جریان حلقه‌های آب شور دریا شده و این سبب ایجاد یک زون اختلاط بین این دو آب می‌گردد. این زون اختلاط به عنوان بخشی از سفره شناخته می‌شود که در آن شوری به تدریج با کاهش عمق درون سفره و به سمت ساحل افزایش می‌یابد (Wicks and Herman 1995). قره محمودلو و ناصری (۱۳۸۷) به بررسی نفوذ آب شور در آبخوان شهر ساری به کمک روش‌های هیدروشیمیایی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در برخی مناطق آب شور به آبخوان ساحلی نفوذ کرده است. فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی، صنعت، توسعه شهری، تخلیه فاضلاب‌ها و بهره‌برداری بیش از حد از سفره آب زیرزمینی تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Chan 2001). در سال‌های اخیر، شور شدن و کاهش کیفیت آب زیرزمینی به یکی از مشکلات محیطی جدی در سرتاسر جهان تبدیل شده است. این موضوع بر اهمیت مدیریت مناسب مصرف آب زیرزمینی می‌افزاید (Knuth et al. 1990).

۲-۳-۱- اثر سازندهای زمین‌شناسی و نفوذ آب شور در کیفیت منابع آب

شیمی آب زیرزمینی در هر منطقه به نوع سنگ‌هایی بستگی دارد که آب از درون آنها عبور می‌کند. عبور آب از سازندهای دربرگیرنده با لیتولوژی مختلف باعث انحلال در سازندها در مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی می‌شود که بالتبع باعث ایجاد تغییرات فیزیکوشیمیایی در آب زیرزمینی می‌گردد. مهمترین سنگ‌هایی که در تماس با آب زیرزمینی دچار انحلال می‌شوند کانی‌های تبخیری هستند. انحلال کانیهای تبخیری همچون ژپس و هالیت و سنگ‌های کربناته همچون آهک و دولومیت سبب از بین رفتن کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. منشایابی و تعیین علل شوری آب زیرزمینی نیز از جمله اقدامات محققان بوده که مطالعه کلانتری و علیجانی (۱۳۸۷) در دشت عباس در استان خوزستان از آن جمله است. برای ارزیابی کیفی آب زیرزمینی نمونه‌برداری از آب ۳۱ حلقه چاه بهره‌برداری عمیق در دوره اردیبهشت و مهرماه صورت گرفت و جهت تعیین یون‌های عمده آن مورد تجزیه شیمیایی قرار دادند. با توجه به اینکه عوامل مختلفی کیفیت آب زیرزمینی دشت عباس را تحت تاثیر قرار

می‌دهند، ولی بطور عمده متاثر از لیتولوژی بوده که در معرض شوری قرار دارد. به لحاظ ژئوشیمیایی، مسیرتکاملی در ارتباط با انحلال کانیهای تبخیری ژپیس و هالیت می‌باشد که سبب شوری بیش از حد آب‌های زیرزمینی دشت عباس شده است. قندی و اصغری مقدم (۱۳۸۴) با مطالعه زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروشیمی دشت تسوج و آنالیز بیش از ۶۰ نمونه آب از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات به این نتیجه رسیدند که عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی به ترتیب اهمیت سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی، آب برگشتی حاصل از آبیاری، شوری چرخه‌ای، شیب هیدرولیکی و دانه‌بندی رسوبات آبخوان ارتباط دادند. با توجه به بررسی‌ها، سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی در شمال و شمال غربی منطقه و همینطور در قسمت‌های غربی دشت بسیار موثر عمل کردند، درحالی‌که در جبهه ورودی آب زیرزمینی در قسمت‌های شرقی، شیب هیدرولیکی و ساختمان زمین‌شناسی و در مناطق مرکزی آب برگشتی کشاورزی از عوامل موثر غالب در کیفیت آب زیرزمینی بودند. با نفوذ آب‌های سطحی به درون آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی بطور غیرمستقیم از رخنمون‌های سطحی تاثیر گذار بر آب سطحی تاثیر می‌پذیرد. زارعی و اژدری (۱۳۸۴) در تحقیق خود برای ارزیابی کیفیت منابع آب و تاثیر سازند گچساران بر آن در اردیبهشت ماه ۱۳۸۴ از منابع آب سطحی و زیرزمینی نمونه‌برداری کردند. نتایج نشان داد که علی‌رغم وجود چندین چشمه کارستی با دبی بالا و کیفیت عالی در سرشاخه‌های رودخانه ابوالفارس، آب این رودخانه از نظر شرب مناسب نبوده و ساکنین با مشکل آب شرب مواجه هستند. آنها دلیل این امر را به عبور آب‌های سطحی از سازند تبخیری گچساران نسبت دادند. ولی‌پور و همکاران (۱۳۸۶) روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس آباد استان قم مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده آنها نشان داد که طی ۴۷ سال گذشته، وسعت اراضی ۹ برابر افزایش یافته است که کشاورزی در منطقه و به تبع آن افزایش برداشت آب از منابع زیرزمینی را به همراه داشته و موجب افت سطح آب این ناحیه و نهایتاً افزایش شوری شده است. فاریابی و همکاران (۱۳۸۹) به منظور ارزیابی کیفی آب زیرزمینی در دشت جیرفت از تلفیق روش‌های آماری مانند تجزیه خوشه‌ای و ضرایب همبستگی و روش‌های هیدروشیمیایی مانند نسبت یونی و نمودارهای

ترکیبی استفاده کردند. نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای گروه‌بندی و نمونه‌های مشابه شناسایی شده است. براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، نمونه‌های آب زیرزمینی در چهار گروه قرار گرفتند که در هرگروه دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی است. از نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی برای تعیین عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی استفاده گردید. براساس نتایج فرآیندهایی مانند انحلال ژپس، هالیت، سولفات‌های سدیم دار، هوازگی پلاژیوکلازها غنی از سدیم و تبادل یونی بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارد. جعفری وهمکاران (۱۳۹۰) در مطالعه خود ضمن بررسی‌های هیدروژئولوژی به بررسی هیدروشیمی آبخوان جیرفت برپایه آنالیز شیمیایی ۴۰ نمونه آب زیرزمینی پرداختند و پارامترهای شوری، اسیدیته، مقدار کل املاح در آب، دمای آب، مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب اندازه‌گیری و نقشه‌های هیدروشیمی ترسیم شد. آبخوان دشت جیرفت سیستمی متشکل از لایه‌های آبدار، تراوا و ناتراوا است که درون یک گودافتادگی ناودیدی بوجود آمده است. شمال و شمال شرق این دشت قسمتی از زون ارومیه- دختر است و در قسمت غربی دشت، مجموعه‌های دگرگونی زون سنندج- سیرجان قرار دارند. تکتونیک فعال کواترنر در این دشت و عملکرد گسل سبزواران تاثیر مستقیم بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی در دشت داشته است. شهبازی و سادات فیض‌نیا (۱۳۹۰) مطالعاتی را بر روی حوضه آبریز چشمه علی دامغان انجام داده‌اند. در این مطالعه لایه‌های مختلف اطلاعاتی بصورت نقشه‌های رقومی تهیه و تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر تغییرات کیفی آب تجزیه و تحلیل گردید. نتیجه‌ی آزمایش‌ها نشان داد که عامل اصلی تخریب کیفیت آب سطحی؛ مارن‌های نفوذ می‌باشند که بیشترین گسترش را در غرب حوضه دارند. احمدی و تلخابو (۱۳۹۲) به بررسی کیفیت آب حوضه آبریز رودخانه دائمی گدارچای با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی ۵۳ نمونه آب زیرزمینی پرداختند. بررسی لیتولوژی سنگ‌های در برگیرنده نشان داد که گسترش سنگ‌های کربناته در شمال و شمال غرب محدوده باعث گردیده که این آب‌ها نسبت به کانیهای کربناته از قبیل کلسیت و آراگونیت اشباع بوده که نشان دهنده تاثیر احتمالی لیتولوژی سنگ‌های در برگیرنده بر روی شیمی آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

نفوذ آب شور یکی از گسترده ترین و مهمترین فرآیندهایی می باشد که منجر به کاهش کیفیت آب در سطوح پایین تر از استانداردهای آب شرب و آبیاری می گردد. کرمی (۱۳۹۲) به بررسی هجوم آب شور از کویر مرکزی به آبخوان اسفراین در خراسان شمالی پرداخته است که پس از نمونه برداری از چاه های منطقه و با تلفیق تمامی اطلاعات علت اصلی هجوم آب شور در این آبخوان، افت بیش از حد سطح آب های زیرزمینی در نتیجه برداشتهای بی رویه از آبخوان ذکر گردید.

محبی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور شناخت منابع شوری آب زیرزمینی دشت کهریز از منابع آب زیرزمینی (چاه، چشمه، قنات) در شهریورماه سال ۱۳۹۱ نمونه برداری کردند. برای نمونه آب زیرزمینی شاخص های اشباع محاسبه شد که نشان می دهد، کانیهای ژئوس و هالیت نسبت به آب زیرزمینی کل منطقه غیراشباع هستند. در این تحقیق جنس لایه های زمین شناسی و عوامل موثر دیگر مورد مطالعه قرار گرفت که با توجه به بررسی های انجام شده بیشترین عامل تاثیرگذار بر کیفیت و شوری آب منطقه نفوذ آب دریاچه ارومیه می باشد.

با شناسایی و ارزیابی منابع شوری در دشت ها و آبخوان های آبرفتی می توان به این نتیجه رسید که علت اصلی افزایش شوری آب عمدتاً در اثر وجود آب های فسیلی ساکن و نفوذ آب دریا به این آبخوان می باشد (Purnama and Marfai 2012).

زارعی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی های خود تحت عنوان شناخت منابع شوری با استفاده از خصوصیات هیدروشیمی، نشان دادند که عبور یک گسل عمیق از منطقه مورد مطالعه امکان نفوذ آب های شور از میدان های نفت و گاز، آب های زمین گرمایی و شوراب های عمیق حوضه را از اعماق به سفره های آب فراهم می کند.

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

بهره برداری متعادل و معقولانه از آب های زیرزمینی منجر به استفاده پایدار و رعایت نکردن بهره برداری نامتعادل سبب نابودی این منابع می شود. استحصال بی رویه آب های زیرزمینی بر کیفیت آب تاثیرگذار

است. تخلیه بیش از میزان تغذیه طبیعی یا مصنوعی آبخوان پیامدهای سو و جبران ناپذیری را به دنبال دارد.

میرعباسی و همکاران (۱۳۸۶) افت سطح آب زیرزمینی و اثر آن بر کیفیت آب زیرزمینی دشت سیرجان را ارزیابی کردند. متوسط افت سالیانه سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۴، ۷۰ سانتیمتر در سال بوده است. از آنجاییکه دشت سیرجان در مجاورت کفه نمک قرار دارد، افت سطح آب زیرزمینی در این آبخوان باعث پیشروی سفره آب شور به سمت آبخوان سیرجان شده که باعث افت کیفیت آب زیرزمینی در قسمت‌های بزرگی در این دشت گردیده است. نتایج نشان داد که دلیل هجوم آب شور در آبخوان سیرجان، افت سطح آب زیرزمینی است که منجر به اثرات نامطلوبی بر محیط زیست منطقه گردیده است.

اژدری و کاظمی (۱۳۹۳) 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 انتخابی 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 و افت ۱۱ متری شده است. که این مقدار افت معادل کاهش ۲۱۶ میلیون مترمکعب آب ذخیره آبخوان می‌باشد. با توجه به مطالب مذکور، می‌توان در نهایت به این نتیجه رسید که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی عامل اصلی افت در سطح آب بسیاری از دشت‌های کشور و جهان می‌باشد. برداشت بیش از حد در کنار کمبود بارندگی‌ها و خشکسالی‌ها باعث افت کمی و همچنین تغییرات کیفی در منابع آب زیرزمینی می‌شود با برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه در استفاده از این منابع آب زیرزمینی می‌توان تا حدودی این منابع را احیا کرد.

ولایتی (۱۳۸۱) در مطالعه‌ای بر روی آبخوان دشت جنگل که در بررسی تاثیر برداشت آب از چاه در شورشدن آبخوان دشت جنگل به این نتیجه رسید که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۶۶ از ۵۰۰ به ۶۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر تغییر کرده است که ناشی از اضافه برداشت

می‌باشد. ترابی (۱۳۸۰) در بررسی روند شور شدن آب‌های زیرزمینی دشت کاشان و به تبع آن شور شدن اراضی تحت آبیاری توسط این منابع نشان داد که متوسط سطح ایستابی طی سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۴۴ حدود ۱۶ متر افت داشته و هدایت الکتریکی متوسط منطقه در مدت مشابه از حدود ۴۵۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر تا ۶۹۳۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغییر است. علت عمده این موضوع را برداشت بیش از حد از منطقه دانست. محمودآباد و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی افت سطح ایستابی در شوری آب‌زیرزمینی منطقه زید آباد سیرجان نشان داد که افزایش شوری آب‌زیرزمینی به علت افزایش افت سطح آب زیرزمینی می‌باشد. هراسی و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی بر اثر افت سطح ایستابی دشت آذرشهر را بررسی کردند. بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در منطقه، افت شدید سطح ایستابی و افزایش شوری آب و عوارض کم آبی برای این دشت را در پی داشته است. با استفاده از نقشه‌های هم ارزش EC, Cl, SO_4 جهت جریان و کموگراف دشت آذرشهر ملاحظه گردید میزان این موارد با گذشت زمان افزایش یافته است. مطالعات انجام شده بر روی تغییرات کیفی آبخوان منطقه مورسیا، واقع در جنوب شرق اسپانیا؛ نشان داد که کاهش سطح ایستابی در آبخوان مورسیا منجر به کاهش ذخیره آبخوان، خشک شدن چاه‌ها، چشمه‌ها و یا کاهش دبی آنها، افزایش عمق آب و در نهایت تغییر در تیپ آب زیرزمینی از سدیم - بی‌کربنات به سدیم - کلرید شده است (Rodriguez 2012).

۲-۳-۳- نقش سایر عوامل طبیعی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی

منظور از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان، خصوصیات نظیر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، عمق سطح ایستابی، نوع آبخوان، عمق آبخوان و ... می‌باشد. این خصوصیات با تاثیرگذاری بر روی سرعت جریان آب زیرزمینی، زمان ماندگاری آب در آبخوان و مقدار مسافتی که آب در زون غیراشباع طی می‌کند تا به سطح ایستابی برسد، روند واکنش آب و سنگ و در نتیجه کیفیت آب زیرزمینی را کنترل می‌کنند. با مطالعه و بررسی خصوصیات هیدروشیمی سفره آب‌زیرزمینی منطقه تنکابن توسط

کلانتریان و کرمی (۱۳۸۸) مشخص شد که علی رغم وجود پتانسیل‌های آلاینده بسیار زیادی که در منطقه وجود دارد از جمله گسترش اراضی کشاورزی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی، دانه درشت بودن رسوبات پوشاننده سفره و قرارگیری سفره آب زیرزمینی در کنار دریای مازندران آلوده نیست و آن هم به این دلیل است که بر اثر بارندگی زیاد و نرخ کم رواناب، نرخ تغذیه سالیانه به سفره آب زیرزمینی بالا می‌باشد و از طرفی دیگر زمان ماندگاری آب به دلیل دانه درشت بودن رسوبات پوشاننده سفره کوتاه است، در نتیجه غلظت عناصر محلول در آب بیشتر از حد مجاز نمی‌باشد.

۲-۳-۴- اثر پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری، صنعتی بر کیفیت آب زیرزمینی

فعالیت‌های بشر در زمینه‌های کشاورزی، صنعت و شهری پتانسیل بسیار بالایی برای آلوده نمودن این منابع داشته، باعث تقلیل کیفیت آنها می‌گردد. آلودگی‌های مختلف انتشار یافته در سطح آب‌های زیرزمینی دارای مضرات زیست محیطی فراوان بوده که مستقیماً زندگی بشر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از جمله این تاثیرات می‌توان به آلودگی آب شرب مصرفی و محصولات مختلف کشاورزی و مسمومیت‌های ناشی از استفاده آنها، همچنین به از بین رفتن آبزیان در سطح مناطق مختلف اشاره کرد. شمعانیان و همکاران (۱۳۸۴) به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و احتمال آسیب‌پذیری آن به منابع آلودگی حوضه گرگانرود- قره‌سو در استان گلستان از نرم افزار GIS استفاده کردند. براساس داده‌های زمین‌شناسی، کاربرد اراضی، توپوگرافی و ترکیب شیمیایی نمونه‌های ۸۴ چاه به این نتیجه رسیدند که یون‌های اصلی مانند مقادیر کلراید و سولفات و فعالیت‌های کشاورزی به ترتیب مهمترین آلاینده‌ها و منابع آلودگی در این حوضه هستند. بخش‌های شمالی و شمال غربی حوضه مورد مطالعه به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی از مناطق آسیب پذیر در برابر منابع آلودگی مانند نفوذ پساب‌های شهری و روستایی، چاه‌های جذبی و فعالیت‌های کشاورزی است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۸) میزان تاثیر دفع فاضلاب صنعت فولاد، نشت آن به کانال زهکش منطقه و آب چاه‌های زیرزمینی منطقه زرین‌شهر را مورد بررسی قرار دادند. با بررسی پارامترهای EC, pH, COD, TDS و

فلزات سنگین به این نتیجه رسیدند که بالابودن غلظت پارامترها نسبت به میزان توصیه شده در استانداردها نشان دهنده تخلیه نادرست فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی به آب چاه‌های منطقه و درنهایت آلوده شدن آب زیرزمینی منطقه شده است. روحی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از نتایج سنجش شیمیایی منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت الباجی، عوامل و فرآیندهای مختلف تاثیر گذار برکیفیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. جهت ارزیابی مشخصات کیفی از روش‌های گرافیکی و نقشه‌های ضروری استفاده کردند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که عوامل متعددی از جمله شرایط حوضه رسوبگذاری مواد سازنده لایه آبدار، واکنش آب با مواد آبرفتی دشت، تبخیر از آب زیرزمینی، آب برگشتی کشاورزی و تغذیه از رودخانه کرخه؛ کنترل کننده کیفیت آب زیرزمینی دشت می‌باشند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که عامل اول نسبت به سایر عوامل غالب می‌باشد.

فصل سوم

روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

در این فصل کلیه کارهایی که جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی در آبخوان حوضه آبریز قره‌سو انجام شده است، به طور مختصر ارائه می‌شود. بطور کلی فعالیت‌های صورت گرفته برای انجام این تحقیق را می‌توان به شرح زیر دسته بندی نمود:

۱. جمع آوری اطلاعات و داده های دشت قره‌سو در رابطه با کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی از طریق آب منطقه‌ای استان گلستان.

۲. تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ گرگان با استفاده از نرم افزار

ArcMap10.2 .

۳. نمونه‌برداری از منطقه بصورت تصادفی برای صحت‌سنجی داده‌های آب منطقه‌ای گرگان.

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

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

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

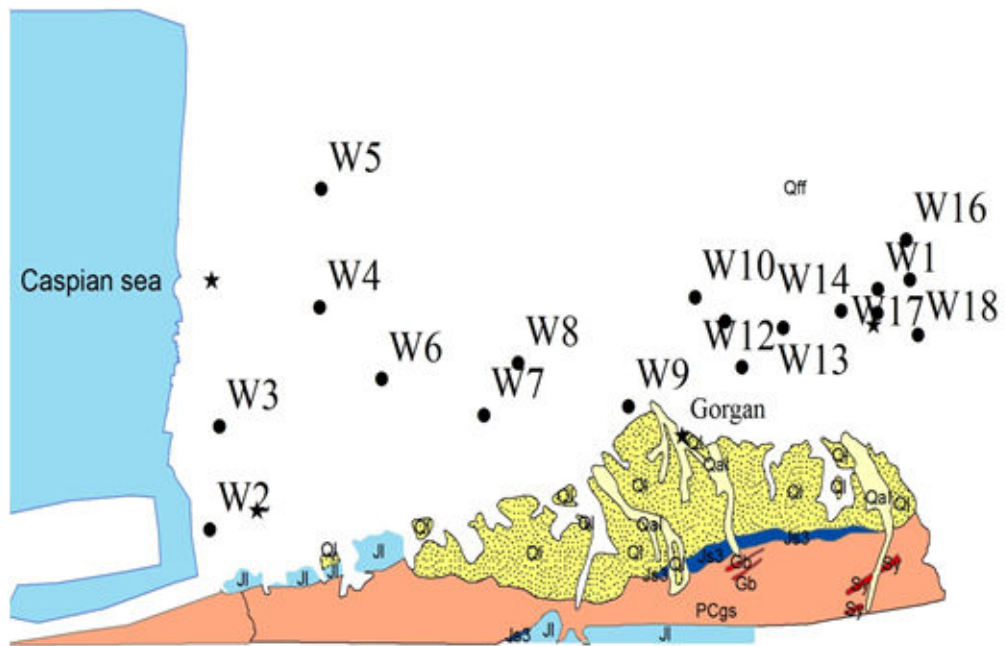
وجود داده‌های کیفی و کمی قدیمی می‌تواند اطلاعات خوبی را در جهت شناخت تکامل و پویایی سیستم آب زیرزمینی بدهد. جمع آوری اطلاعات موجود، اولین گام در بررسی یک آبخوان می‌باشد. به این منظور اطلاعات هیدروشیمی بلندمدت از آنالیز ۱۸ حلقه چاه در سفره آزاد و ۲۳ حلقه چاه در سفره محبوس و داده‌های سطح آب ۱۶ حلقه پیزومتر از سازمان آب منطقه‌ای گلستان تهیه گردید.

۳-۳- تهیه نقشه زیرزمینی منطقه

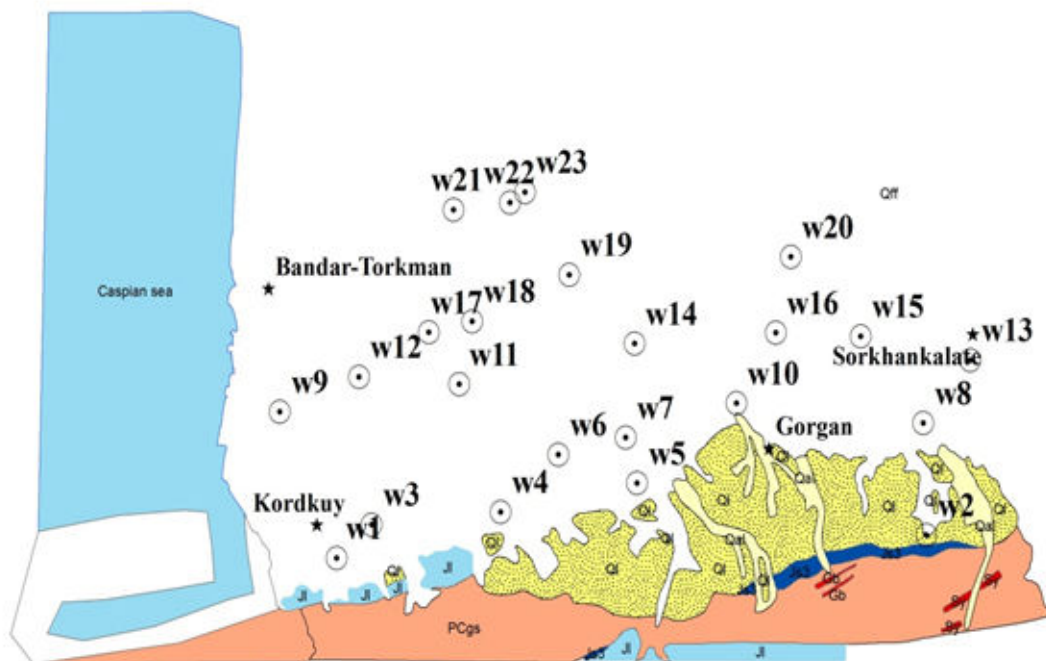
جهت مطالعات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی مناطق مختلف، زمین‌شناسی منطقه بایستی دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد که این امر در اکثر موارد بوسیله نقشه‌های زمین‌شناسی صورت می‌گیرد. بدین منظور نقشه زمین‌شناسی دشت قره‌سو با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ گرگان با نرم افزار ArcMap10.2 تهیه گردید.

۳-۴- بازدید صحرائی و نمونه برداری از آب‌های زیرزمینی

نمونه‌برداری از آب فرایندی بسیار اساسی بوده و به منظور دستیابی به نتایج بایستی به شکل صحیح انجام شود. در نمونه‌برداری رعایت برخی نکات ضروری می‌باشد. مواردی مانند ظرف نمونه، محل نمونه‌برداری، بازه زمانی صرف شده میان برداشت نمونه‌ها و ارسال آنها به آزمایشگاه و ثبت اطلاعات دقیق مربوط به هر یک از نمونه‌ها، نحوه برداشت همه در نیل به بدست آوردن نتایج صحیح نقش دارد. به منظور بررسی وضعیت کیفی آب زیرزمینی دشت قره‌سو همه ساله در دو نوبت (فصل تر و فصل خشک)، مجموع ۴۱ نمونه (سفره آزاد و محبوس)، ۲۳ نمونه در آبخوان محبوس (شکل ۳-۱) و ۱۸ نمونه در آبخوان آزاد (شکل ۳-۲) از منابع آب دشت توسط سازمان آب منطقه‌ای گلستان نمونه برداری و مورد آنالیز قرار می‌گیرد. در هر نمونه‌برداری از بطری‌های پلاستیکی مخصوص با حجم ۹۰۰ میلی‌متر استفاده شده و دو نمونه از هر چاه برداشت گردید. همچنین هنگام نمونه‌برداری از چاه، ظرف پلاستیکی و درپوش آن با آب چاه شستشو داده شده و در مرحله چهارم ظرف به آرامی در عمق بیست سانتیمتری از آب پر شده است و فاقد حباب هوا بوده و درب آن بطور کامل بسته و پلمپ شد. همچنین به منظور اطمینان از داده‌های آب منطقه‌ای در آذرماه ۱۳۹۵ از چند ایستگاه انتخابی منابع آب زیرزمینی دشت توسط شاه حسینی و همکاران نمونه‌برداری و در آزمایشگاه آب و زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود مورد آنالیز قرار گرفت.



شکل ۳-۱: محل های نمونه برداری در آبخوان آزاد



شکل ۳-۲: محل های نمونه برداری در آبخوان محبوس

۳-۴-۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده در محل نمونه برداری

پارامترهای هیدروشیمیایی؛ هدایت الکتریکی، pH و دما در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است.

۳-۴-۱-۱- هدایت الکتریکی (EC)

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه دیجیتال صحرایی (Portable Conductivity meter) صورت گرفت. این دستگاه هدایت الکتریکی را با دقت ۰.۱٪ اندازه‌گیری می‌کند. با توجه به اینکه در محلول‌های آبی، یونها جریان الکتریکی را منتقل می‌نمایند؛ بنابراین EC یک محلول معرف کل مواد محلول (TDS) نمونه می‌باشد. پس از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و ثبت مختصات جغرافیایی آنها، نقشه هدایت الکتریکی آن به روش دستی ترسیم و با استفاده از نرم افزار ArcGis 10.2 بصورت رقومی درآمده است.

۳-۴-۱-۲- pH

pH معیاری از قدرت اسیدی آب می‌باشد که مقدار آن به عواملی از قبیل مقدار دی‌اکسیدکربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بیکربنات و کربنات و همچنین درجه حرارت آب وابسته است. امروزه اندازه‌گیری pH توسط دستگاه‌های دیجیتال صورت می‌گیرد. قبل از اندازه‌گیری دستگاه توسط محلولهای بافر آمونیاکی با pH برابر ۴ و ۷ و ۱۰ کالیبره گردیده است. مقادیر اندازه‌گیری شده برای pH در تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه اندیس اشباع کلسیت و دولومیت و غیره بسیار مؤثر می‌باشد. به همین علت pH آب چشمه در محل به‌وسیله دستگاه pH متر سانتکس (Suntex) مدل Sp-701 اندازه‌گیری شده است. دقت این دستگاه برای اندازه‌گیری pH برابر با یک‌صدم واحد می‌باشد. با توجه به تغییرات اندک این پارامتر در طی فصول، این پارامتر تنها برای برخی از نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است.

۳-۴-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب از قبیل کلر، سدیم، سولفات، منیزیم، بیکربنات و کلسیم در آزمایشگاه آب امور منابع آب گرگان و دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شده‌اند (شکل ۳-۳). پارامترهای آماری از قبیل درصد اشباع، درصد خطای آزمایش، سختی کل، ضریب تغییرات و نسبت بین یون‌های مختلف از نتایج بدست آمده از آنالیز آزمایش‌ها تعیین گردیده‌اند. برای محاسبه این مقادیر و رسم نمودارهای مربوطه از برنامه Phreeqc، Excell و Chemistry استفاده شده است. همچنین برای رسم نمودارهای شولر، ویلکوکس، پایپر و استیف از نرم افزار Phreeqc و AqQA و Chemistry استفاده شده است. پس از مشخص شدن میزان یونها، با مشخص بودن مختصات جغرافیایی نقاط، نقشه‌های مختلف پراکندگی پارامترهای هیدروشیمیایی (هم سولفات، هم کلر و ...) به صورت دستی رسم شده و توسط نرم افزار ArcGIS10.2 بصورت رقومی در آمده‌اند.



شکل ۳-۳: آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه آب و محیط‌زیست دانشگاه صنعتی شاهرود

۳-۵- تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی منطقه مورد مطالعه

بخش مهمی از مطالعات آبخوان، تحلیل داده‌های هیدروشیمیایی منطقه می‌باشد. این داده‌ها از ۴۱ حلقه چاه تهیه شده‌اند که مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۱). به منظور تحلیل داده‌ها مراحل زیر صورت گرفته است:

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

به منظور بررسی تغییرات یون‌های اصلی در منطقه و همچنین تغییرات دراز مدت این یون‌ها، نقشه‌های هدایت الکتریکی، هم‌سولفات و هم‌کلر و غیره در زمانی‌های مختلف رسم گردید.

۳-۵-۲- رسم نمودارهای کیفی آبخوان

از نمودارهای استیف، شولر، ویلکوکس و پایپر جهت تفسیر سریع و آسان کیفیت آب‌های زیرزمینی همچنین جهت تعیین نوع آب، رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی، مقایسه سریع ترکیب شیمیایی، تعیین تیپ، سختی، قابلیت شرب و تعیین استانداردهای کیفیت آب در حوضه قره‌سو استفاده شده است.

۳-۵-۳- نمودارهای ترکیبی

نمودارهای ترکیبی، به منظور تعیین فرآیندهای تاثیرگذار بر روی شیمی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله این نمودارها می‌توان به نمودارهای نسبت یونی، نسبت شاخص اشباع به کاتیون‌ها و آنیون‌ها و اشاره کرد.

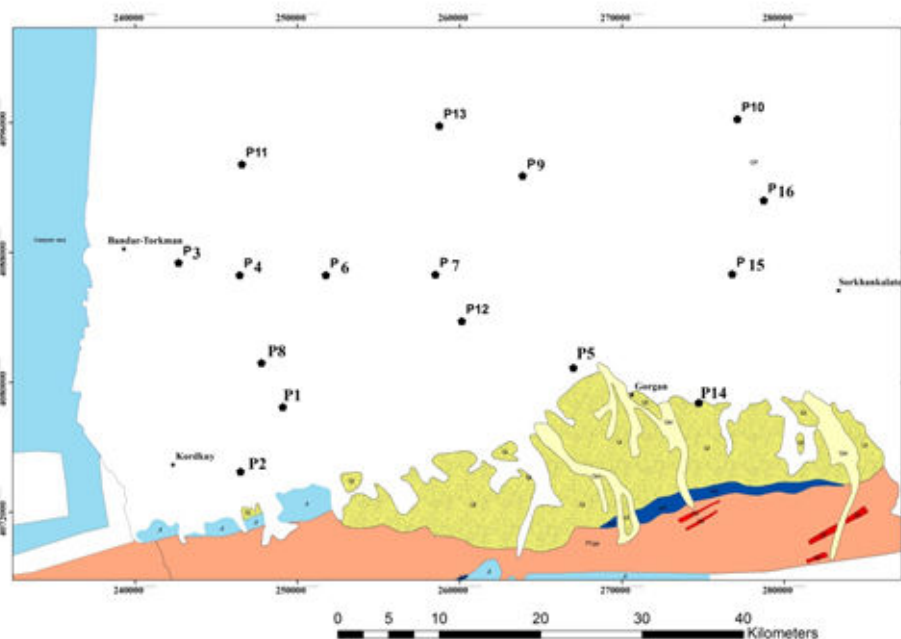
۳-۶- داده‌های هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه برپایه اطلاعات موجود صورت گرفته است. این اطلاعات شامل آزمایشات پمپاژ افت پله ای موجود در منطقه و داده های سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت می‌باشد. شبکه پیزومتری حوضه قره‌سو شامل ۲۶ حلقه پیزومتر در آبخوان آزاد و ۱۶ پیزومتر در آبخوان محبوس می‌باشد و به منظور بررسی‌های کمی آبخوان و در دسترس بودن اطلاعات کامل پیزومترها در منطقه، از داده‌های سطح آب کلیه پیزومترها استفاده شد. از مهمترین ارزیابی های کمی که انجام می‌شود می‌توان به ترسیم نقشه‌های هم‌پتانسیل به منظور بررسی جهت جریان عمومی

آب‌های زیرزمینی، ترسیم نقشه هم افت آبخوان و رسم هیدروگراف واحد به منظور بررسی ارتباط سطح آب زیرزمینی با بارندگی در منطقه اشاره کرد.

۳-۶-۱- رسم هیدروگراف واحد دشت

برای رسم هیدروگراف واحد حوضه آبریز در سفره آزاد از آمار سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۷۰ در ۲۶ پیزومتر و در سفره محبوس از آمار سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۸۰ در ۱۶ پیزومتر استفاده شده است. هیدروگراف معرف یا واحد دشت، نشان دهنده میانگین کل تغییرات دشت می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه؛ هیدروگراف واحد با استفاده از آمار مربوط به ۱۶ پیزومتر انتخابی موجود برای دوره مطالعاتی برای دو فصل تر و خشک استفاده شده است (شکل ۳-۳). همچنین به منظور بررسی ارتباط بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارندگی، میزان بارندگی نیز بصورت میانگین سالانه بر روی نمودار نمایش داده شد.



شکل ۳-۴: محل‌های اندازه‌گیری سطح آب در پیزومترهای حوضه قره‌سو

۳-۶-۲- تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل و هم‌افت آبخوان حوضه قره‌سو

به منظور تعیین جهت عمومی حرکت آب زیرزمینی در سفره آبرفتی منطقه و بررسی مناطق تخلیه و تغذیه، نقشه هم‌پتانسیل دشت تهیه شده است. نقشه هم‌پتانسیل در ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS رقومی شده و تهیه گردید. همچنین به منظور بررسی و مقایسه تغییرات سطح آب در درازمدت، نقشه هم‌پتانسیل در دو فصل تر خشک سال آبی مختلف تهیه و با یکدیگر مقایسه شد.

۳-۶-۳- بیان

محدود بودن منابع آب در کشورمان، حفاظت، حراست، و بهره‌برداری بهینه از آن را به منظور تأمین نیازهای آبی آیندگان طلب می‌کند، دستیابی به این اهداف جز با تهیه بیان دقیق منابع آب و ارزیابی پتانسیل آن امکان‌پذیر نمی‌باشد.

مشخص کردن اجزاء بیان آب در بررسی فرآیندهای غالب هیدرولوژیکی که در یک حوضه اتفاق می‌افتد، اهمیت فراوانی دارد. همچنین تصمیم‌گیری‌های مدیران محلی آب در مدیریت منابع محدود آب بر اساس نتایج این مطالعات پایه و کاربردی است از این رو لازم است که کلیه اجزای بیان با دقت بالایی محاسبه گردد. یکی از عوامل بسیار مهم در دقت بیان، آمار و اطلاعات استفاده شده در محاسبه و برآورد اجزای بیان می‌باشد، همچنین در نظر گرفتن کلیه عوامل مؤثر در پارامترهای ورودی و خروجی حوضه و یا به عبارت دیگر برقراری و ایجاد شرایطی که به دنیای واقعی و آنچه که در طبیعت اتفاق می‌افتد، نزدیک‌تر باشد، نقش مهمی در بالا بردن دقت نتایج دارد.

جهت ارزیابی بیان منابع آب زیرزمینی لازم است تا هر گونه تغذیه از هر منشاء و مبدأ به علاوه جریان ورودی زیرزمینی و از طرف دیگر هر گونه تخلیه‌ای نظیر بهره‌برداری از منابع آب، تخلیه طبیعی توسط چشمه‌ها، زهکشی و تبخیر و بالاخره تغییرات حجم مخزن سفره آب زیرزمینی در زمان مشخص و در محدوده معین که سطح بیان نامیده می‌شود، مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

۳-۶-۳-۱- تعریف بیلان

بررسی تبادلات آب در یک محدوده معین که بر اصل بقای ماده در چرخه آب تأکید دارد، بیلان نامیده می‌شود. طبق این تعریف کلیه آب‌هایی که در یک زمان معین وارد یک محدوده خاص می‌گردد، مصرف، ذخیره و یا به طرق مختلف از محدوده خارج می‌شوند.

۳-۶-۳-۲- محدوده بیلان

به یک واحد هیدرولوژیکی که اطلاعات پایه بیلان جمع‌آوری و معادله بیلان برای آن برقرار می‌شود، محدوده بیلان می‌گویند. این واحد می‌تواند یک حوضه آبریز بزرگ، یک دشت و ارتفاعات مشرف به آن و یا فقط محدوده آبخوان زیرزمینی باشد.

در تهیه بیلان و محاسبه عوامل مختلف آن، دشت و ارتفاعات حوضه قره‌سو با مساحتی برابر ۱۷۸۱/۹ کیلومتر مربع مورد توجه واقع شده و بیلان هیدروکلیماتولوژی برای محدوده ارتفاعات و محدوده دشت آبرفتی به روش تورنت وایت مورد محاسبه قرار گرفته است.

۳-۶-۳-۳- دوره بیلان

فاصله زمانی که کلیه مؤلفه‌های بیلان مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، دوره بیلان نامیده می‌شود.

۳-۶-۳-۴- بیلان هیدروکلیماتولوژی یا هواشناسی

بیلان هیدروکلیماتولوژی نوعی بیلان آب است که در آن کلیه عوامل مختلف ورودی، خروجی و تغییرات ذخیره منابع آب سطحی برای محدوده مورد نظر بررسی می‌شود. تعدادی از این عوامل شامل

بارندگی و جریان سطحی به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری بوده و عواملی مانند نفوذ به آبخوان، تبخیر و تعرق از طریق روش‌های غیرمستقیم محاسبه یا برآورد می‌شوند.

۳-۶-۳-۵- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آزاد

بیلان آب زیرزمینی شکل ویژه‌ای از بیلان آب است که در آن مؤلفه‌های تغذیه، تخلیه و تغییرات ذخیره در یک آبخوان زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. محاسبه این عوامل بسیار پیچیده‌تر از عوامل بیلان عمومی آب است. تعداد اندکی از این عوامل مانند تخلیه از منابع آب زیرزمینی، جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری یا محاسبه بوده، برخی پارامترهای دیگر را می‌توان از اختلاف حجم و یا نسبت‌های بین آب‌های سطحی و عوامل دیگر مثل تبخیر بدست آورد و پاره‌ای مانند تغذیه از حوضه مجاور را تنها می‌توان به طور تخمینی ارزیابی نمود. در بیلان آب زیرزمینی لازم است کلیه حجم‌ها تغذیه با تمام اجزاء تخلیه معادل گردند و هر نوع اختلاف یا تغییرات در ذخیره آب زیرزمینی باید قابل توجیه باشد. در محدوده‌هایی که ازدیاد دائمی تغذیه نسبت به تخلیه در آبخوان زیرزمینی وجود دارد، مقادیر مازاد آب خود را به صورت زیاد شدن آب چشمه‌ها، قنات‌ها، زهکش‌ها، کاهش عمق آب زیرزمینی و یا باتلاقی شدن قسمت‌هایی از سطح زمین نشان خواهد داد. به عکس در پاره‌ای از نواحی که به علت وضعیت آب و هوایی و برداشت بی‌رویه کمبود دائمی تغذیه نسبت به تخلیه دیده می‌شود با کاهش ذخیره آبخوان، کم شدن زهکشی و تبخیر از آب زیرزمینی، تقلیل در آبدهی چشمه‌ها، قنات‌ها و حتی چاه‌ها مواجه خواهد شد. مهم‌ترین استفاده از نتایج بیلان آب مدیریت منابع آب از طریق مشخص نمودن مقادیر بهینه برداشت از منابع آب، مصرف صحیح و پیشگیری از زبان‌های حاصل از ازدیاد یا کمبود تغذیه می‌باشد. مسلم است چنین برنامه‌ریزی در صورت محاسبه دقیق بیلان میسر می‌گردد. که خود نیازمند داشتن آمار و اطلاعات پایه دقیق می‌باشد.

۳-۶-۳-۶- بررسی اجمالی بیلان آب زیرزمینی حوضه آبریز قره‌سو

جهت بررسی هرچه دقیق‌تر و واضح‌تر وضعیت آبخوان حوضه، بیلان اجمالی آن با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است.

$$V_W = S_y \cdot A \cdot \Delta h$$

در معادله فوق؛ S_y ضریب ذخیره، V_W حجم تخلیه یا به عبارتی مقدار کسری آب در آبخوان بر حسب میلیون مترمکعب، A مساحت آبخوان بر حسب کیلومتر مربع و Δh افت متوسط سالانه دشت بر حسب متر می‌باشد. در بیلان آب زیرزمینی، افزایش یا کاهش حجم آبخوان بررسی می‌گردد. محاسبه بیلان در طراحی و مدیریت آبخوان سودمند می‌باشد.

فصل چهارم

ارزیابی میدروژنولوژی و میدروشمیایی

آ.نخوان منظره مورد مطالعه

مطالعه کمی منابع آب زیرزمینی و پایش دقیق روند تغییرات آنها طی گذر زمان، به ویژه در مناطقی که با محدودیت منابع آبی رو به رو هستند، امری ضروری جهت مدیریت صحیح و بهره‌برداری پایدار این منابع محسوب می‌گردد. استان گلستان نیز به عنوان یکی از استانهای نیمه خشک ایران، به دلیل برداشتهای بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی و کاهش ریزشهای جوی در چند سال گذشته، با افت سطح ایستابی و افزایش شوری آب زیرزمینی مواجه گردیده است. حوضه قره‌سو با وسعت تقریبی ۱۶۰۰ کیلومترمربع و با مختصات $54^{\circ}00'$ تا $54^{\circ}45'$ طول شرقی و $36^{\circ}36'$ تا $36^{\circ}59'$ عرض شمالی بخشی از حوضه گرگان می‌باشد که در قسمت غربی استان گلستان و در جنوب شرقی دریای مازندران واقع گردیده است. از لحاظ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه درزون البرز شرقی واقع شده است که قسمت جنوبی این حوضه آبریز سلسله جبال البرز و در شمال رسوبات لسی دشت گرگان و از غرب به دریای مازندران متصل می‌باشد. از دیدگاه هیدروژئولوژی این حوضه آبریز از دو آبخوان آزاد و تحت فشار تشکیل شده است. جهت جریان در این حوضه از جنوب به سمت شمال و از سمت شرق به غرب می‌باشد. میزان هدایت الکتریکی در قسمت غربی حوضه دارای افزایش قابل توجهی می‌باشد، از طرفی با توجه به روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب نسبت به EC می‌توان تبخیر و نفوذ آب شور را به عنوان محتمل‌ترین عامل‌های شوری معرفی کرد که در بخش‌های بعدی به این موضوع پرداخته می‌شود.

۴-۲ - هیدروژئولوژی آبخوان حوضه قره‌سو

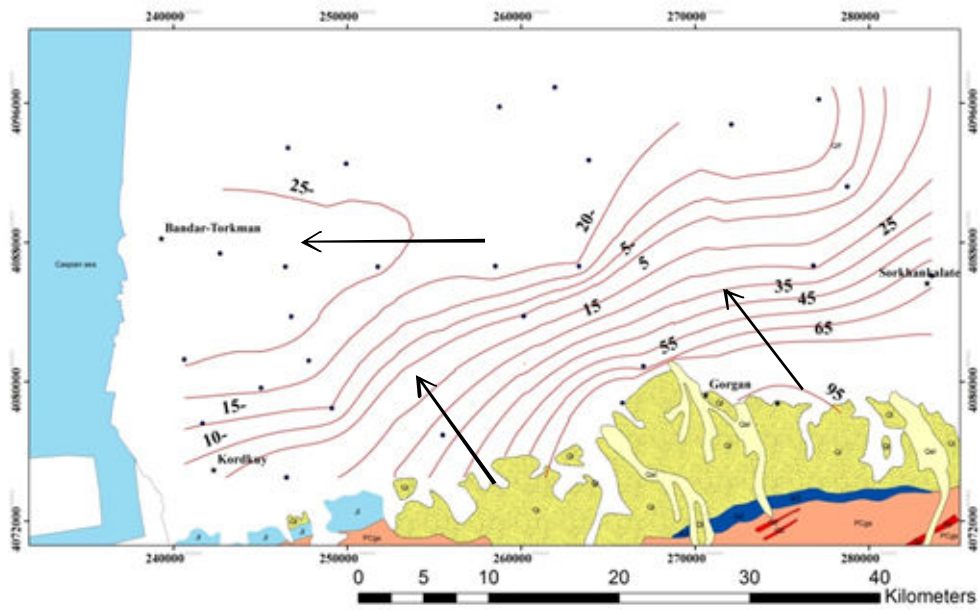
در این قسمت با استفاده از نقشه‌های هم‌پتانسیل، زون‌بندی دشت براساس افت، رسم و تفسیر هیدروگراف واحد، محاسبه داده‌های آزمون پمپاژ و بدست آوردن خصوصیات هیدرولیکی آبخوان به بررسی و ارزیابی هیدروژئولوژیکی حوضه قره‌سو پرداخته می‌شود.

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

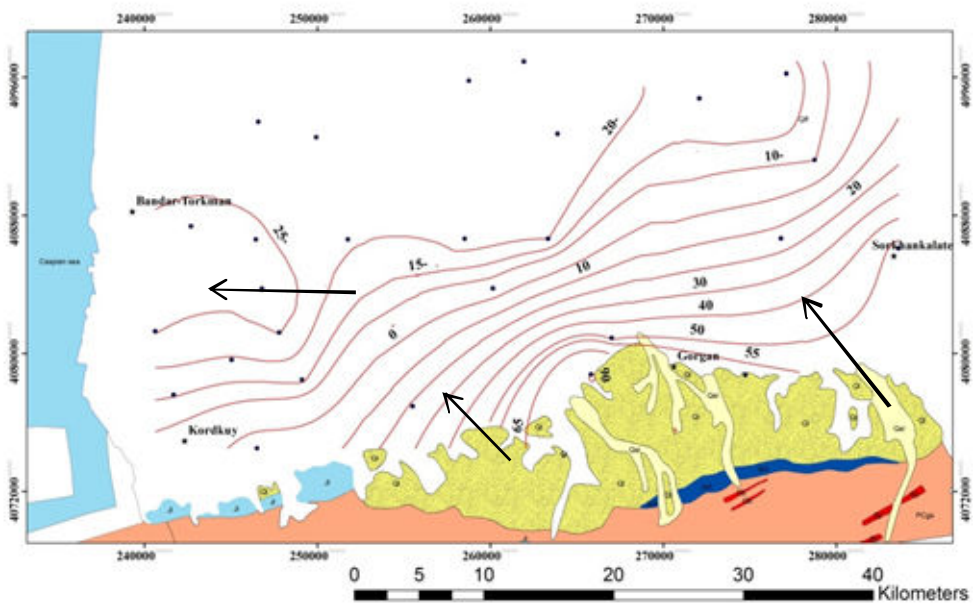
بررسی کمی منابع آب زیرزمینی و تغییرات آن طی گذر زمان یکی از مهمترین جنبه‌های مطالعه آب‌های زیرزمینی در تمامی دشتهای می‌باشد که امکان مدیریت صحیح، جهت بهره برداری پایدار و حفظ این منابع حیاتی را فراهم می‌آورد. این بررسی‌ها معمولاً از طریق نقشه‌ها و نمودارهایی که به این منظور تهیه می‌شوند، صورت می‌پذیرد و از آن جمله می‌توان به نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی، که شرایط بار هیدرولیکی آبخوان را در قالب خطوط هم‌ارزش بیان می‌کنند، اشاره نمود. نقشه‌های هم‌پتانسیل سطح ایستابی به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی، شیب هیدرولیکی، مناطق تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و نیز وضعیت تبادل آب زیرزمینی با منابع آب سطحی و تشکیلات زمین‌شناسی پیرامون دشت ترسیم می‌گردد. امکان تشخیص گسل‌ها و تغییرات تراوایی سفره آب زیرزمینی نیز از دیگر کاربردهای این گونه نقشه‌ها می‌باشد.

بالاترین تراز آب زیرزمینی منطبق بر نواحی شرقی و جنوبی دشت می‌باشد و با پیشروی به سمت غرب و دریای مازندران از تراز آب کاسته شده و در نوار ساحلی کمترین مقدار خود را دارا است (شکل ۴-۱). این روند تغییرات هم‌جهت با جریانهای سطحی بوده و تأثیرپذیری سفره آب زیرزمینی از جریانهای سطحی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نقشه نشان می‌دهد که منشأ اصلی تغذیه دشت گرگان را جریانات شکل گرفته از ارتفاعات جنوبی حوضه تشکیل می‌دهد. گرادیان هیدرولیکی در هر دو سفره در دو فصل تر و خشک تغییرات محسوسی ندارند (شکل ۴-۲).

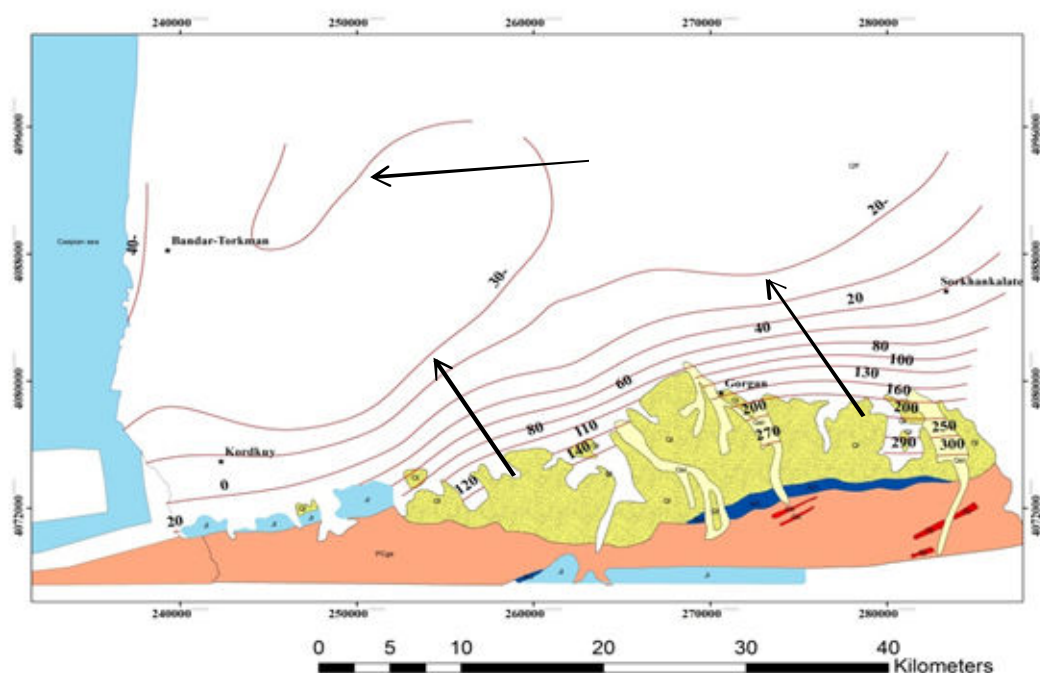
با مقایسه نقشه تراز آب زیرزمینی حوضه قره‌سو در دو فصل تر و خشک؛ افت محسوسی در سطح تراز آب زیرزمینی در دو فصل مشاهده نمی‌شود و جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دو فصل دارای روندی مشابه بوده ولی گرادیان هیدرولیکی در سفره آب زیرزمینی آزاد در ناحیه جنوبی حوضه نسبت به گرادیان هیدرولیکی در سفره آب زیرزمینی محبوس بیشتر می‌باشد (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۱: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان آزاد حوضه قره‌سو پاییز ۹۴



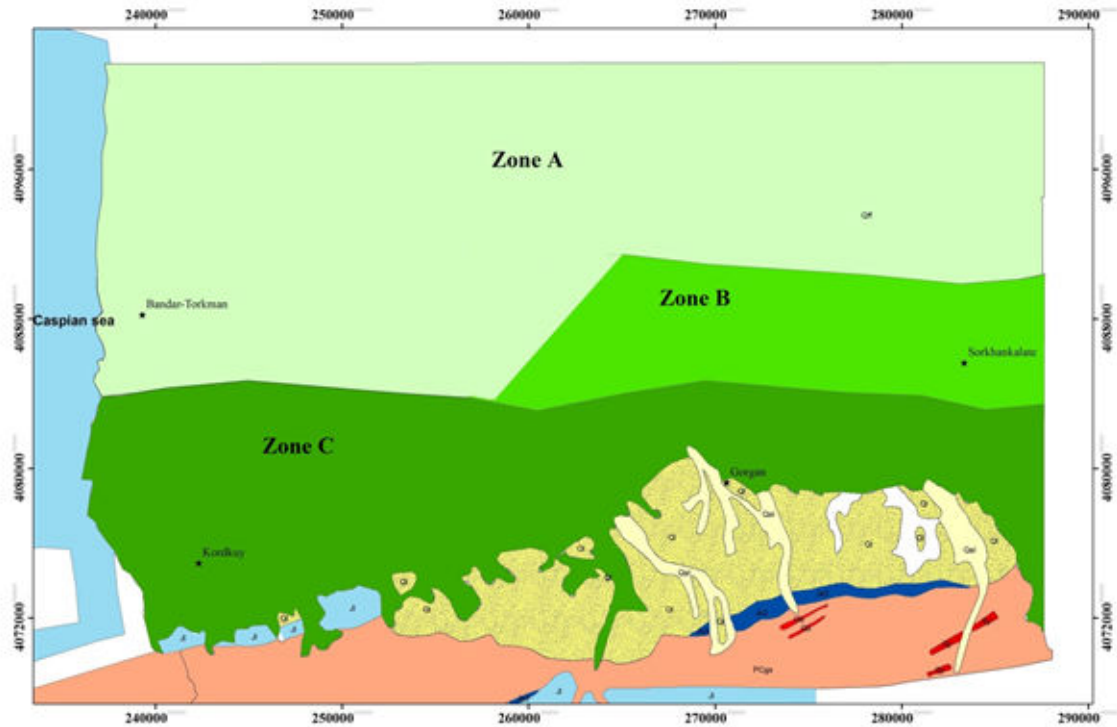
شکل ۴-۲: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان آزاد حوضه قره‌سو بهار ۹۵



شکل ۴-۳: نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی آبخوان محبوس حوضه قره‌سو پاییز ۹۴

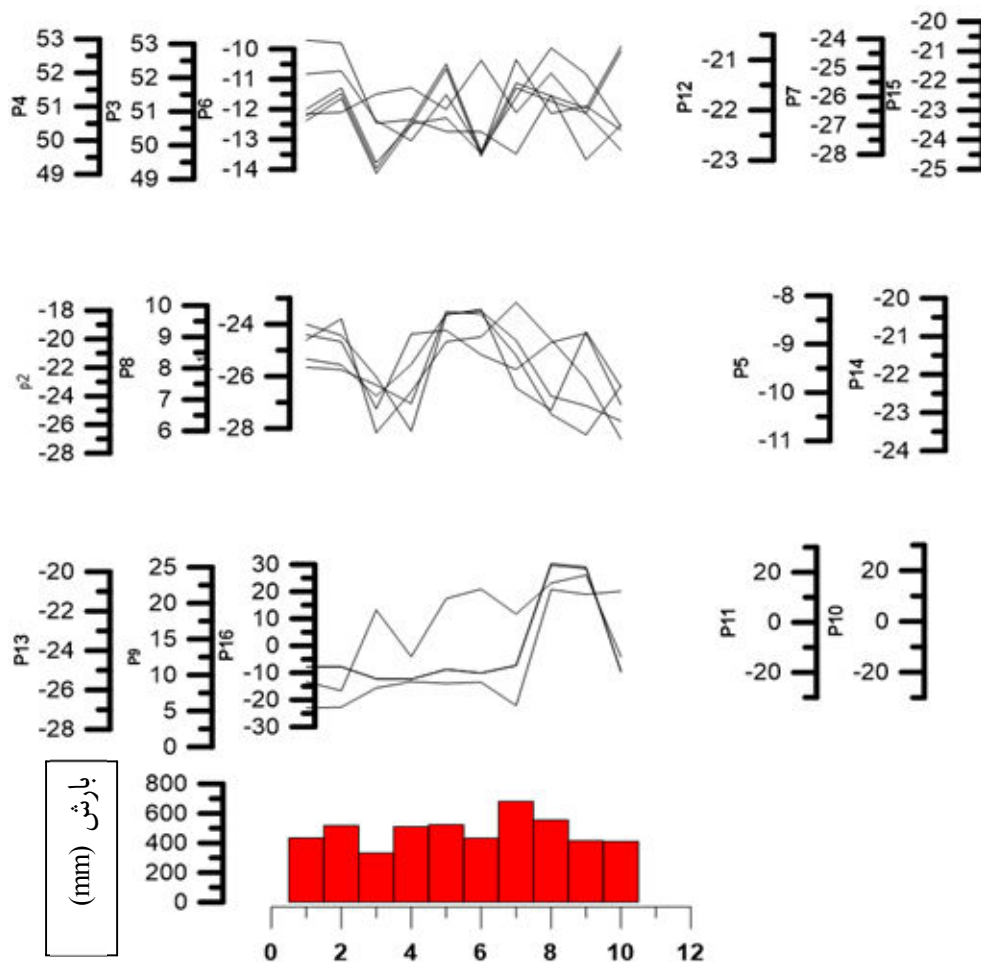
۴-۳- ارزیابی حوضه بر اساس افت طولانی مدت

با استفاده از داده‌های آماری بلند مدت میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه قره‌سو بر اساس میزان افت ۱۰ ساله، به سه زون A، B و C تقسیم شده است (شکل ۴-۴). لازم به ذکر است که این زون‌بندی فقط جنبه مقایسه‌ای در یک دشت داشته و در آبخوان نمی‌توان به طور دقیق این زون‌بندی را انجام داد. تغییرات سطح ایستابی به دلیل شروع برداشت و پمپاژ، افزایش می‌یابد با توجه به بررسی انجام شده بیشترین مقدار افت آب زیرزمینی در نوار جنوبی دشت می‌باشد که علت آن احتمالاً به خاطر تمرکز چاه‌های بهره‌برداری، به ویژه چاه‌های آب شرب، در این منطقه می‌باشد. به همین ترتیب با حرکت به سمت نواحی مرکزی دشت مقدار افت کاهش یافته و روندی تقریباً ثابت گرفته و در نواحی شمالی و حاشیه دریای مازندران میزان افت تا حدودی روند صعودی می‌شود. از جمله علل پائین بودن مقدار افت در ناحیه‌ی شمالی دشت، احتمالاً به پائین بودن کیفیت آب در این منطقه و در نتیجه برداشت اندک آبهای زیرزمینی مربوط می‌شود.



شکل ۴-۴: مقدار افت در نقشه زون بندی افت

پیزومترهای آبخوان محبوس حوضه قره‌سو بر اساس نوع رفتار و تغییرات سطح تراز آب در آنها در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ به گروه‌های مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۴-۵). پیزومترهای ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳ و ۱۶ دارای روند صعودی هستند، پیزومترهای این گروه در بخش‌های شمالی واقع شده‌اند. پیزومترهای ۳، ۴، ۶، ۷، ۱۲ و ۱۵ به دلیل کم شدن تعداد چاه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی و به تبع کاهش برداشت نسبت به بخش جنوبی روندی ثابت دارند، اما در پیزومترهای جنوبی حوضه که در زون تغذیه قرار گرفته‌اند به دلیل تمرکز چاه‌های بهره‌برداری، به ویژه چاه‌های آب شرب، روند نزولی را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۵: گروه‌بندی پیزومترها بر اساس رفتار سری زمانی تغییرات تراز سطح آب بر حسب متر از سطح دریا

۴-۴- بیلان منابع آب حوضه قره‌سو

۴-۴-۱- هیدروگراف واحد دشت مورد مطالعه

از آنجایی که تغییرات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلف می‌باشد، شکل هیدروگراف برای پیزومترهای مختلف یکسان نیست. برای رفع این مشکل تهیه هیدروگراف واحد یا متوسط که معرف لایه آبدار باشد اجتناب ناپذیر است. منظور از هیدروگراف واحد هیدروگرافی است که به کمک کلیه هیدروگراف‌های پیزومترهای منطقه تهیه می‌شود. هیدروگراف‌ها برای بررسی کمی آبخوان مناسب ترند، زیرا دوره‌های طولانی مدت از پایش تراز آب در آبخوان را نمایش می‌دهد. هنگامی که میزان بارندگی نیز روی آنها ترسیم گردد، نشان دهنده چگونگی پاسخ آبخوان به بارندگی که یکی از دلایل

تغییر سطح ایستابی محسوب می‌شود، می‌باشند. 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 می‌باشد. اگر میانگین سطح آب چاه حالت نزولی داشته باشد، بیانگر بیلان منفی می‌باشد. هیدروگراف واحد دشت زمان‌هایی که سطح آب افزایش یا کاهش داشته (ترسالی و خشکسالی) را به ما نشان خواهد داد. به منظور ارزیابی تغییرات بارندگی و نقش آن در تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه، از میانگین وزنی سطح آب زیرزمینی هر سال در پیژومترهای موجود در منطقه ی مورد مطالعه استفاده گردیده است ارتفاع متوسط سطح آب زیرزمینی در حوضه قره‌سو برای آبخوان آزاد نسبت به بارندگی در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ (جدول ۴-۱) و برای آبخوان تحت فشار از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ (جدول ۴-۲) بررسی شده است.

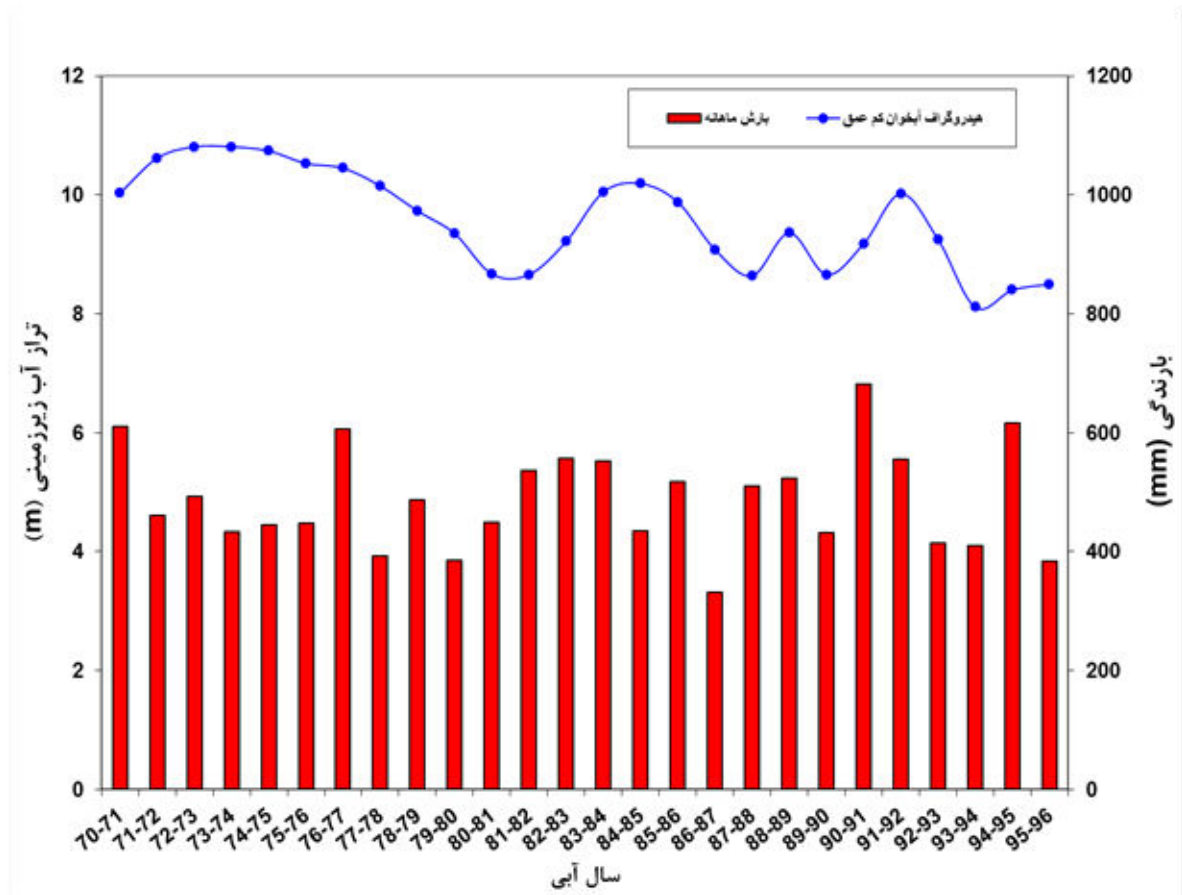
جدول ۴-۱: داده‌های بارش و تراز سطح آب آبخوان آزاد قره‌سو

سال آبی	تراز سطح آب (m)	بارش سالانه (mm)
۷۰-۷۱	۱۰/۰۳	۶۱۰/۱
۷۱-۷۲	۱۰/۶۲	۴۶۰/۹
۷۲-۷۳	۱۰/۸۱	۴۹۲/۸
۷۳-۷۴	۱۰/۸۱	۴۳۲/۱
۷۴-۷۵	۱۰/۷۴	۴۴۴/۴
۷۵-۷۶	۱۰/۵۳	۴۴۷/۳
۷۶-۷۷	۱۰/۴۵	۶۰۶/۶
۷۷-۷۸	۱۰/۱۵	۳۹۳/۲
۷۸-۷۹	۹/۷۳	۴۸۷/۶
۷۹-۸۰	۹/۳۵	۳۸۵/۳
۸۰-۸۱	۸/۶۷	۴۴۹/۱
۸۱-۸۲	۸/۶۶	۵۳۶/۶
۸۲-۸۳	۹/۳۲	۵۵۶/۸
۸۳-۸۴	۱۰/۰۵	۵۵۱/۸
۸۴-۸۵	۱۰/۱۹	۴۳۴/۳
۸۵-۸۶	۹/۸۸	۵۱۷/۴۲
۸۶-۸۷	۹/۰۸	۳۳۱/۸۲
۸۷-۸۸	۸/۶۴	۵۱۰/۴
۸۸-۸۹	۹/۳۶	۵۲۴/۰۵
۸۹-۹۰	۸/۶۶	۴۳۲/۵۱
۹۰-۹۱	۹/۱۸	۶۸۱/۱۱
۹۱-۹۲	۱۰/۰۲	۵۵۵/۳
۹۲-۹۳	۹/۳۵	۴۱۴/۹
۹۳-۹۴	۸/۱۱	۴۱۰
۹۴-۹۵	۸/۴	۶۱۷
۹۵-۹۶	۸/۵	۳۸۳/۵

جدول ۴-۲: داده‌های بارش و تراز سطح آب آبخوان محبوس قره‌سو

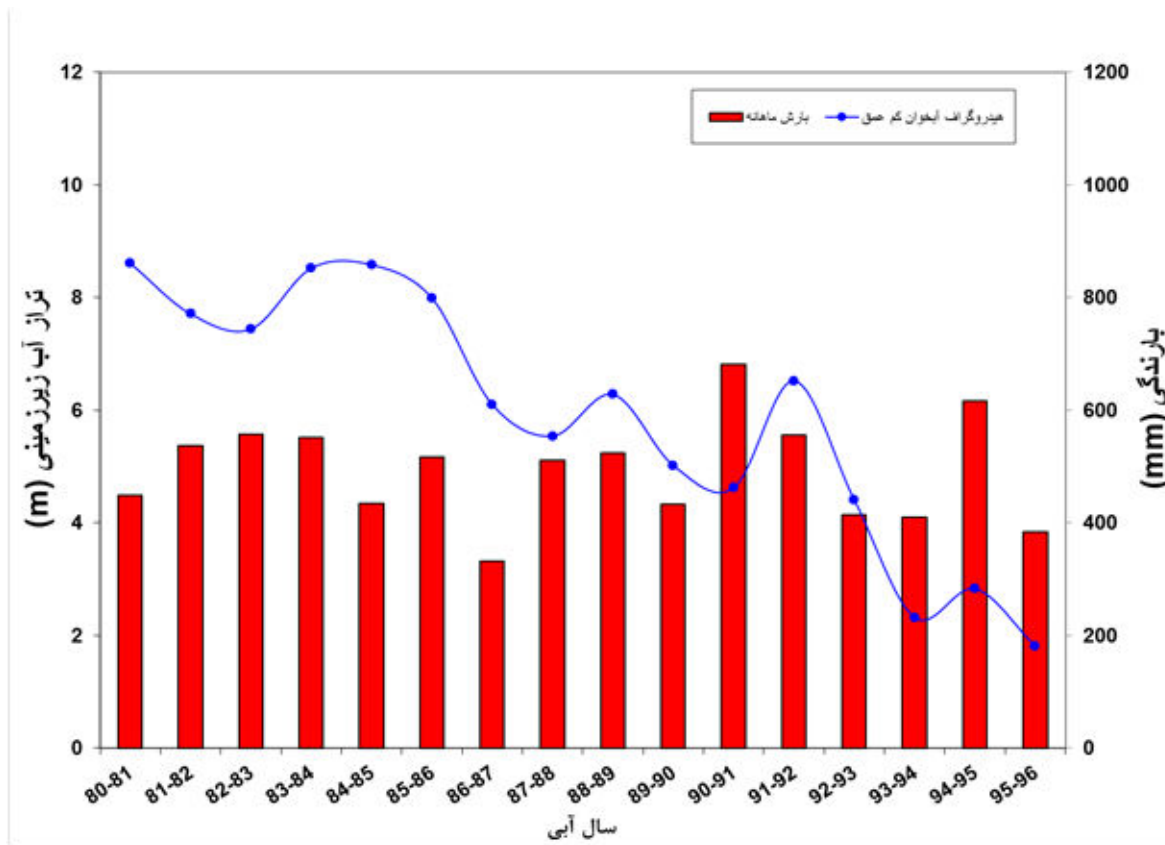
سال آبی	تراز سطح آب (m)	بارش سالانه (mm)
۸۰-۸۱	۸/۶۱	۴۴۹/۱
۸۱-۸۲	۷/۷۱	۵۳۶/۶
۸۲-۸۳	۷/۴۴	۵۵۶/۸
۸۳-۸۴	۸/۵۲	۵۵۱/۸
۸۴-۸۵	۸/۵۸	۴۳۴/۳
۸۵-۸۶	۷/۹۹	۵۱۷/۴۲
۸۶-۸۷	۶/۱	۳۳۱/۸۲
۸۷-۸۸	۵/۵۴	۵۱۰/۴
۸۸-۸۹	۶/۲۸	۵۲۴/۰۵
۸۹-۹۰	۵/۰۲	۴۳۲/۵۱
۹۰-۹۱	۴/۶۲	۶۸۱/۱۱
۹۱-۹۲	۶/۵۲	۵۵۵/۳
۹۲-۹۳	۴/۴۱	۴۱۴/۹
۹۳-۹۴	۲/۳۲	۴۱۰
۹۴-۹۵	۲/۸۳	۶۱۷
۹۵-۹۶	۱/۸۱	۳۸۳/۵

شکل (۴-۶) هیدروگراف واحد دشت را برای یک دوره ۲۵ ساله (سال های آبی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵) را نشان می‌دهد. با توجه به هیدروگراف واحد ترسیم شده، تغییرات سطح ایستابی در این منطقه روند نزولی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که متوسط سطح آب زیرزمینی از ۱۰/۰۲ متر در سال ۱۳۷۰ به ۸/۴ متر در سال ۱۳۹۵ تغییر کرده است. طی این دوره ۲۵ ساله سطح آب زیرزمینی آبخوان کم عمق حوضه قره‌سو ۱/۶۲ متر افت پیدا کرده است از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۲ با کاهش بارندگی و به تبع آن کاهش تغذیه به آبخوان؛ سطح آب زیرزمینی افت پیدا کرده است، ولی با افزایش بارندگی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ سطح ایستابی نیز روند افزایشی به خود گرفته است. در حالیکه در بقیه ادوار با نوسانات میزان بارندگی، سطح ایستابی روندی نزولی پیدا کرده است.



شکل ۴-۶: هیدروگراف واحد آبخوان آزاد حوضه قره‌سو

شکل (۷-۴) هیدروگراف واحد دشت را برای یک دوره ۱۵ ساله (سال های آبی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵) در سفره محبوس را نشان می‌دهد. با توجه به هیدروگراف واحد ترسیم شده، تغییرات سطح ایستابی در این منطقه روند نزولی را نشان می‌دهد. به این ترتیب که متوسط سطح آب زیرزمینی از ۸/۶ متر در سال ۱۳۸۰ به ۲/۸۳ متر در سال ۱۳۹۵ تغییر کرده است. طی این دوره ۱۵ ساله سطح آب زیرزمینی آبخوان عمیق حوضه قره‌سو ۵/۷۷ متر افت پیدا کرده است. در شهریور ۱۳۸۲ با کاهش بارندگی و به تبع آن کاهش تغذیه به آبخوان و برداشت بی رویه؛ سطح آب زیرزمینی افت چشمگیری پیدا کرده است، ولی با افزایش بارندگی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ سطح ایستابی نیز روند افزایشی به خود گرفته است. در حالیکه از سال ۱۳۸۵ به بعد با نوسانات میزان بارندگی، سطح ایستابی روندی نزولی پیدا کرده است. که این کاهش برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به بیشترین میزان خود می‌رسد.



شکل ۴-۷: هیدروگراف واحد آبخوان محبوس حوضه قره‌سو

۴-۵- بیان هیدروکلیماتولوژی حوضه قره‌سو

۴-۵-۱- بیان هیدروکلیماتولوژی ارتفاعات

همانطور که ذکر گردید در بیان هیدروکلیماتولوژی عوامل مختلف ورودی و خروجی و تغییرات ذخیره در منابع آب سطحی برای محدوده بیان مورد بررسی قرار می‌گیرد. مقادیر بارندگی، تبخیر و تعرق واقعی، رواناب و میزان نفوذ از بارندگی برای ارتفاعات براساس روش تورنت وایت محاسبه شده است. طبق این جدول ۶۴۵/۲ میلی‌متر بارندگی در ارتفاعات، ۳۴۴/۱ میلی‌متر آن به تبخیر و تعرق تبدیل شده است. همچنین از ۳۰۱/۱ میلی‌متر بارش مازاد ۲۲۵/۹ میلی‌متر آن صرف نفوذ و حدود ۷۵/۲ میلی‌متر آن به رواناب تبدیل می‌شود. با توجه به مساحت ارتفاعات مشرف بر دشت (۷۹۹ میلیون کیلومتر مربع) حجم کل بارندگی در ارتفاعات ۵۱۵/۵ میلیون متر مکعب، حجم تبخیر و

تغرق ۲۷۴/۹ میلیون متر مکعب، حجم رواناب ۶۰/۱ میلیون متر مکعب و حجم نفوذ برابر ۱۸۰/۵ میلیون متر مکعب برآورد شده است (جدول ۴-۳).

۴-۵-۲- بیان هیدروکلیماتولوژی دشت

متوسط درازمدت بارش در محدوده دشت ۵۱۱/۵ میلیمتر بوده و حجم بارندگی با توجه به مساحت محدوده دشت (۹۸۲/۹ کیلومتر مربع) برابر با ۵۰۲/۸ میلیون متر مکعب می‌باشد. طبق روش تورنت وایت در سطح دشت قره‌سو ۴۴۶/۲ میلیون متر مکعب از بارندگی صرف تبخیر و تعرق شده و میزان نفوذ ناشی از بارندگی ۳۹/۶ و جریان سطحی حاصل از بارندگی برابر ۱۶/۹ میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده است (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۳: بیان هیدروکلیماتولوژی ارتفاعات حوضه قره‌سو - ارقام به میلیمتر

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
میانگین دمای ملخانه	۱۵/۶	۱۰/۷	۶/۸	۵	۵	۷/۳	۱۰/۲	۱۴	۱۸	۱۹/۶	۲۱/۱	۱۸/۹	۱۲/۷
تبخیر و تعرق پتانسیل	۴۶/۸	۱۹/۹	۸/۱	۴/۶	۴/۵	۱۱/۵	۲۳/۴	۴۸	۷۸/۲	۹۳/۶	۱۰۱/۲	۷۲/۵	۵۱۲/۳
بارندگی ملخانه	۵۶/۹	۶۶/۵	۷۰/۱	۴۹/۶	۶۶/۸	۶۷/۶	۶۲/۴	۴۲/۲	۴۶/۲	۳۸/۱	۲۹/۴	۴۹/۴	۶۴۵/۲
تبخیر و تعرق بالفعل	۴۶/۸	۱۹/۹	۸/۱	۴/۶	۴/۵	۱۱/۵	۲۳/۴	۴۸	۶۰/۴	۳۸/۱	۲۹/۴	۴۹/۴	۳۴۴/۱
نفوذ	۰	۲۷/۵	۴۶/۵	۳۳/۸	۴۶/۷	۴۲/۱	۲۹/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۵/۹
جریان سطحی	۰	۹/۲	۱۵/۵	۱۱/۲	۱۵/۶	۱۴	۹/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۷۵/۲

جدول ۴-۴: بیان هیدروکلیماتولوژی محدوده دشت حوضه قره‌سو - ارقام به میلیمتر

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
میانگین دمای ملخانه	۲۱/۵	۱۵/۸	۱۰/۹	۸/۷	۸/۱	۱۰	۱۴/۲	۱۹/۴	۲۵/۱	۲۷/۱	۲۸/۲	۲۶/۲	۱۷/۹
تبخیر و تعرق پتانسیل	۸۶/۹	۴۲/۱	۲۰/۲	۱۳/۵	۱۱/۵	۲۱/۱	۴۴/۳	۹۰/۱	۱۴۸/۵	۱۷۵	۱۷۷/۲	۱۳۶/۱	۹۶۶/۵
بارندگی ملخانه	۵۰/۷	۵۴/۳	۵۳/۷	۴۱/۶	۵۳/۴	۵۸/۲	۴۹	۴۴/۱	۲۴/۹	۲۳/۸	۲۱/۵	۳۶/۳	۵۱۱/۵
تبخیر و تعرق بالفعل	۵۰/۷	۴۲/۱	۲۰/۲	۱۳/۵	۱۱/۵	۲۱/۱	۴۴/۳	۹۰/۱	۷۸/۹	۲۳/۸	۲۱/۵	۳۶/۳	۴۵۴
نفوذ	۰	۰	۰	۰	۱۱	۲۶	۳/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۴۰/۳
جریان سطحی	۰	۰	۰	۰	۴/۷	۱۱/۱	۱/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷/۲

۴-۶- بیان آب زیرزمینی

دشت قره‌سو دارای دو آبخوان آزاد و تحت فشار می‌باشد که بیان آب زیرزمینی به تفکیک سفره سطحی آزاد و سفره عمیق محبوس محاسبه و ارائه گردیده است. در آبخوان عمیق تحت فشار تنها عامل تغذیه ورودی زیرزمینی بوده و پارامترهای خروجی شامل بهره‌برداری از طریق چاه‌های عمیق و خروجی زیرزمینی بوده و تفاوت ورودی و خروجی‌ها به شکل تغییرات حجم مخزن نشان داده می‌شود.

۴-۷- بیان آبخوان آزاد

برای برقراری بیان آب زیرزمینی از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$Q_{in} + R_p + R_r + R_w - (Q_{out} + D + E + W) = \pm \Delta V$$

$$Q_{in} = \text{میزان آب ورودی زیرزمینی به محدوده بیان}$$

$$Q_{out} = \text{میزان آب خروجی زیرزمینی از محدوده بیان}$$

$$R_p = \text{میزان آب نفوذی از بارندگی که به طور مستقیم نفوذ نموده است.}$$

$$R_r = \text{مقدار تغذیه از سیلاب‌ها که نفوذ عمقی نموده و به آبخوان می‌پیوندد.}$$

$$R_w = \text{میزان آب برگشتی کشاورزی و فاضلاب شهری و صنعتی}$$

$$D = \text{زهکشی از سفره توسط هر نوع زهکش یا رودخانه}$$

$$E = \text{مقدار تبخیر از سطح سفره آب زیرزمینی در محدوده بیان}$$

$$W = \text{بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی}$$

$$\pm \Delta V = \text{تغییرات حجم مخزن سفره در دوره مشخص و محدوده معین}$$

۴-۷-۱- جریان ورودی زیرزمینی به محدوده بیلان (Q_{in})

مقاطع ورودی جریان آب زیرزمینی با توجه به نقشه هم پتانسیل آب زیرزمینی و خطوط جریان استخراج شده است. بر پایه معادله دارسی، مقاطع ورودی، گرادیان هیدرولیکی و قابلیت انتقال هر یک از این مقاطع (براساس اطلاعات و آمار سازمان منطقه‌ی استان گلستان)، مقدار جریان‌های ورودی زیرزمینی در حدود $148/78$ میلیون متر مکعب محاسبه شده است (جدول ۴-۵). از آنجایی که در حاشیه جنوبی دشت آبخوان آبرفتی تک لایه بوده و آبخوان تحت فشار وجود ندارد، لذا ورودی زیرزمینی هر دو آبخوان آزاد و تحت فشار را تغذیه می‌کند (شکل ۴-۸).

۴-۷-۲- تغذیه ناشی از بارندگی در محدوده بیلان R_p

بر اساس بیلان هیدروکلیماتولوژی تورنت وایت دشت قره‌سو در دوره بیلان متوسط مقدار بارندگی (P) برابر $511/5$ میلی‌متر، تبخیر و تعرق واقعی (E) 454 میلی‌متر، رواناب $17/2$ میلی‌متر و میزان نفوذ بارندگی به آبخوان برابر $40/3$ میلی‌متر در سال محاسبه گردیده است (جدول ۴-۴). بنابراین با توجه به مساحت منطقه بیلان آبخوان آزاد، حجم تغذیه ناشی از بارندگی برابر $39/6$ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

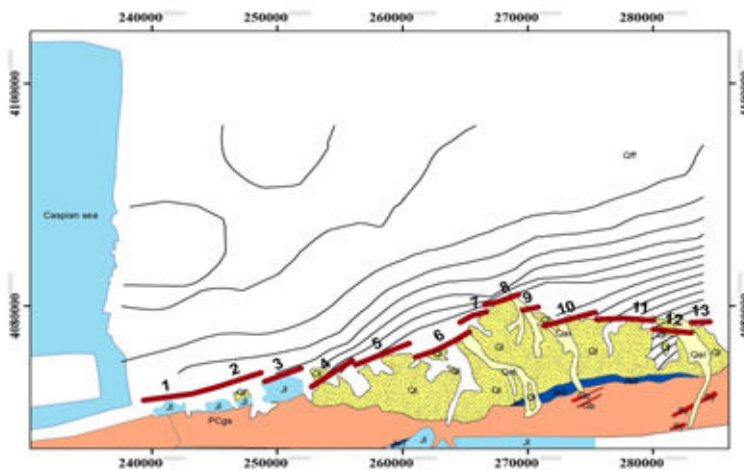
۴-۷-۳- تغذیه ناشی از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها (R_r)

بر اساس بیلان هیدروکلیماتولوژی تورنت وایت، جریان سطحی ناشی از بارندگی در ارتفاعات و سطح دشت به ترتیب برابر $60/1$ و $16/9$ میلیون متر مکعب تخمین زده می‌شود. بنابراین با احتساب دبی چشمه‌ها (در دوره بیلان) معادل $31/72$ میلیون متر مکعب و همچنین کسر $2/81$ میلیون متر مکعب مصارف آب در ارتفاعات، حجم کل رواناب در منطقه مطالعاتی برابر $105/91$ میلیون متر مکعب در

سال می‌باشد. با توجه به جنس و اندازه رسوبات سطح دشت حدود ۱۰ درصد از رواناب سطحی به آبخوان نفوذ می‌کند. بنابراین تغذیه ناشی از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها به آبخوان آزاد حدود ۱۰/۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است.

جدول ۴-۵: مقادیر ورودی زیرزمینی از مقاطع مختلف به آبخوان آزاد

شماره مقطع	طول مقطع m	گرادیان هیدرولیکی در ۱۰۰۰	قابلیت انتقال day.m2	حجم جریان MCM
۱	۳۸۱۱	۱۱/۹۳	۵۵۰	۹/۱۳
۲	۵۸۷۷	۱۰/۷۵	۴۵۰	۱۰/۳۸
۳	۳۰۹۶	۱۴/۶۵	۵۵۰	۹/۱۱
۴	۴۰۰۰	۱۸/۴۷	۴۰۰	۱۰/۷۹
۵	۴۶۷۴	۱۶/۷۲	۴۰۰	۱۱/۴۱
۶	۴۸۵۷	۱۸/۴۱	۴۰۰	۱۳/۰۵
۷	۲۳۲۱	۱۹/۱۴	۵۰۰	۸/۱۱
۸	۲۸۲۲	۱۹/۴	۴۰۰	۷/۹۹
۹	۱۲۲۵	۱۸/۳۱	۴۰۰	۳/۲۷
۱۰	۴۲۳۳	۲۲/۹۶	۶۰۰	۲۱/۲۸
۱۱	۴۵۳۵	۲۲/۲۱	۶۰۰	۲۲/۰۶
۱۲	۳۰۴۳	۲۲/۶۹	۶۰۰	۱۵/۱۲
۱۳	۱۴۱۷	۲۲/۸۲	۶۰۰	۷/۰۸
مجموع ورودی زیرزمینی				۱۴۸/۷۸



شکل ۴-۸: موقعیت ورودی آب زیرزمینی از مقاطع مختلف به آبخوان آزاد

۴-۷-۴- تغذیه ناشی از پساب کشاورزی و فاضلاب شهری و صنعت (R_w)

۴-۷-۴-۱- کشاورزی

آب برگشتی کشاورزی به آبخوان ، مازاد نیاز آبی کشاورزی است که به آبخوان آبرفتی برمی‌گردد. حجم آب مصرفی در بخش‌های کشاورزی (مجموع آب سطحی و زیرزمینی) برابر ۲۳۹/۶۶ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. با در نظر گرفتن ۱۵ درصد نفوذ پساب کشاورزی ، میزان آب نفوذ یافته به آبخوان از مصارف کشاورزی در محدوده بیلان حدود ۳۵/۹۵ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

۴-۷-۴-۲- شرب و صنعت

طبق آمار و اطلاعات موجود حجم کل آب مصرفی در بخش شرب و صنعت برابر ۵۳/۶۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. که با احتساب ۷۰ درصد پساب برگشتی به آبخوان میزان پساب برگشتی به آبخوان از مصارف شرب و صنعت ۳۷/۵۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است. بنابراین حجم کل آب برگشتی به آبخوان از مصارف مختلف (کشاورزی ، شرب و صنعت) برابر ۷۳/۵۱ میلیون متر مکعب در سال برآورد می‌شود.

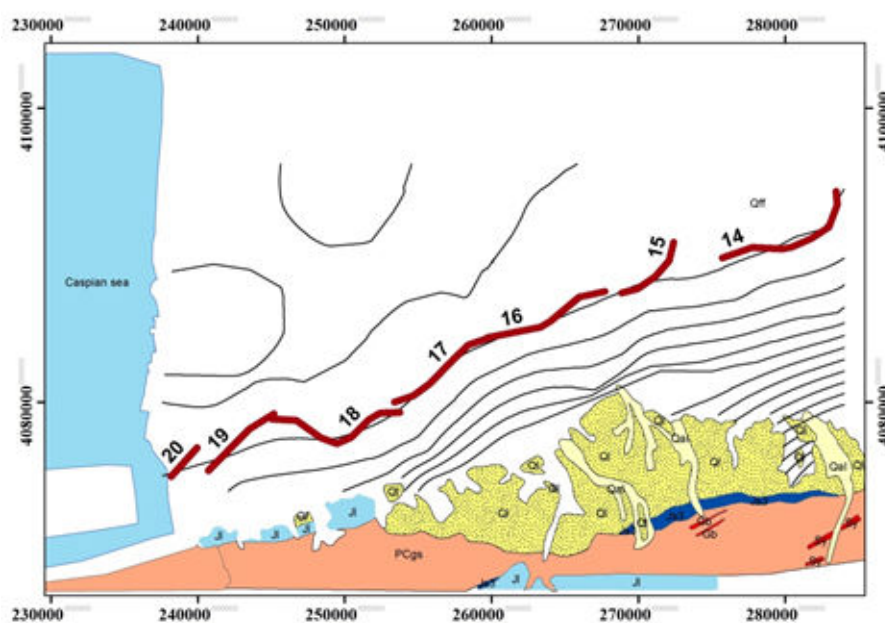
۴-۷-۵- جریان خروجی زیرزمینی (Q_{out})

مقاطع خروجی جریان آب زیرزمینی با توجه به نقشه هم پتانسیل آبخوان آزاد سطحی استخراج شده است (شکل ۴-۹). بر پایه معادله داری، مقاطع ورودی، گرادیان هیدرولیکی و قابلیت انتقال هر یک از این مقاطع، مقدار جریان‌های خروجی زیرزمینی آبخوان سطحی آزاد در حدود ۱۲/۸۳ میلیون متر مکعب محاسبه شده است (جدول ۴-۶). همچنین با توجه به اینکه تغذیه آبخوان عمیق از طریق ورودی زیرزمینی از آبخوان سطحی انجام می‌شود. لذا تغذیه آبخوان عمیق به میزان ۱۸۷/۳۱ میلیون

متر مکعب در سال نیز جزء خروجی زیرزمینی آبخوان سطحی محسوب شده لذا کل خروجی زیرزمینی آبخوان سطحی برابر ۲۰۰/۱۴ میلیون متر مکعب در سال برآورد می‌گردد.

جدول ۴-۶: مقادیر خروجی زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان

شماره مقطع	طول مقطع m	گرادیان هیدرولیکی در ۱۰۰۰	قابلیت انتقال day,m2	حجم جریان MCM
۱۴	۱۰۲۸۲	۲/۷۶	۲۲۰	۲/۲۸
۱۵	۵۳۰۳	۲/۲۵	۱۷۰	-/۷۴
۱۶	۸۸۰۵	۴/۴۲	۲۵۰	۳/۵۵
۱۷	۸۱۷۲	۳/۵۷	۲۵۰	۲/۶۶
۱۸	۹۸۶۹	۲/۹۱	۲۵۰	۲/۶۲
۱۹	۵۹۳۷	۱/۶۹	۱۵۰	-/۵۵
۲۰	۲۶۴۱	۲/۹۵	۱۵۰	-/۴۳
مجموع خروجی زیرزمینی				۱۲/۸۳



شکل ۴-۹: مقادیر خروجی آب زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان آزاد

۴-۷-۶- تبخیر از آب زیرزمینی (E)

تبخیر از آب زیرزمینی به عمق سطح آب زیرزمینی، درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی هوا، نوع و بافت خاک، سرعت باد و غلظت املاح آب بستگی دارد. در بین این عوامل، عمق سطح آب زیرزمینی عامل اصلی محسوب می‌گردد. مقدار تبخیر از لایه آبداری که در عمق بیشتر از ۵ متری قرار دارد، قابل چشم پوشی می‌باشد. با توجه به نقشه هم‌عمق، نواحی که عمق آب زیرزمینی کمتر از ۵ متر داشتند، در محیط GIS مشخص شده و مساحت آنها اندازه‌گیری شده است. این مناطق در نقاط شمالی دشت واقع شده‌اند.

۴-۷-۷- بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان (W)

اصولاً برداشت از آب زیرزمینی به سه صورت انجام می‌گیرد که عبارتند از چشمه، قنات و چاه‌ها. بر اساس آمار موجود مجموع تخلیه از چاه‌های کم عمق کشاورزی، شرب و صنعت در محدوده بیلان ۵۹/۴۸ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد (جدول ۴-۷).

جدول ۴-۷: میزان بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی سطحی آزاد حوضه قره‌سو

منبع	مصرف	شرب	صنعت	کشاورزی	بلااستفاده	مجموع
چاه	۲/۶۶	۰/۱۲	۰	۵۰/۰۶	۰	۵۲/۸۴
چشمه	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۲۶
قنات	۰	۰	۰	۱/۵۹	۴/۷۹	۶/۳۸
مجموع	۲/۶۶	۰/۱۲	۰	۵۱/۷۲	۴/۹۸	۵۹/۴۸

۴-۷-۸- زهکشی از آب زیرزمینی و چشمه‌ها (D)

زهکشی از آبخوان توسط کانال‌های زهکشی و رودخانه‌های زاینده انجام می‌شود. از آنجایی که آمار مدونی از میزان زهکشی آبخوان در دسترس نمی‌باشد، با مجهول قرار دادن این مؤلفه در معادله بیلان میزان زهکشی از محدوده بیلان برابر $1/71$ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

۴-۷-۹- تغییرات حجم مخزن آبخوان آزاد در دوره بیلان

براساس معادله بیلان آب زیرزمینی تغییرات حجم مخزن به صورت زیر محاسبه شده است.

$$Q_{in} + R_p + R_r + R_w - (Q_{out} + D + E + W) = \pm \Delta V$$

$$(148/78 + 39/6 + 10/6 + 73/51) - (200/14 + 1/71 + 13/62 + 59/48) = -2/46 \text{ (M.C.M)}$$

۴-۸- بیلان آبخوان عمیق تحت فشار

با توجه به وجود لایه‌های رس متراکم که موجب محبوس شدن این لایه‌های آبدار شده است لذا آبخوان عمیق ارتباط مستقیم با آبهای سطحی نداشته و تغذیه توسط باران، رودخانه‌ها و آب برگشتی مصارف صفر منظور شده و همچنین تبخیر از آبخوان و زهکشی نیز از آبخوان عمیق انجام نمی‌شود. پارامتر تغذیه آبخوان فقط شامل ورودی زیرزمینی می‌باشد. با توجه به اینکه مرز آبخوان عمیق با آبخوان تک لایه آزاد در نقاط مختلف دشت مشخص نمی‌باشد لذا با مجهول قرار دادن این مؤلفه در معادله بیلان میزان ورودی زیرزمینی به آبخوان عمیق برابر $187/31$ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

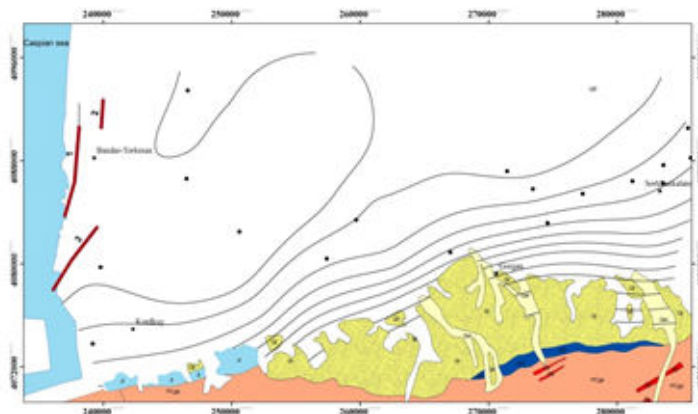
۴-۸-۱- جریان خروجی زیرزمینی (Q_{out})

مقاطع خروجی جریان آب زیرزمینی با توجه به نقشه هم پتانسیل آبخوان عمیق استخراج شده است (شکل ۴-۱۰). بر پایه معادله داری، مقاطع ورودی، گرادیان هیدرولیکی و قابلیت انتقال هر یک

از این مقاطع، مقدار جریان‌های خروجی زیرزمینی آبخوان تحت فشار در حدود ۱/۳۱ میلیون متر مکعب محاسبه شده است (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۸: مقادیر خروجی زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان تحت فشار دشت قره‌سو

شماره مقطع	طول مقطع m	گرادیان هیدرولیکی در ۱۰۰۰	قابلیت انتقال day/m ²	حجم جریان MCM
۱	۶۹۲۰	۲/۶۱	۱۰۰	۰/۶۶
۲	۲۱۳۷	۲/۷۵	۱۰۰	۰/۲۱
۳	۵۹۱۲	۲/۰۶	۱۰۰	۰/۴۴
مجموع خروجی زیرزمینی				۱/۳۱



شکل ۴-۱۰: موقعیت خروجی زیرزمینی از مقاطع مختلف آبخوان تحت فشار دشت قره‌سو

۴-۸-۲- بهره‌برداری از آبخوان محبوس (W)

مجموع تخلیه آبخوان محبوس برابر ۱۸۷/۲۸ میلیون متر مکعب بوده که ۱۴۱/۵۴ میلیون متر مکعب آن برای کشاورزی و ۴۵/۷۴ میلیون متر مکعب نیز برای شرب و صنعت مصرف می‌شود (جدول ۴-۹).

جدول ۴-۹: میزان بهره‌برداری از آبخوان محبوس حوضه قره‌سو

منبع / مصرف	شرب	صنعت	کشاورزی	بلااستفاده	مجموع
چاه	۴۴/۱۴	۱/۶	۱۴۱/۵۴	۰	۱۸۷/۲۸
چشمه	۰	۰	۰	۰	۰
قنات	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۴۴/۱۴	۱/۶	۱۴۱/۵۴	۰	۱۸۷/۲۸

۴-۸-۳- تغییرات حجم مخزن آبخوان عمیق در دوره بیلان

براساس معادله بیلان آب زیرزمینی تغییرات حجم مخزن آبخوان تحت فشار به صورت زیر محاسبه شده است.

$$Q_{in} + R_p + R_r + R_w - (Q_{out} + D + E + W) = \pm \Delta V$$

$$(۱۸۷/۳۱+۰+۰+۰) - (۱/۳۱+۰+۰+۱۸۷/۲۸) = -۱/۲۸ \text{ (M.C.M)}$$

بنابراین خلاصه محاسبات بیلان آبخوان‌های آبرفتی و محبوس حوضه قره‌سو به صورت جدول زیر

مورد ارزیابی قرار گرفته است (جدول ۴-۱۰).

جدول ۴-۱: خلاصه محاسبات مربوط به پارامترهای بیلان آبخوان‌های آبرفتی حوضه قره‌سو (میلیون مترمکعب)

تخلیه (M.C.M)	تغذیه (M.C.M)	پارامترهای بیلان	
	۱۴۸/۷۸	جریان ورودی آب زیرزمینی	آبخوان آزاد
	۳۹/۶	نفوذ از بارندگی	
	۱۰/۶	نفوذ از جریان‌ات سطحی و سیلابها	
	۷۳/۵۱	آب برگشتی از مصارف	
۲۰۰/۱۴		جریان خروجی آب زیرزمینی	
۱/۷۱		زهکشی از آب زیرزمینی	
۵۹/۴۸		برداشت از چاه‌ها ، چشمه و قنات	
۱۳/۶۲		تبخیر از سطح سفره آب زیرزمینی	
۲۷۴/۹۵	۲۷۲/۴۹	مجموع	
-۲/۴۶		تغییرات حجم مخزن	
	۱۸۷/۳۱	جریان ورودی آب زیرزمینی	آبخوان محبوس
	۰	نفوذ از بارندگی	
	۰	نفوذ از جریان‌ات سطحی و سیلابها	
	۰	آب برگشتی از مصارف	
۱/۳۱		جریان خروجی آب زیرزمینی	
۰		زهکشی از آب زیرزمینی	
۱۸۷/۲۸		برداشت از چاه‌ها ، چشمه و قنات	
۰		تبخیر از سطح سفره آب زیرزمینی	
۱۸۸/۵۹	۱۸۷/۳۱	مجموع	
-۱/۲۸		تغییرات حجم مخزن	

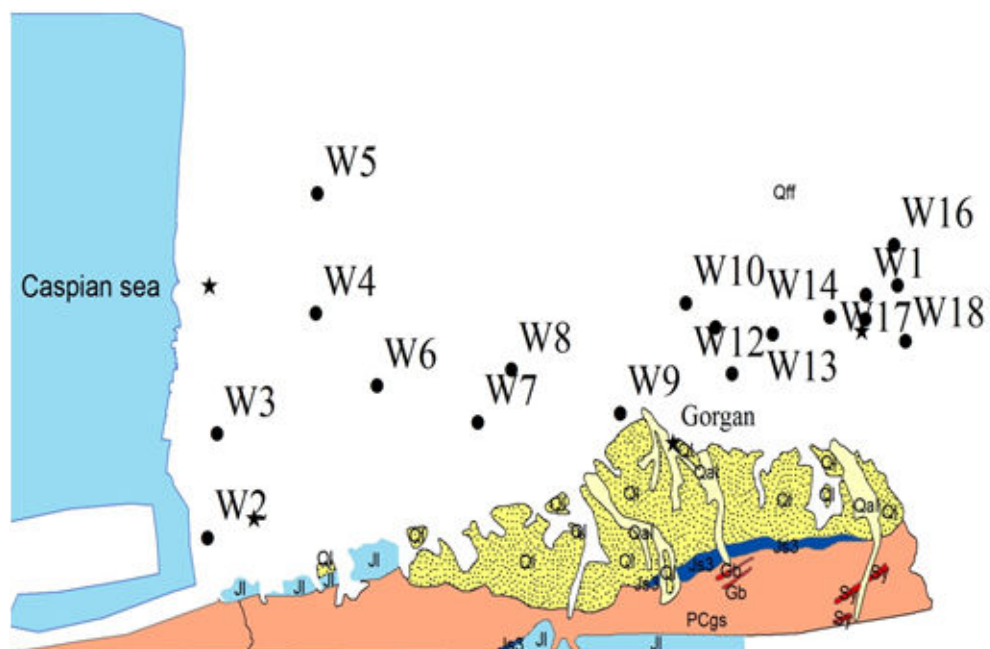
۴-۹- هیدروژئوشیمی آبخوان حوضه قره‌سو

امروزه با پیشرفت صنایع و افزایش جمعیت بشر و عدم رعایت استانداردهای زیست محیطی، خطرات زیادی از لحاظ آلودگی منابع آبی وجود دارد. اما متأسفانه بیشتر منابع از لحاظ کمی مورد مطالعه قرار گرفته و مطالعات کیفی آب به دست فراموشی سپرده شده است. از آنجا که آب زیرزمینی به عنوان اصلی‌ترین منبع ذخیره آب شیرین مورد توجه و استفاده بشر است، تعیین خصوصیات کیفی آن جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین ارزیابی پارامترهای موثر بر تغییر کیفیت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. به منظور بررسی خصوصیات کیفی آبخوان پارامترهایی همچون دمای آب،

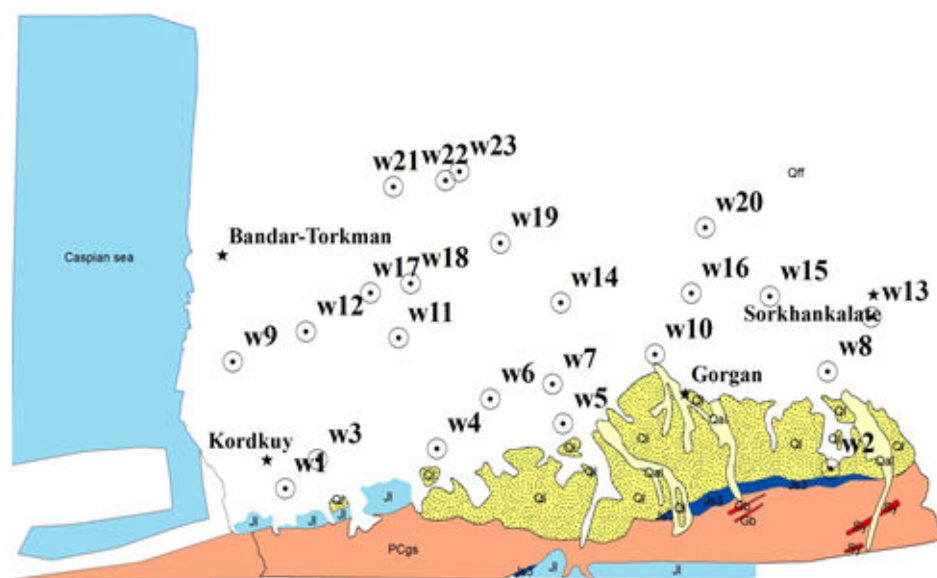
pH و هدایت الکتریکی در محل نمونه برداری و مقدار یون های اصلی در محل آزمایشگاه اندازه گیری می گردند. همچنین نقشه ها و نمودارهای هیدروژئوشیمیایی شامل نقشه هدایت الکتریکی، نقشه یون های اصلی (مانند کلر، سولفات، بی کربنات، سدیم، کلسیم و منیزیم)، نمودارهای پایپر، استیف، شولر و ویلکاکس، نقشه های اشباع (مانند هالیت، دولومیت و کلسیت) و نمودارهای ترکیبی براساس نتایج هیدروژئوشیمی حاصله از چاه های انتخابی تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

۴-۱۰- داده های هیدرووشیمیایی

به منظور ارزیابی هیدروژئوشیمیایی حوضه قره سو، داده های هیدرووشیمیایی یک فصل آبی ۱۸ حلقه چاه در آبخوان آزاد و ۲۳ حلقه چاه در آبخوان محبوس مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۴-۱۱) موقعیت چاه های نمونه برداری برای آبخوان کم عمق و شکل (۴-۱۲) موقعیت چاه های نمونه برداری برای آبخوان عمیق را نشان می دهد. نتایج آنالیز چاه های آب منطقه در سال آبی مذکور برای دو فصل تر و خشک در جدول های (۴-۱۱) تا (۴-۱۴) ارائه شده است. برای اطمینان بیشتر از داده های سازمان آب منطقه ای، از چند موقعیت بصورت تصادفی نمونه برداری صورت گرفت و نمونه ها در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود مورد آنالیز قرار گرفت.



شکل ۴-۱۱: موقعیت چاه‌های نمونه برداری در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو



شکل ۴-۱۲: موقعیت چاه‌های نمونه برداری در آبخوان تحت فشار حوضه قره‌سو

جدول ۴-۱۱: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان کم عمق پاییز ۹۴

درصد خطاها	جمع آنیون‌ها	غلظت آنیون‌ها meq/l			جمع کاتیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها meq/l				Ec $\mu\text{m/cm}$	مختصات		شماره چاه
		Hco3	Cl	So4		Ca	Mg	Na	K		utm	utmy	
0.02	4.452	3.7	0.3	0.31	4.45	3.3	1	0.1	0.05	1311	283619	4087644	W1
0.08	15.526	9.5	3.1	2.2	15.5	3	3.5	4.12	4.88	1444	239176	4073770	W2
0.03	37.863	10.8	14.7	11.96	37.84	10.6	9.6	16.9	0.74	3800	239788	4079718	W3
0.12	29.893	6.7	11.6	11.44	29.82	9	8.8	11.28	0.74	2740	246483	4086582	W4
0.31	295.108	3.1	240	52	293.28	29	90	174	0.28	27500	246579	4093429	W5
0.16	18.881	11	3.7	4.16	18.82	2.9	9.8	5.95	0.17	1833	250600	4082466	W6
0.35	9.284	6.5	1.1	1.41	9.22	3.3	4.4	1.46	0.06	901	257401	4080379	W7
0.32	9.753	6.9	1	1.24	9.69	4.5	3.6	1.56	0.03	936	259700	4083379	W8
0.04	14.593	9	2.8	2.49	14.58	5.2	6.4	2.92	0.06	1413	267034	4080876	W9
0.06	44.511	8.5	3.5	32.44	44.56	13.5	23.2	7.8	0.06	4200	271453	4087175	W10
0.35	17.604	7.5	3.8	5.82	17.48	7.8	6.6	3	0.08	1593	273451	4085781	W11
0.13	14.93	6.5	3.3	4.58	14.97	5.8	6.2	2.92	0.05	1477	274595	4083144	W12
0.03	12.468	7	1.8	3.66	12.46	5.3	4.7	2.4	0.06	1130	277331	4085415	W13
0.09	12.984	7.2	1.9	3.41	12.96	5.8	4.6	2.52	0.04	1232	281202	4086394	W14
0.13	15.07	8.7	2.5	3.16	15.03	4.8	6.5	3.68	0.05	1387	283582	4086245	W15
0.26	14.485	9.5	1.6	3.12	14.41	4.2	6.8	2.6	0.81	1380	285530	4090504	W16
0.14	13.272	7.8	1.3	4.08	13.31	4.9	6.1	2.28	0.03	1270	285752	4088199	W17
0.31	15.114	8.5	1.6	4.82	15.02	8.3	5.6	1.08	0.04	1382	286309	4084994	W18

جدول ۴-۱۲: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان کم عمق بهار ۹۵

درصد خطاها	جمع آنیون‌ها	غلظت آنیون‌ها meq/l			جمع کاتیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها meq/l				Ec $\mu\text{m/cm}$	مختصات		شماره چاه
		Hco3	Cl	So4		Ca	Mg	Na	K		utm	utmy	
0.07	7.02	5.1	0.7	0.92	7.03	4.8	1.7	0.41	0.12	1320	283619	4087644	W1
0.11	18.32	10.4	2.9	3.95	18.28	5.5	4.1	3	5.68	1801	239176	4073770	W2
0	37.1	9.8	10.4	15.81	37.1	10.6	9.6	15.1	1.8	3600	239788	4079718	W3
0.08	66.67	9.4	20.5	36.61	66.57	18.8	21.6	22.12	4.05	6490	246483	4086582	W4
0.02	322.45	3.5	248	70.72	322.35	28	82	212	0.35	31500	246579	4093429	W5
0.07	7.41	5.2	0.9	1.25	7.42	1.2	3.5	2.66	0.06	892	250600	4082466	W6
0.48	9.35	6.5	0.8	1.46	9.26	3.4	4.4	1.4	0.06	918	257401	4080379	W7
0.11	9.41	7	0.7	1.04	9.43	4.4	3.6	1.4	0.03	889	259700	4083379	W8
0.13	14.86	8.8	3	2.81	14.9	5	6.8	3.04	0.06	1432	267034	4080876	W9
0.17	9.08	3.6	1.7	3.66	9.05	2.8	4.2	2	0.05	1410	271453	4087175	W10
0.05	18.62	8.2	4.2	5.82	18.64	8.1	6.9	3.56	0.08	1795	273451	4085781	W11
0.16	15.41	5.1	3.2	4.33	15.36	5.6	6.6	3.12	0.04	1455	274595	4083144	W12
0.12	12.45	7	1.6	3.74	12.48	4.1	5.8	2.52	0.06	1152	277331	4085415	W13
0.04	12.41	7.6	1.6	2.79	12.42	4.5	5.6	2.28	0.04	1194	281202	4086394	W14
0.1	14.65	8.5	2.4	3.33	14.68	5.2	6.3	3.12	0.06	1394	283582	4086245	W15
0.1	14.47	9.2	1.4	3.54	14.44	3.2	6	3.04	2.2	1350	285530	4090504	W16
0.21	14.12	8.1	1.3	4.16	14.06	4.8	6.5	2.72	0.04	1367	285752	4088199	W17
0.04	13.79	8	1.5	4.26	13.78	5.9	6.6	1.24	0.04	1309	286309	4084994	W18

جدول ۴-۱۳: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان عمیق پاییز ۹۴

درصد خطاها	جمع آنیون‌ها	غلظت آنیون‌ها /meq			جمع کاتیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها /meq				Ec $\mu\text{m/cm}$	مختصات		شماره چاه
		Hco3	Cl	So4		Ca	Mg	Na	K		utm	utm	
0.04	14.983	5.1	8.9	0.83	14.97	4.6	4.3	6.04	0.03	1502	243558	4073050	w1
0.36	7.635	5.4	1.2	0.83	7.69	2.9	3.3	1.46	0.03	728	280470	4074325	w2
0.24	6.863	5.1	1.2	0.41	6.83	3.2	2.2	1.4	0.03	633	245740	4074928	w3
0.52	6.779	5.7	0.6	0.25	6.85	3.7	2.5	0.62	0.03	657	253811	4075635	w4
0.6	6.832	5.5	0.5	0.7	6.75	3.6	2.5	0.62	0.03	644	262350	4077250	w5
0.29	7.493	6	0.5	0.83	7.45	3.8	2.8	0.82	0.03	681	257422	4078860	w6
0.41	7.774	6.4	0.6	0.58	7.71	3.2	3.7	0.78	0.03	704	261634	4079811	w7
0.31	8.785	5.3	1.2	2.04	8.73	3.8	3.6	1.3	0.03	812	280261	4080625	w8
0.17	22.362	7.3	14.6	0.41	22.44	3.5	3.4	15.5	0.04	2220	240013	4081268	w9
0.3	7.093	5.5	0.9	0.54	7.05	3.3	2.7	1.02	0.03	652	268567	4081749	w10
0.15	8.315	6.2	1.2	0.71	8.29	3	3.2	2.06	0.03	771	251226	4082810	w11
0.02	7.993	5.9	1.1	0.83	7.99	3.7	2.7	1.56	0.03	760	244968	4083236	w12
0.61	7.501	5.1	0.8	1.29	7.41	3.5	3.1	0.78	0.03	686	283206	4084165	w13
0.2	10.24	6.9	1.3	1.24	10.2	3.9	5	1.26	0.04	961	262200	4085100	w14
0.19	8.322	5.4	1	1.87	8.29	2.5	4.3	1.46	0.03	759	276354	4085519	w15
0.26	9.093	5.3	1.4	2.28	9.14	3.1	3.9	2.1	0.04	852	271039	4085706	w16
0.02	8.453	6.2	1.3	0.83	8.45	3.5	3.4	1.52	0.03	778	249327	4085735	w17
0.45	8.395	6.2	1.2	0.79	8.32	3.2	3.6	1.46	0.06	760	252042	4086352	w18
0.02	8.834	6.3	1.4	0.95	8.83	3.2	3.9	1.68	0.05	880	258112	4088972	w19
0.4	8.891	5.9	1.1	1.83	8.82	3.1	2.3	3.38	0.04	821	271972	4089974	w20
0.02	8.093	6	1.1	0.83	8.09	3.3	3.2	1.56	0.03	764	250863	4092631	w21
0.01	8.612	5.9	1.5	0.12	8.61	2.7	3.5	2.32	0.09	793	254398	4093034	w22
0.07	8.401	6.2	1.3	0.83	8.39	3.3	3.5	1.56	0.03	767	255337	4093625	w23

جدول ۴-۱۴: نتایج آنالیز کیفی منابع آب حوضه قره‌سو؛ آبخوان عمیق بهار ۹۵

درصد خطاها	جمع آنیون‌ها	غلظت آنیون‌ها /meq			جمع کاتیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها /meq				Ec $\mu\text{m/cm}$	مختصات		شماره چاه
		Hco3	Cl	So4		Ca	Mg	Na	K		utm	utm	
0.14	13.97	5.1	8.3	0.42	14.01	4.4	4.7	4.88	0.03	1397	243558	4073050	w1
0.32	7.95	5.1	1	1.33	7.9	3.3	3.1	1.46	0.04	772	280470	4074325	w2
0.15	6.69	5.2	0.8	0.46	6.67	3.3	2.1	1.24	0.03	607	245740	4074928	w3
0.07	6.87	5.7	0.6	0.27	6.88	3.8	2.5	0.55	0.03	643	253811	4075635	w4
0.14	7.05	5.6	0.5	0.73	7.03	3.8	2.6	0.6	0.03	649	262350	4077250	w5
0.43	7.01	5.6	0.4	0.71	7.07	3.8	2.4	0.84	0.03	652	257422	4078860	w6
0.06	7.81	6.4	0.5	0.58	7.82	3.2	3.9	0.68	0.04	710	261634	4079811	w7
0.46	8.61	5.2	1.1	2.16	8.69	3.9	3.3	1.46	0.03	802	280261	4080625	w8
0.04	22.72	7.4	13.6	1.66	22.7	2.6	2.8	17.25	0.05	2200	240013	4081268	w9
0.27	7.29	5.4	1.2	0.56	7.33	3.4	2.9	1	0.03	667	268567	4081749	w10
0.06	8	5.7	1.1	0.77	7.99	4	2.6	1.36	0.03	750	251226	4082810	w11
0.19	7.99	6.2	1	0.73	7.96	3.6	3	1.33	0.03	747	244968	4083236	w12
0.07	7.4	5.2	0.8	1.1	7.41	4.1	2.6	0.68	0.03	672	283206	4084165	w13
0.1	10.08	6.7	1.3	1.25	10.1	5.3	3.6	1.16	0.04	983	262200	4085100	w14
0.25	8.05	5.1	0.9	1.87	8.01	3	3.3	1.68	0.03	744	276354	4085519	w15
0	9.39	5.2	1.4	2.79	9.39	2.6	4.2	2.54	0.05	864	271039	4085706	w16
0.06	8.03	6	1.1	0.79	8.02	3.1	3.1	1.78	0.04	740	249327	4085735	w17
0.24	8.23	6	1.2	0.81	8.19	3.4	3.5	1.26	0.03	750	252042	4086352	w18
0.31	9.63	6.7	2	0.75	9.69	2.9	3.9	2.8	0.09	928	258112	4088972	w19
0.28	8.8	6	1.1	1.66	8.75	3.3	2.3	3.02	0.13	811	271972	4089974	w20
0.45	7.72	6.1	1.1	0.42	7.79	3.4	2.8	1.56	0.03	747	250863	4092631	w21
0.2	9.85	7.2	2.1	0.54	9.89	2.8	3.2	3.76	0.13	925	254398	4093034	w22
0.25	8.06	6	1.2	0.75	8.02	3.1	3.2	1.68	0.04	750	255337	4093625	w23

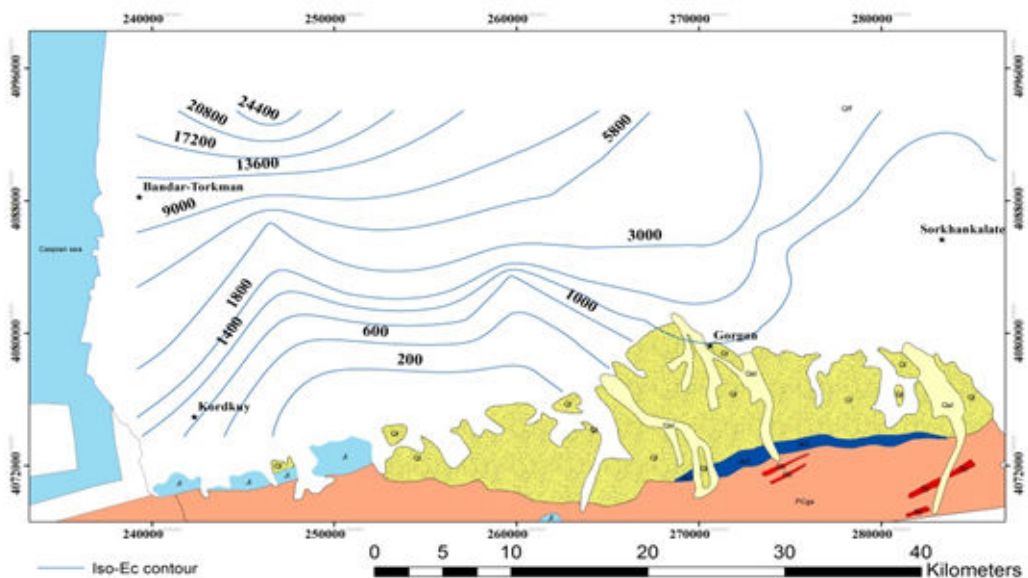
۴-۱۱- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان

مطالعات هیدروشیمی جهت تعیین محل تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی، تغییرات املاح آب‌های زیرزمینی در طول مسیر حرکت و بررسی اثرات زمین‌شناسی بر روی آب زیرزمینی و نیز نفوذ آب‌شور دریا به داخل حوضه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به این منظور با استفاده از داده‌های کیفی طولانی مدت اقدام به تهیه نقشه‌های هم EC، هم سولفات و هم کلر کرده و سپس تغییرات یون‌های دیگر از جمله منیزیم، کلسیم، بی‌کربنات و سدیم در منابع مختلف با استفاده از جدیدترین آنالیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین با استفاده از نمودارهای ترکیبی برای جدیدترین آنالیز (بهار ۹۵) به تجزیه و تحلیل آبخوان مورد مطالعه پرداخته شده است. علاوه بر موارد بالا برای مشخص شدن هرچه بهتر وضعیت هیدروشیمیایی آبخوان حوضه قره‌سو از نمودارها متنوع دیگر مانند نمودار پایپر، استیف، شولر و ویلکاکس بهره گرفته شده است.

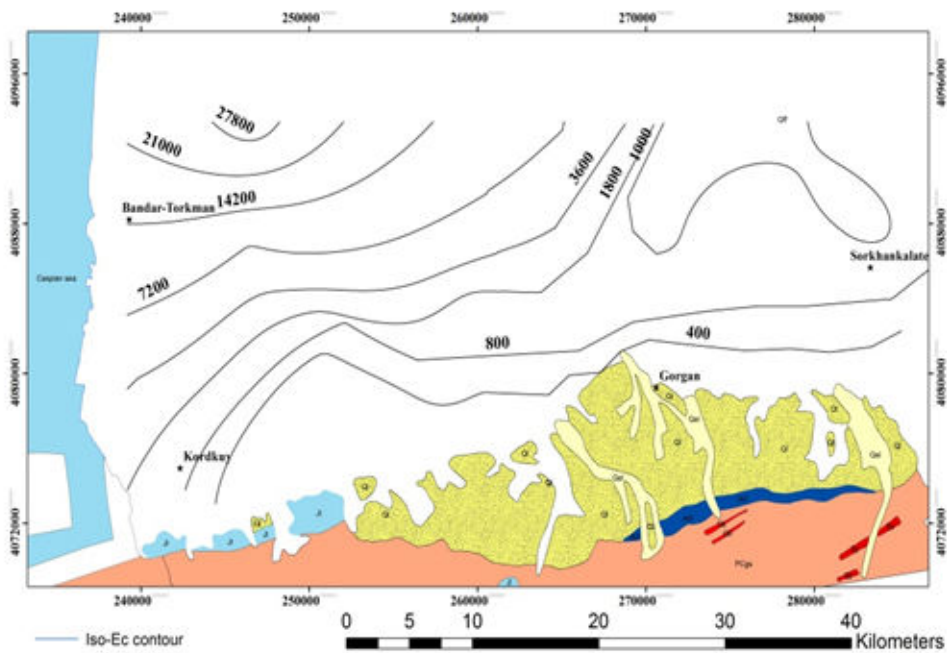
۴-۱۱-۱- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی

با بررسی تغییرات این پارامتر، می‌توان به تغییرات غلظت یون‌ها در مسیر حرکت جریان پی‌برد. عوامل بسیاری از جمله مقدار بارش، میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی، لیتولوژی آبخوان و سازندهای همجوار، زمان ماندگاری آب، سرعت حرکت آب زیرزمینی، زهاب‌های کشاورزی، ورود فاضلاب‌ها و نفوذ آب شور بر روی مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی تاثیر گذار می‌باشند. جهت بررسی تغییرات زمانی و مکانی هدایت الکتریکی در محدوده مورد مطالعه، نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی برای دو زمان مختلف در طی دو فصل آب پاییز ۹۴ و بهار ۹۵ با استفاده از آنالیز ۱۸ حلقه چاه در سفره آزاد و ۲۳ حلقه چاه در سفره محبوس ترسیم گردید. همانطور که قبلاً بیان شده است، حوضه قره‌سو از طریق نفوذ جبهه اصلی آب ورودی که از بخش جنوبی حوضه که ارتفاعات البرز در آن بخش واقع شده است تغذیه می‌گردد که این جریان آب در نهایت در بخش‌هایی از حوضه به سمت غرب تغییر مسیر داده و در نهایت به دریای مازندران تخلیه می‌گردد. در یک نگاه کلی به نقشه‌های هم‌هدایت

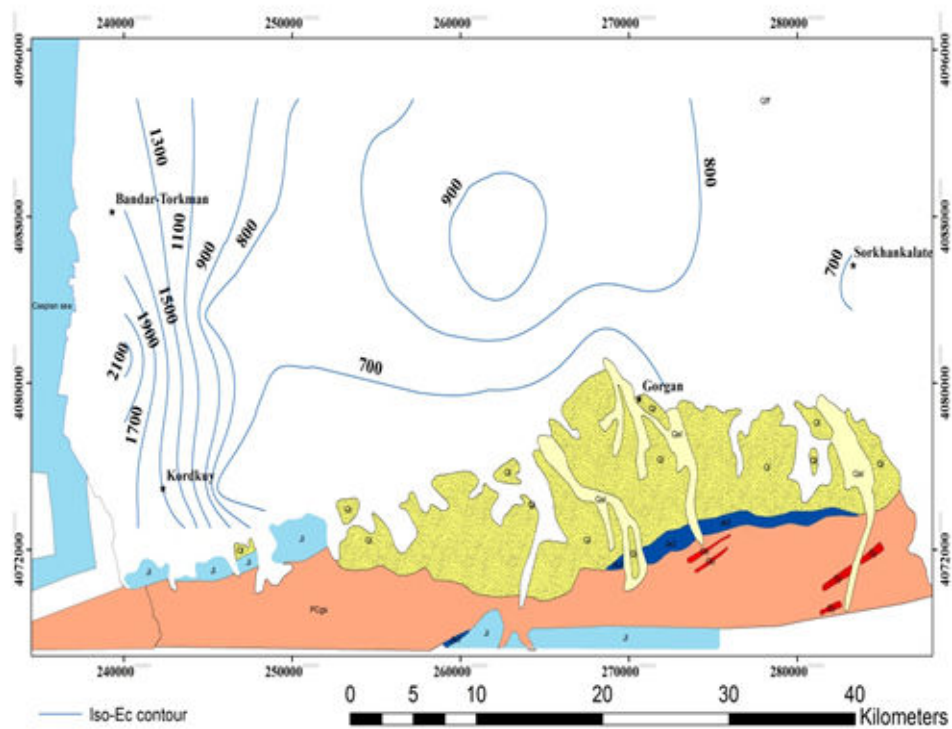
الکتریکی، تغییرات هدایت الکتریکی تقریباً با جهت جریان آب زیرزمینی یکسو می‌باشد، میزان EC در اکثر نقاط نمونه برداری در هر دو آبخوان آزاد و محبوس دارای روندی تقریباً مشابه می‌باشد، این در حالیست که مقادیر EC از محل تغذیه به سمت محل تخلیه در آبخوان آزاد از ۴۰۰ تا ۲۷۸۰۰ میکروموس بر سانتیمتر و در آبخوان محبوس از ۷۰۰ تا ۲۲۰۰ میکروموس بر سانتیمتر متغیر است. بالا بودن مقادیر هدایت الکتریکی در آبخوان آزاد حاکی از افزایش بی‌رویه برداشت از آبخوان و به تبع آن کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد. از طرفی بالا بودن میزان EC در بخش غربی حوضه در مجاورت دریای مازندران می‌تواند بدلیل وجود کفه‌های نمکی یا نفوذ آب شور دریا باشد که در بخش‌های بعدی به این موضوع پرداخته می‌شود. اشکال (۴-۱۳) تا (۴-۱۶) به ترتیب نقشه‌های هم‌هدایت الکتریکی برای پاییز ۱۳۹۴ و بهار ۱۳۹۵ برای سفره‌های آزاد و محبوس ترسیم شده است.



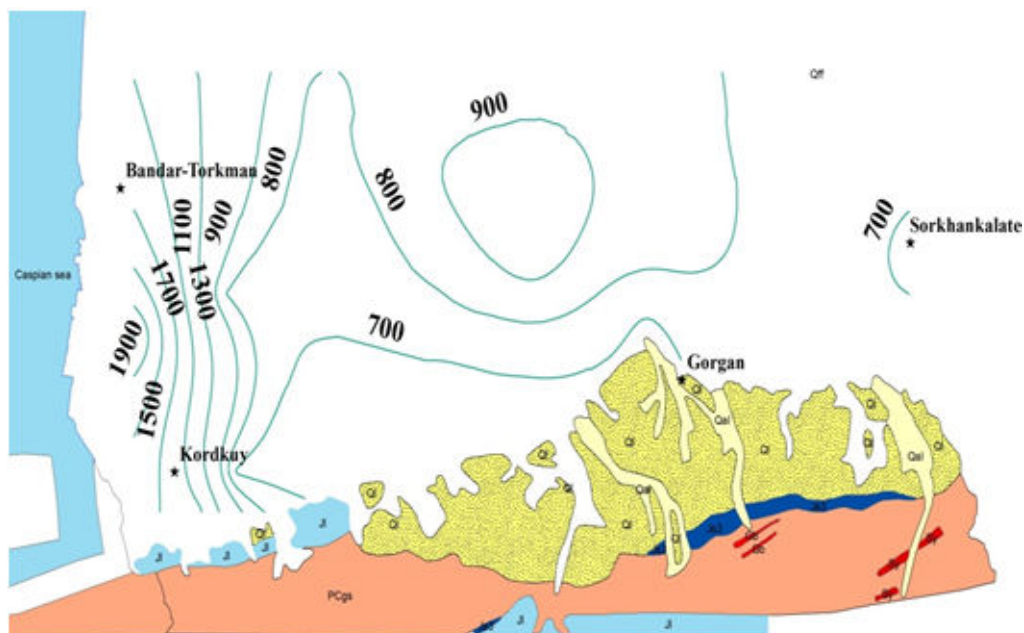
شکل ۴-۱۳: نقشه تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho}/\text{cm}$ (پاییز ۹۴)



شکل ۴-۱۴: نقشه تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho/cm}$ (بهار ۹۵)



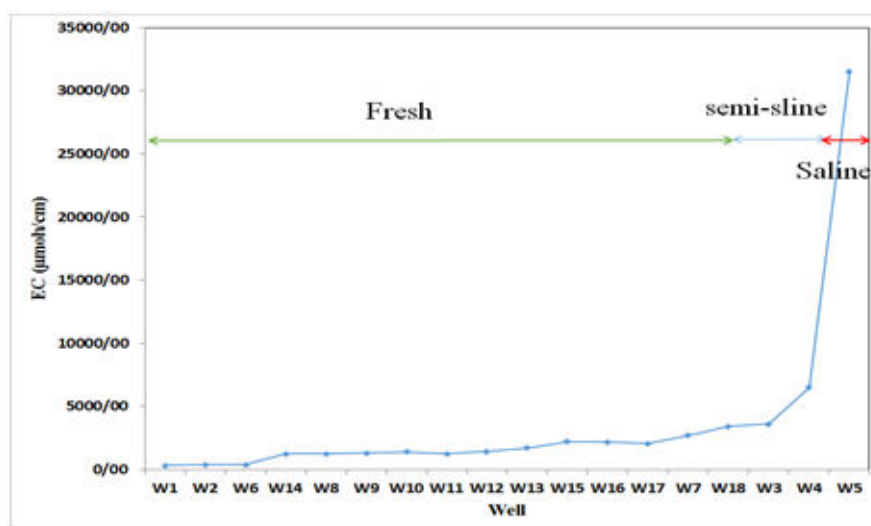
شکل ۴-۱۵: نقشه تغییرات هدایت الکتریکی در آبخوان محبوس حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho/cm}$ (پاییز ۹۴)



شکل ۴-۱۶: نقشه تغییرات EC در آبخوان محبوس حوضه قره‌سو غلظت بر حسب $\mu\text{mho/cm}$ (بهار ۹۵)

۴-۱۱-۲- بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در حوضه قره‌سو

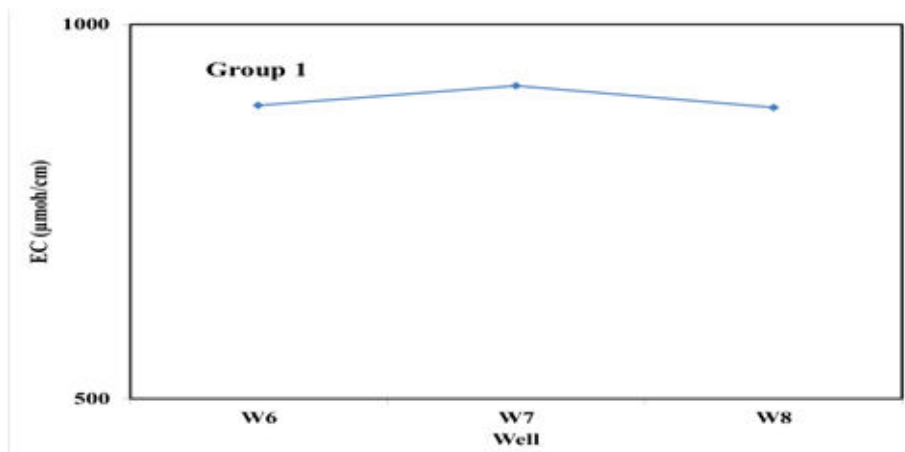
میزان هدایت الکتریکی با توجه به جهت جریان هرچه از سمت محل تغذیه به سمت محل تخلیه پیش می‌رویم بر مقدار آن افزوده می‌شود (شکل ۴-۱۷). چاه‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس مقادیر هدایت الکتریکی به سه گروه کلی تقسیم بندی شده‌اند.



شکل ۴-۱۷: تغییرات مکانی هدایت الکتریکی و گروه بندی چاه‌ها

۴-۱۱-۲-۱- گروه ۱- چاه‌های شیرین با بازه $EC < 1000 \mu\text{mho/cm}$:

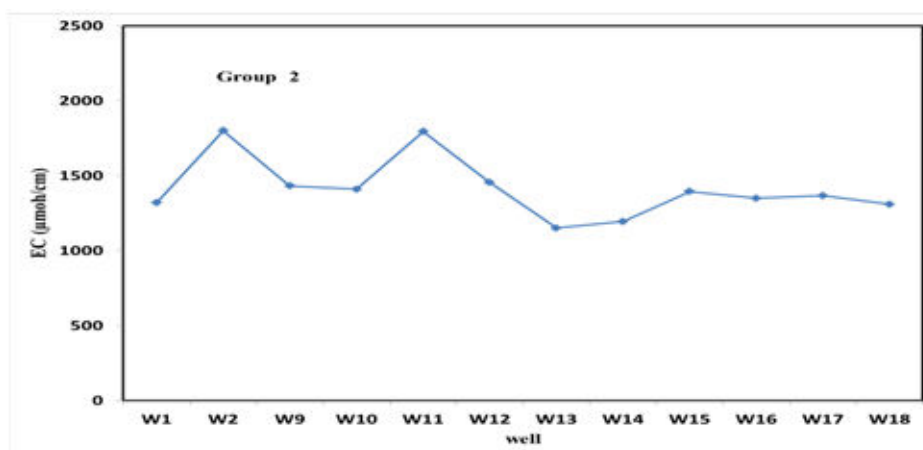
این گروه شامل چاه‌های شماره ۷ و ۸ برای آبخوان آزاد و تمامی چاه‌های آبخوان محبوس به استثنای چاه شماره ۱ و ۹ بوده که این دو چاه نیز در بخش غربی حوضه و در مجاورت دریای مازندران می‌باشد (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۸: چاه‌های با $EC < 1000$

۴-۱۱-۲-۲- گروه ۲- چاه‌های نیمه شور با بازه $1000 < EC < 2500 \mu\text{mho/cm}$:

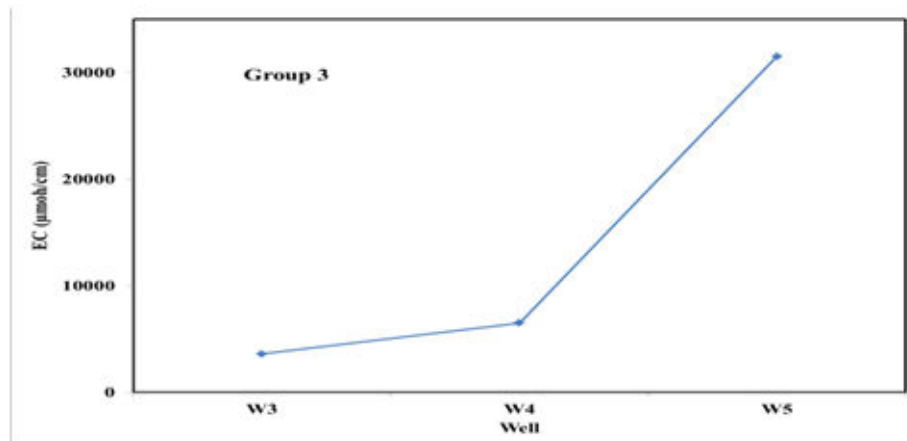
این گروه شامل چاه‌های شماره ۱، ۲، ۶، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ برای فصل پاییز آبخوان آزاد و نیز چاه‌های شماره ۱، ۲، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ برای فصل بهار آبخوان آزاد می‌باشد که عمدتاً در بخش شرقی و مرکزی حوضه واقع شده‌اند. همچنین چاه‌های شماره ۱ و ۹ آبخوان محبوس در این گروه واقع می‌شوند (شکل ۴-۱۹).



شکل ۴-۱۹: چاه‌های با $1000 < EC < 2500$

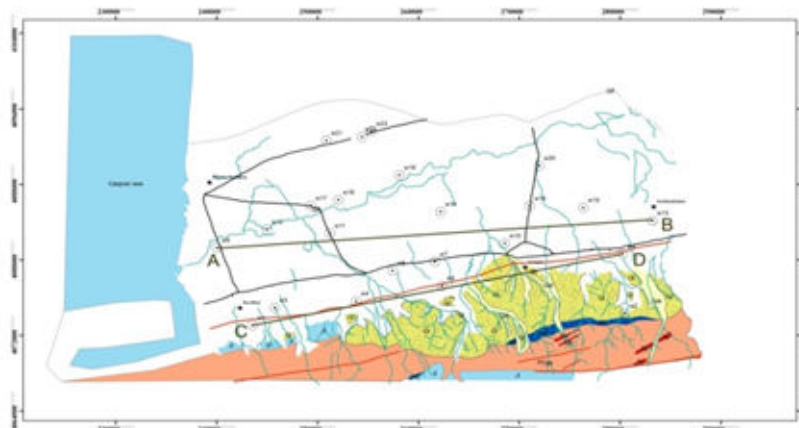
۴-۱۱-۲-۳- گروه ۳- چاه‌های شور با بازه $EC > 2500 \mu\text{mho/cm}$:

این گروه شامل چاه‌های شماره ۳، ۴ و ۵ در آبخوان آزاد می‌باشد که در منتهی الیه بخش غربی حوضه و در مجاورت دریای مازندران واقع شده‌اند همچنین چاه شماره ۱۰ نیز در این آبخوان برای فصل پاییز در این گروه قرار می‌گیرد (شکل ۴-۲۰).

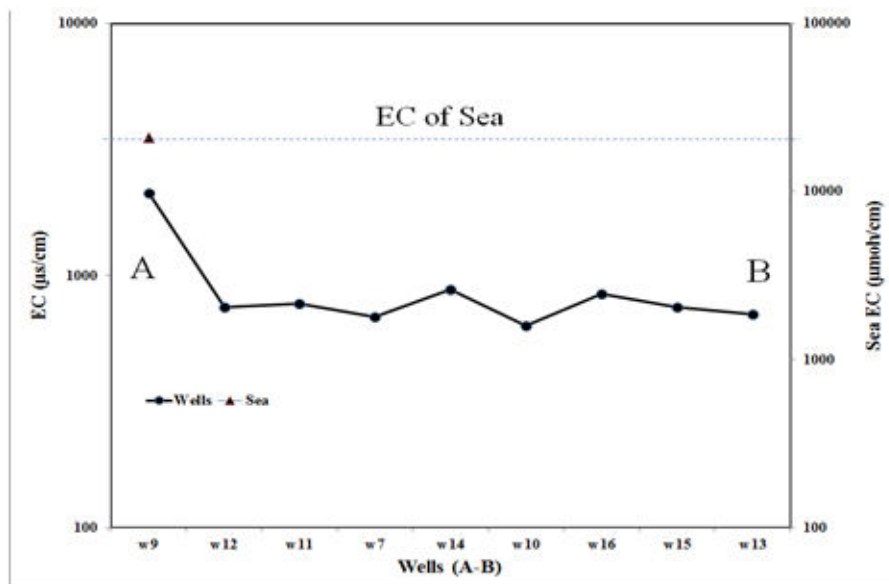


شکل ۴-۲۰: چاه‌های با $EC > 2500$

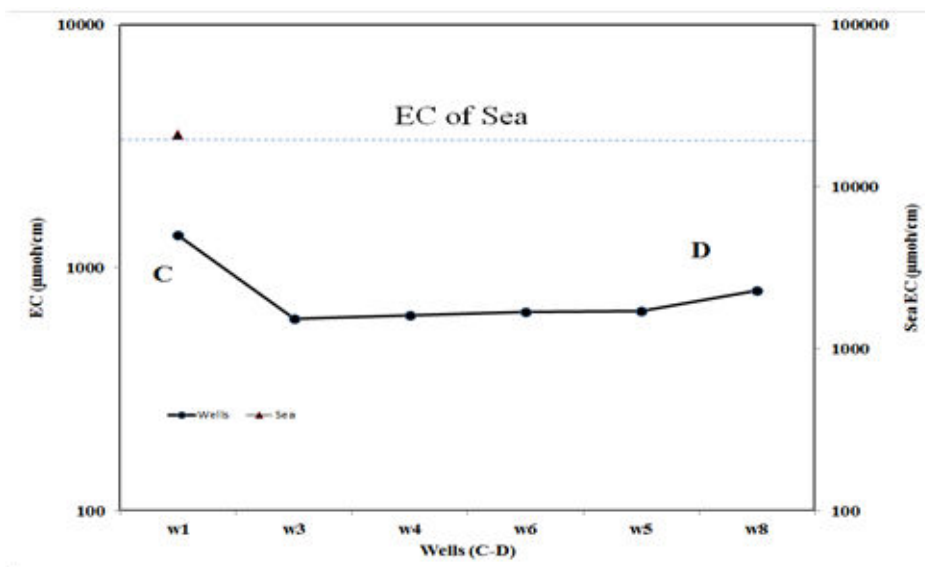
به منظور بررسی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در حوضه قره‌سو، دو پروفیل طولی از تغییرات هدایت الکتریکی با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی ترسیم (شکل ۴-۲۱) و این تغییرات در اشکال (۴-۲۲) و (۴-۲۳) ارائه شده است. همانگونه که در اشکال مذکور مشاهده می‌شود میزان هدایت الکتریکی در راستای جهت عمومی جریان در حوضه افزایش یافته است که این امر خود نشانگر محل تخلیه نیز می‌باشد.



شکل ۴-۲۱: پروفیل طولی در امتداد شرق-غرب منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۲۲: پروفیل A-B و نمایش تغییرات مکانی هدایت الکتریکی

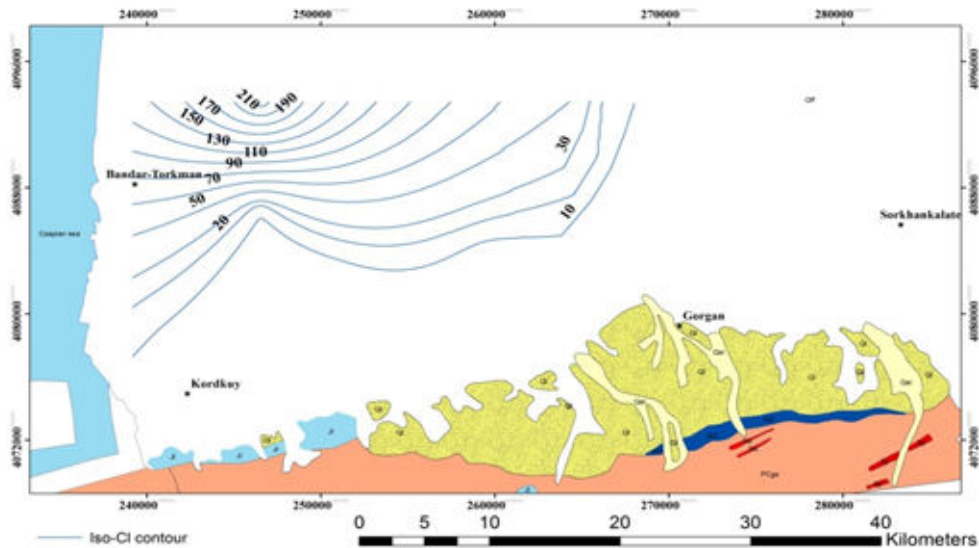


شکل ۴-۲۳: پروفیل C-D و نمایش تغییرات مکانی هدایت الکتریکی

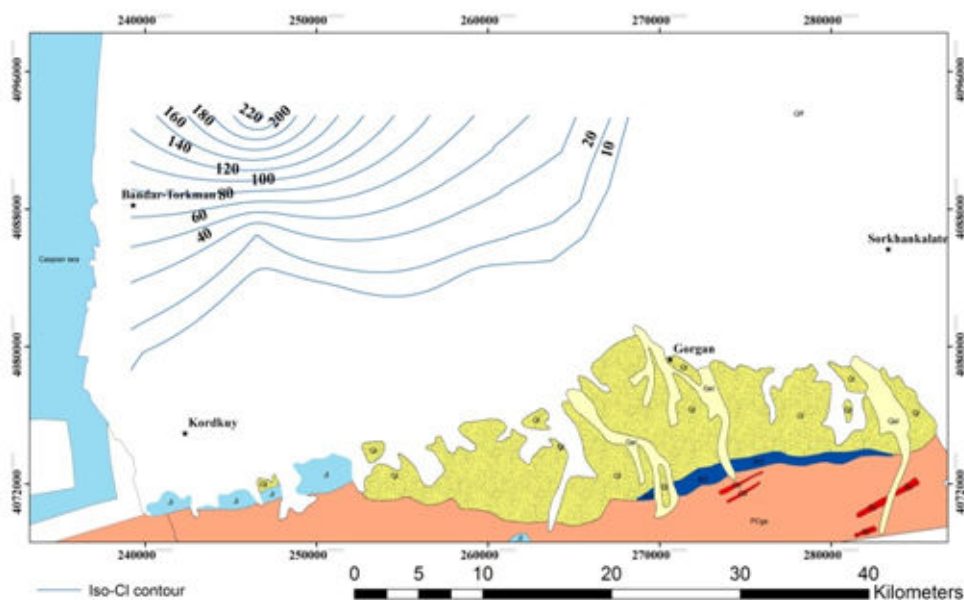
۴-۱۱-۳- بررسی تغییرات یون کلر

منشا اصلی کلر در طبیعت در سنگ های رسوبی می باشد ولی در سنگهای آذرین نیز به میزان کم می تواند وجود داشته باشد. یون کلر در آب های زیرزمینی از ۳ عامل نفوذ آب شور، انحلال هالیت و یا

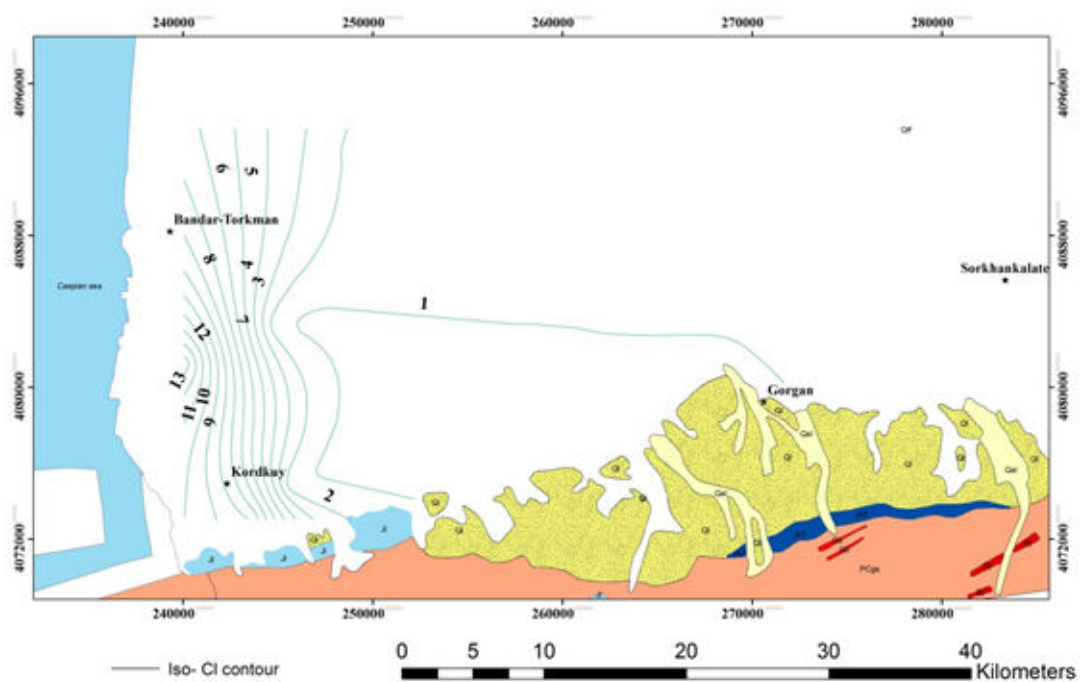
تبخیر منشا می گیرد. براساس سنجش های شیمیایی ، نقشه های هم کلاز دو آبخوان حوضه قره سو برای دوره پاییز ۹۴ و بهار ۹۵ تهیه گردیده است (اشکال ۴-۲۴ تا ۴-۲۷).



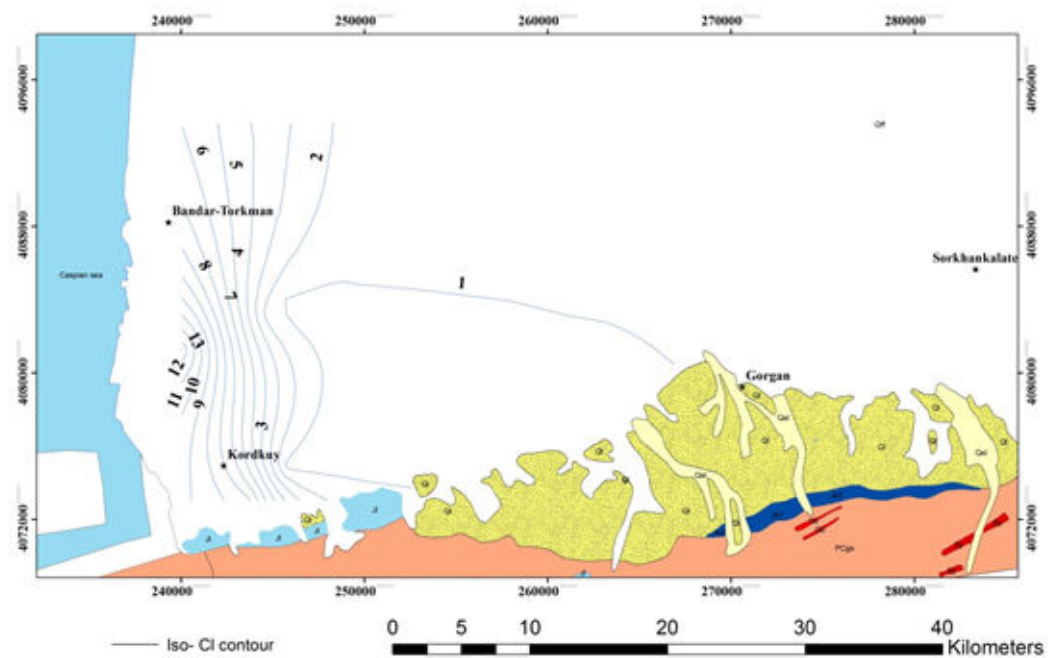
شکل ۴-۲۴: نقشه هم کلاز آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۲۵: نقشه هم کلاز آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۲۶: نقشه هم کلر آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)

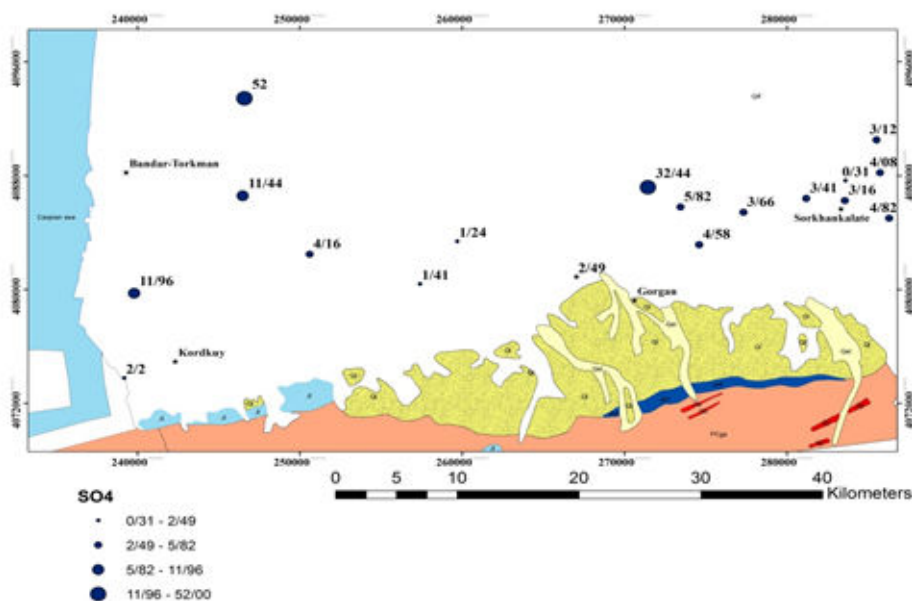


شکل ۴-۲۷: نقشه هم کلر آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)

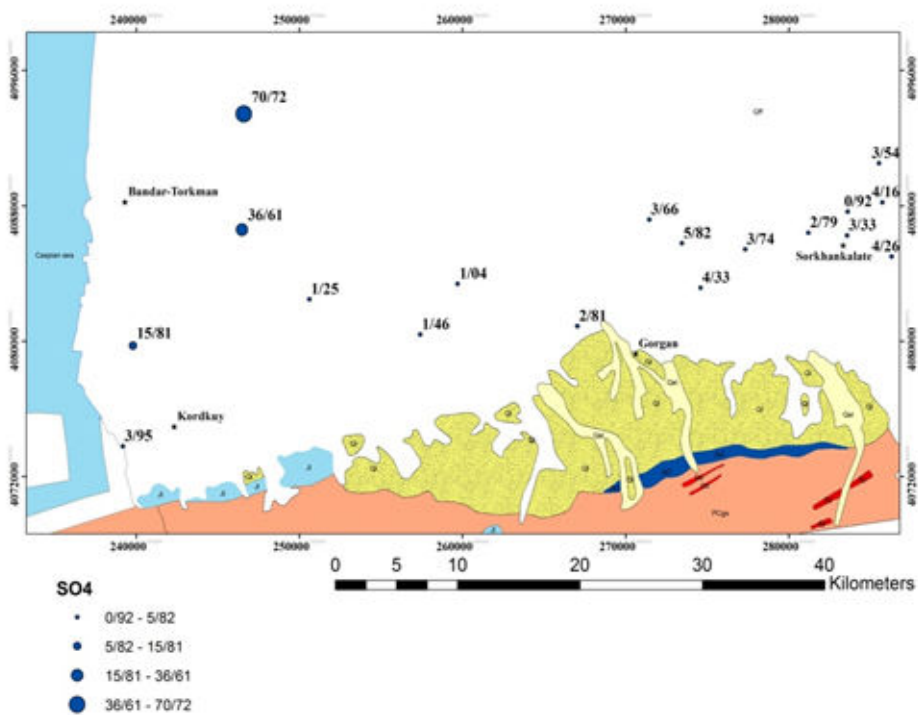
با توجه به نقشه‌های هم‌کلمشخص می‌شود که تشابه زیادی بین نقشه‌های هم‌کلر و هم‌هدایت الکتریکی آبخوان وجود دارد. در آبخوان آزاد همانطور که مشاهده می‌شود در کناره‌های شمال غربی حوضه غلظت یون کلر در حال افزایش می‌باشد، که این موضوع می‌تواند در اثر انحلال هالیت و با توجه به بالا سطح آب زیرزمینی تبخیر نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل افزایش یون کلر باشد. همچنین در آبخوان محبوس نیز میزان غلظت یون کلر در نزدیکی دریا به شدت افزایش می‌یابد که دلیل این امر می‌تواند نفوذ آب شور دریای مازندران باشد.

۴-۱۱-۴- بررسی تغییرات یون سولفات

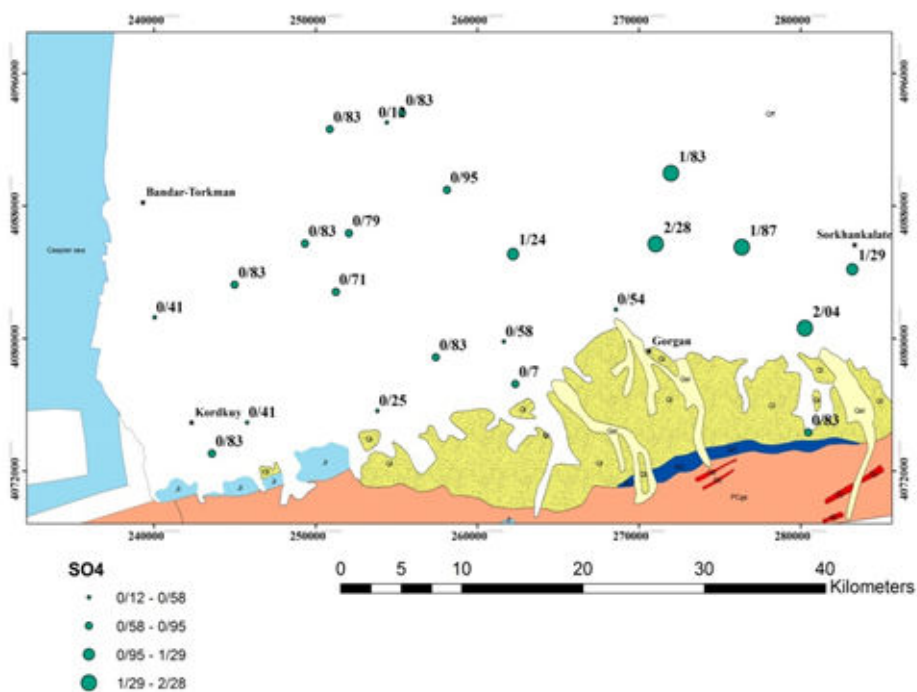
آنیون سولفات عمدتاً بصورت سولفات‌های منیزیم، کلسیم و پتاسیم یافت می‌شود. مهمترین منبع ورود این یون در آب‌های طبیعی عبارت است از سولفیدهای فلزی و تبخیری هاست. این سولفیدها در اثر شرایط جوی و رطوبت اکسیده شده و به سولفات تبدیل می‌شوند که در اثر انحلال در آب جاری به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شوند. حضور سولفات باعث افزایش سختی آب می‌گردد (Fersenius et al 1998). غلظت سولفات بیشتر از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر، باعث مزه تلخ آب می‌گردد.



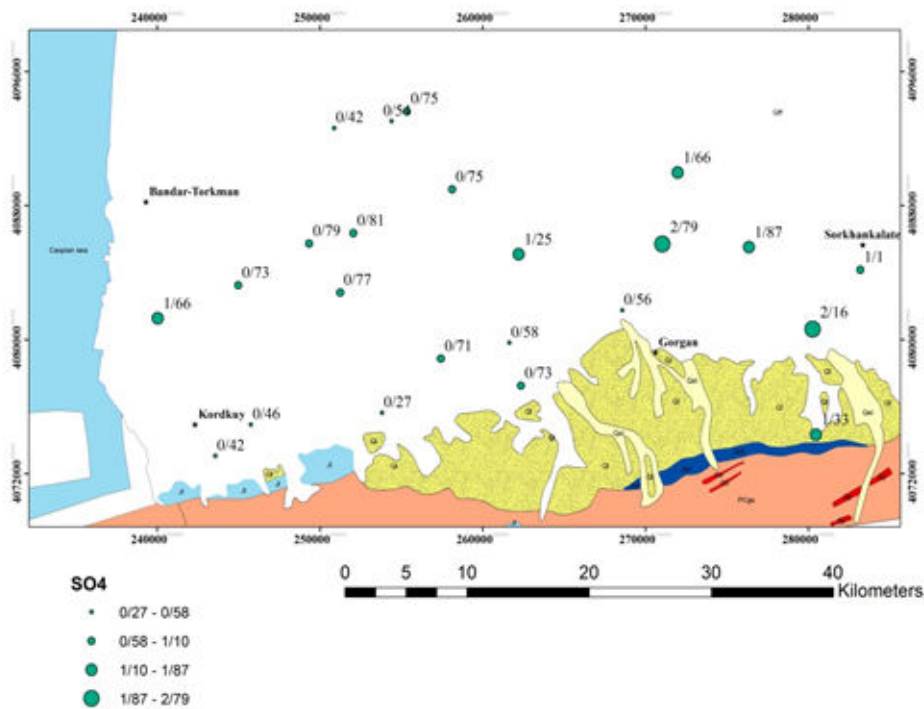
شکل ۴-۲۸: نقشه هم‌سولفات آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۲۹: نقشه هم سولفات آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۳۰: نقشه هم سولفات آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)



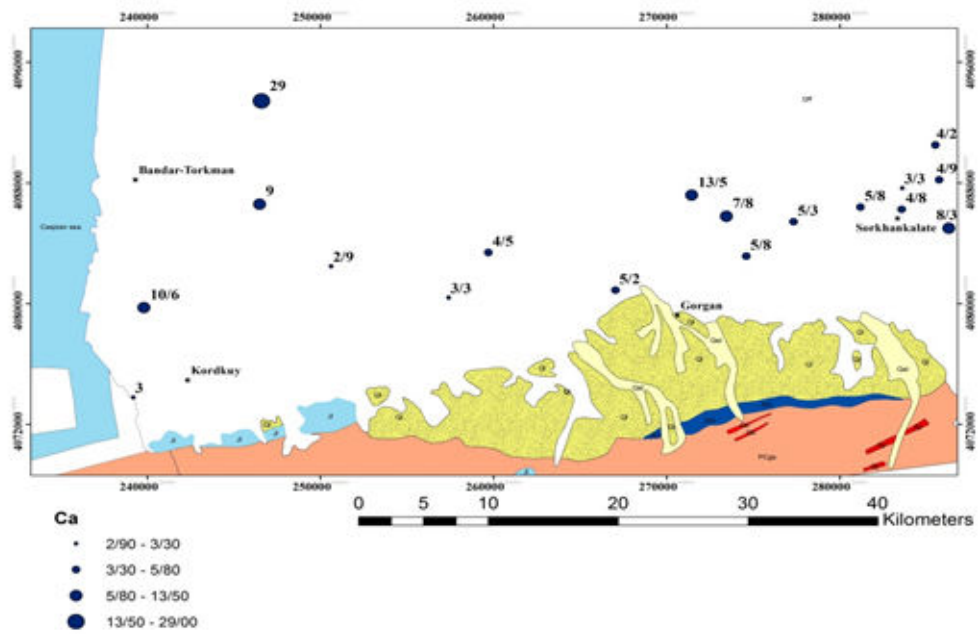
شکل ۴-۳۱: نقشه هم سولفات آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)

اشکال (۴-۲۸) تا (۴-۳۱) به ترتیب نقشه‌ی هم‌سولفات برای پاییز ۱۳۹۴ و بهار ۱۳۹۵ را نشان می‌دهند. با توجه به نقشه‌های مذکور در آبخوان آزاد نقشه هم‌سولفات تا حدود زیادی مشابه با نقشه هم کلر بوده و در حاشیه شمال غربی حوضه بیشترین غلظت میزان یون سولفات مشاهده می‌شود؛ که دلیل این امر می‌تواند تبادل یونی باشد. از طرفی دیگر در آبخوان محبوس نیز با توجه به نقشه هم سولفات در حاشیه شرقی حوضه غلظت یون سولفات به مراتب بیشتر از حاشیه غربی مشاهده می‌شود که دلیل این امر می‌تواند تغذیه از طریق سازندها باشد.

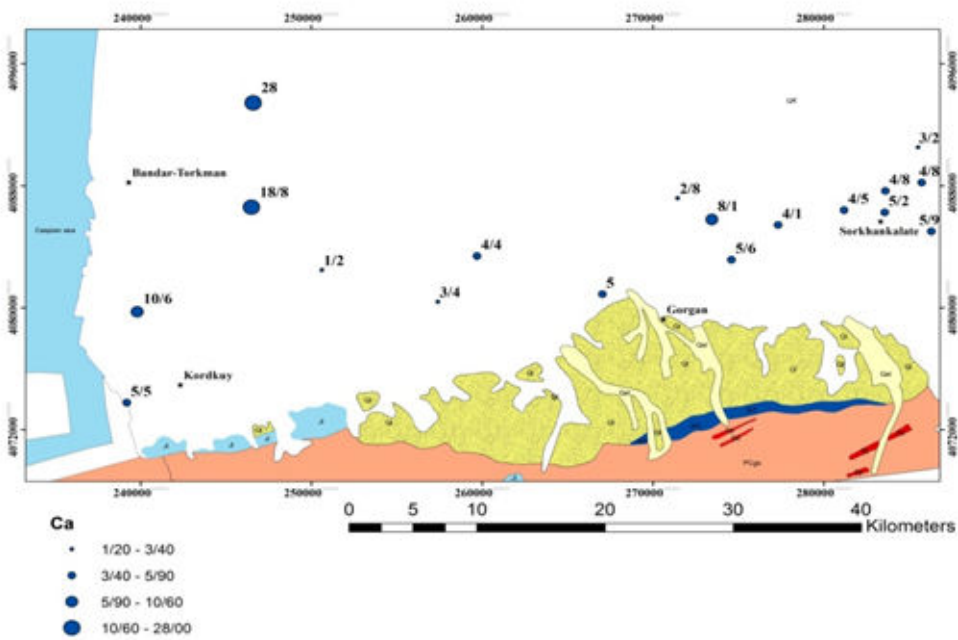
۴-۱۱-۵- ارزیابی تغییرات غلظت سایر یون ها

۴-۱۱-۵-۱- یون کلسیم

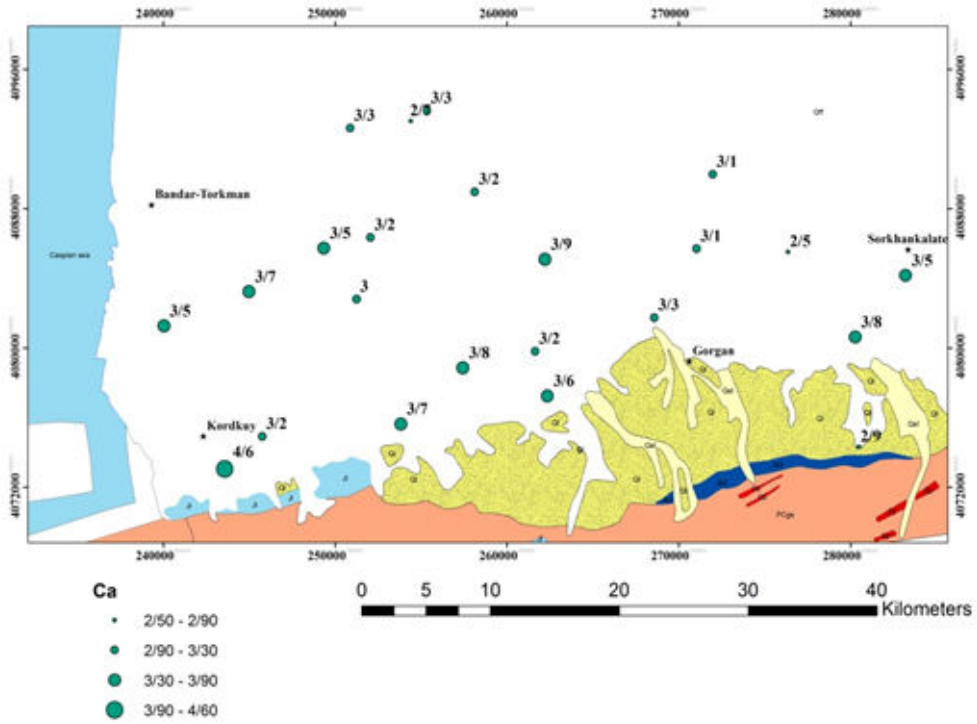
کلسیم یکی از کاتیون‌های مهم در اغلب منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. منبع ورود این یون در آب‌های زیرزمینی عمدتاً به سنگ‌های آهکی، دولومیتی و سنگ گچ مربوط می‌شود (کرمی، ۱۳۹۲).



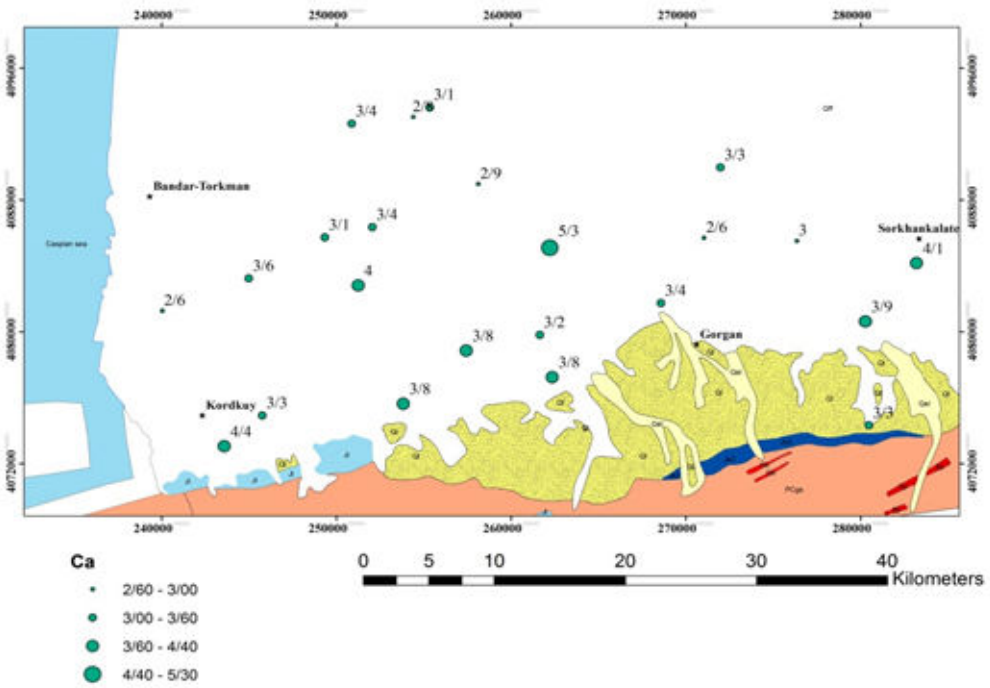
شکل ۴-۳: غلظت یون کلسیم آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۳: غلظت یون کلسیم آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۳۴: غلظت یون کلسیم آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)

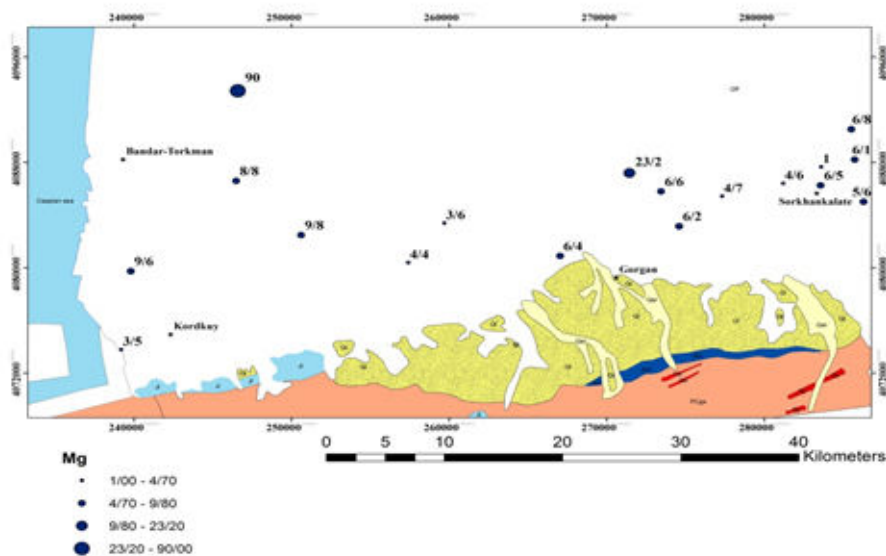


شکل ۴-۳۵: غلظت یون کلسیم آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)

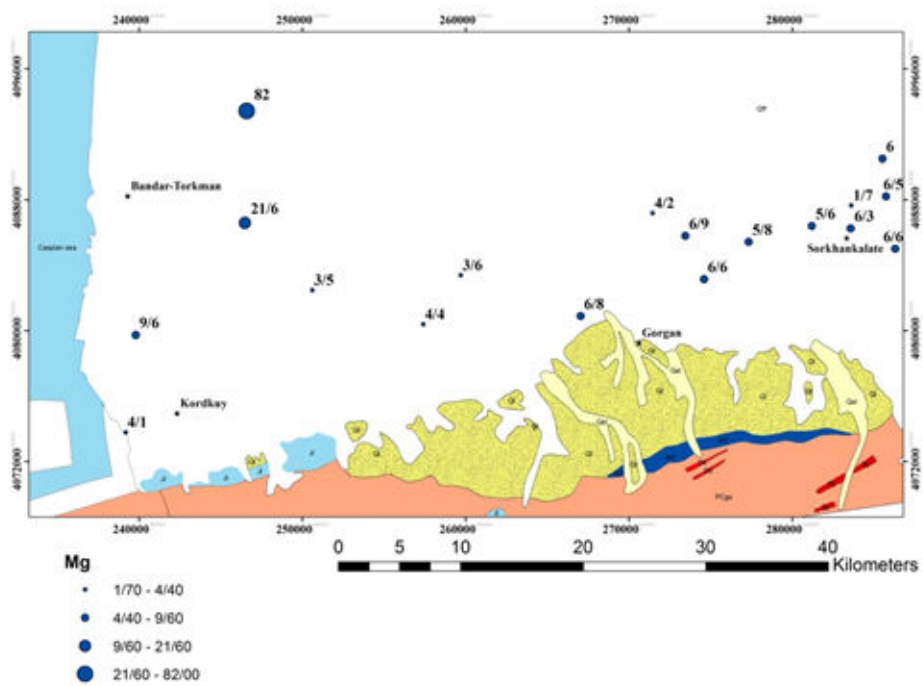
با توجه به اشکال (۴-۳۲) تا (۴-۳۵) فوق غلظت یون کلسیم در آبخوان آزاد در فصل پاییز از ۲/۹ - ۲۹/۰ میلی اکوی والان برلیتر و در فصل بهار از ۱/۲ - ۲۸/۰ میلی اکوی والان برلیتر در حال تغییر می‌باشد. همچنین تغییرات غلظت این یون در آبخوان محبوس برای فصل پاییز از ۲/۵ - ۴/۶ میلی اکوی والان برلیتر و در فصل بهار از ۲/۶ - ۵/۳ میلی اکوی والان بر لیتر متغیر می‌باشد. در آبخوان آزاد بیشترین غلظت یون کلسیم در قسمت غربی و شمال غربی حوضه می‌باشد که با غلظت یون سولفات در منطقه هم خوانی دارد که می‌تواند دلیل این امر تبادل یونی یا انحلال باشد. در حالیکه در آبخوان عمیق در قسمت جنوبی و میانی دشت دارای بیشترین میزان غلظت یون کلسیم می‌باشد که با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی تغذیه از سازندهای بخش جنوبی می‌تواند دلیل این موضوع باشد.

۴-۱۱-۵-۲- یون منیزیم

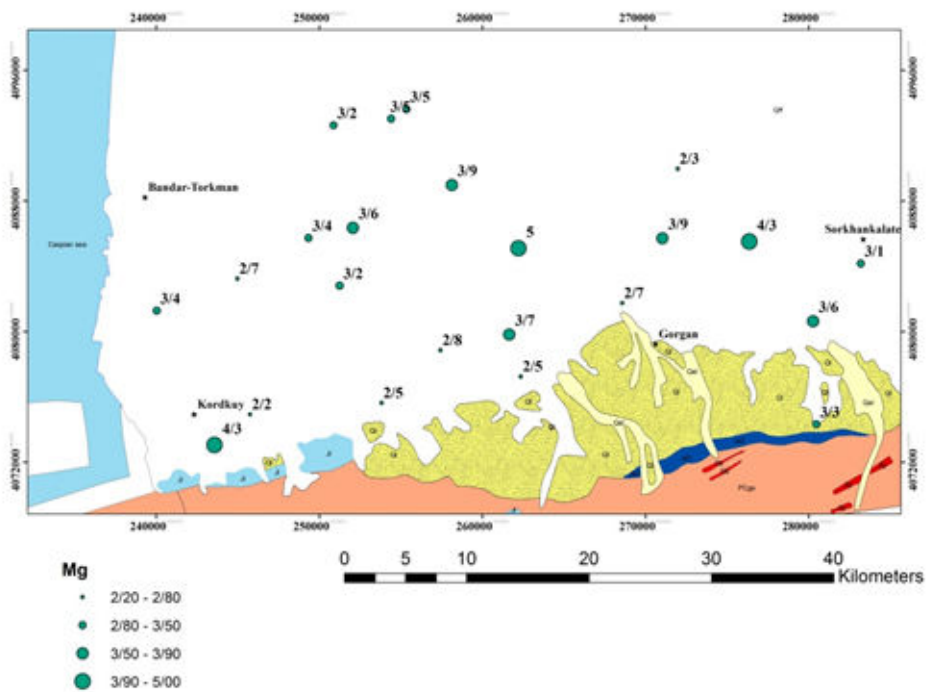
نقشه غلظت یون منیزیم دقیقاً دارای روند افزایشی و کاهش‌ی شبیه به نقشه غلظت یون کلسیم است. افزایش غلظت یون منیزیم در بخش شمال غربی حوضه در آبخوان آزاد می‌تواند نشانگر انحلال لایه‌های تبخیری سولفات منیزیم‌دار و یا رخداد فرآیند دولومیتیزاسیون باشد اشکال (۴-۳۶) تا (۴-۳۹).



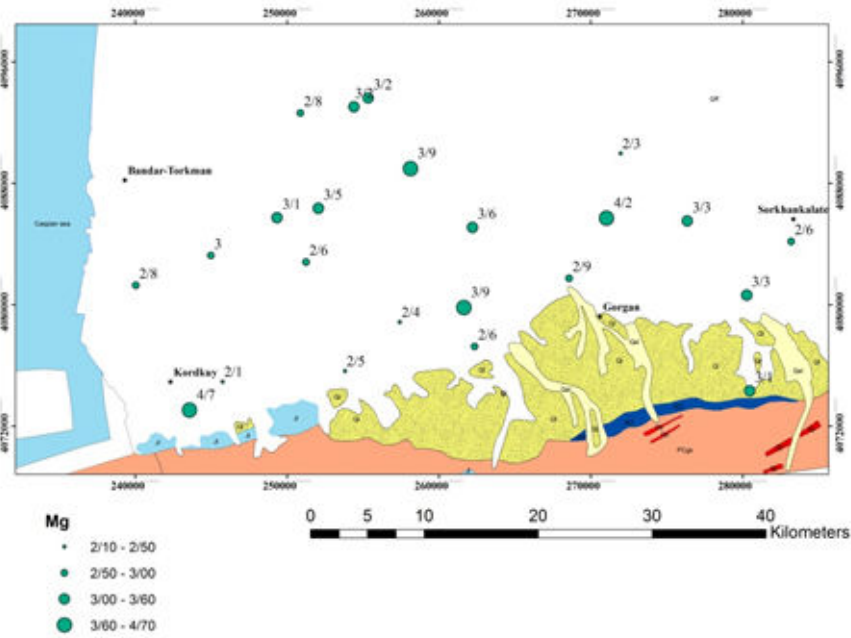
شکل ۴-۳۶: غلظت یون منیزیم آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت برحسب epm)



شکل ۴-۳۷: غلظت یون منیزیم آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)



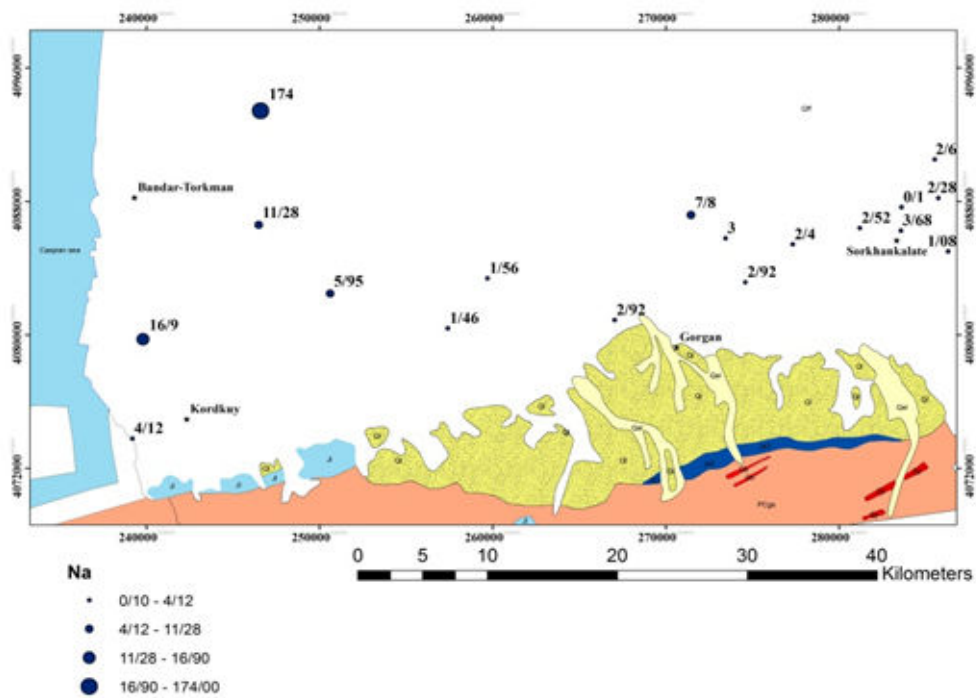
شکل ۴-۳۸: غلظت یون منیزیم آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)



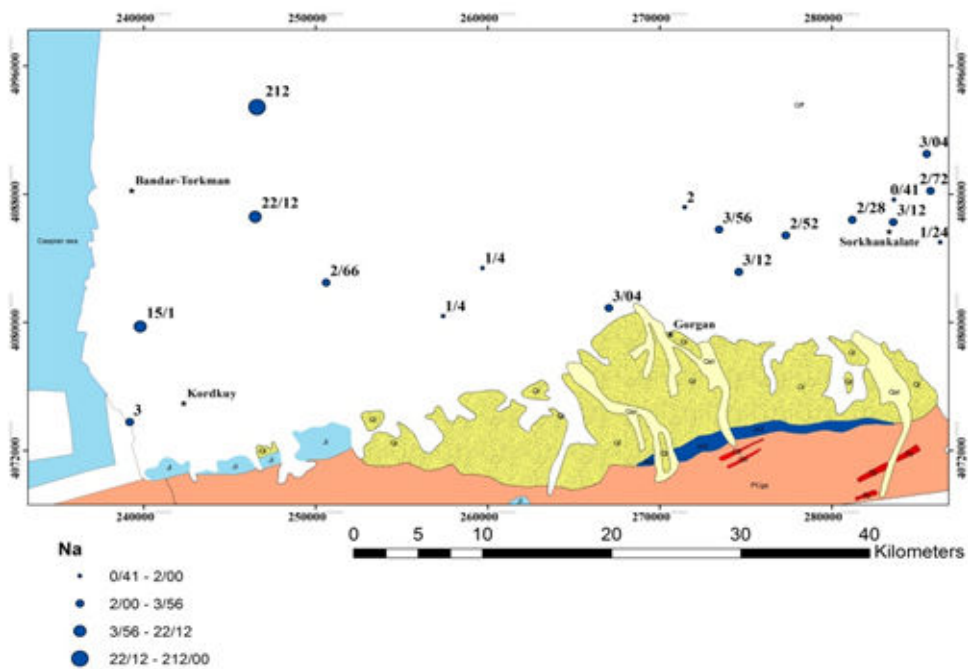
شکل ۴-۳۹: غلظت یون منیزیم آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)

۴-۱۱-۵-۳- یون سدیم

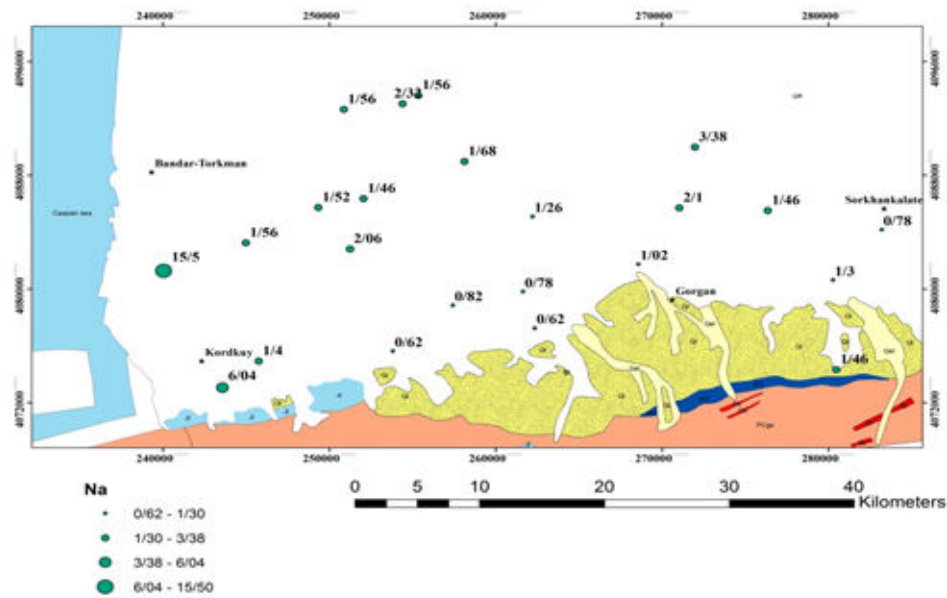
یون سدیم یکی از فراوانترین فلزات قلیایی موجود در آب زیرزمینی می‌باشد که رابطه‌ی مستقیمی با درجه شوری آب دارد. با توجه به نقشه‌های مربوطه در محدوده‌هایی که غلظت یون کلر زیاد می‌باشد می‌باشد غلظت سدیم نیز بالا می‌باشد. نقشه غلظت یون سدیم آبخوان‌های آزاد و محبوس حوضه قره‌سو برای دو فصل پاییز و بهار در اشکال (۴-۴۰) تا (۴-۴۳) ارائه گردیده است. با توجه به نقشه ترسیمی، یون سدیم در کناره غربی و شمال غربی حوضه دارای غلظت بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار می‌باشد که دلیل آنرا می‌توان به انحلال هالیت یا تبادل یونی و نیز نفوذ آب شور دریا نسبت داد، همچنین در جهت حرکت آب زیرزمینی این یون در حال افزایش می‌باشد.



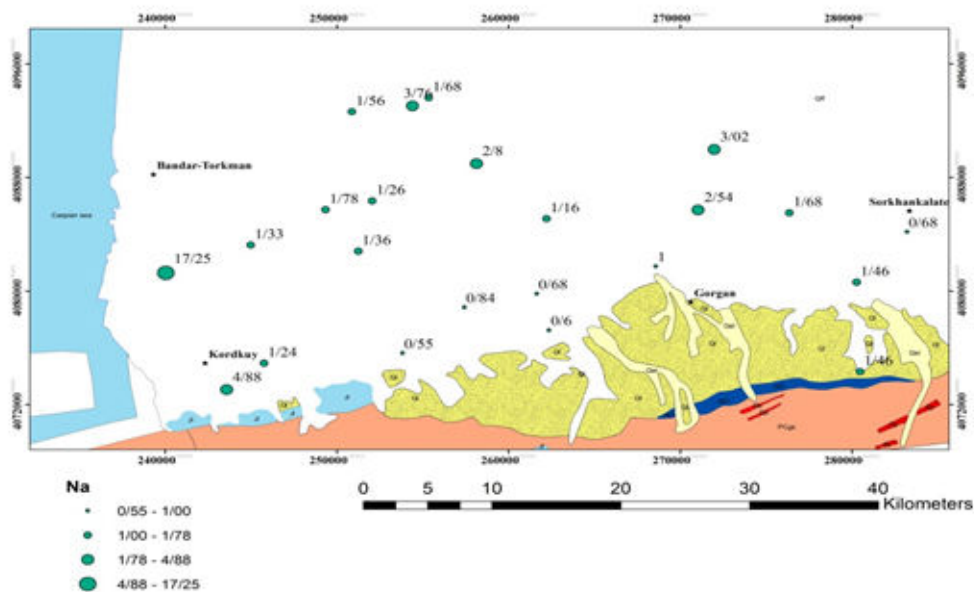
شکل ۴-۴: غلظت یون سدیم آبخوان آزاد در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۴: غلظت یون سدیم آبخوان آزاد در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)



شکل ۴-۴۲: غلظت یون سدیم آبخوان محبوس در پاییز ۱۳۹۴ (غلظت بر حسب epm)

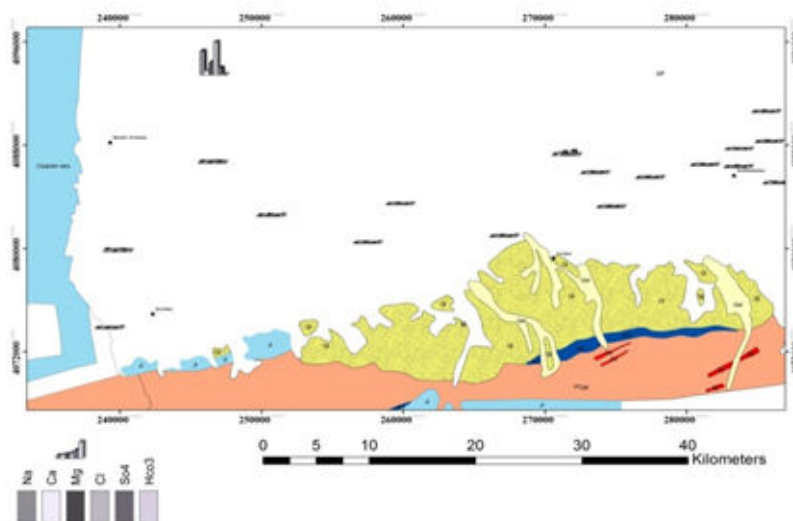


شکل ۴-۴۳: غلظت یون سدیم آبخوان محبوس در بهار ۱۳۹۵ (غلظت بر حسب epm)

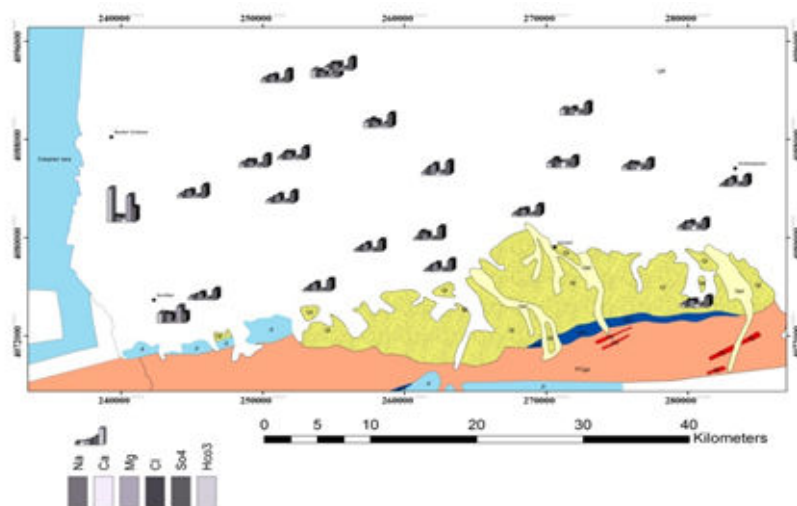
۴-۱۱-۶- نمودارهای ستونی یون‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه

جهت تشخیص و مقایسه سریع رخساره‌های هیدروشیمی و همچنین تشخیص سریع یون غالب در نقاط مختلف یک دشت می‌توان از نقشه ستونی استفاده نمود. این نقشه‌ها دارای این مزیت هستند که در یک دید کلی می‌توان ضمن پی بردن به ترکیب آب در یک نقطه از دشت و مقایسه میزان

عناصر تشکیل دهنده در آن نقطه به مقایسه عناصر در نقاط مختلف دشت و کاهش و افزایش میزان عناصر پرداخت. به این منظور نقشه‌های ستونی جهت مقایسه یون‌های عمده نمونه‌های آب در نقاط مختلف حوضه قره‌سو برای دو آبخوان آزاد و محبوس ترسیم شده است (اشکال ۴-۴۴ و ۴-۴۵). همانطوری که در نمودارهای ستونی مشخص شده است، در آبخوان آزاد میزان غلظت یون‌ها در بخش غربی بیشتر از سایر بخش‌ها می‌باشد و در آبخوان محبوس نیز در شمال غرب نیز این موضوع مصداق دارد. کلر و سدیم یون غالب در مناطق فوق الذکر می‌باشد که می‌تواند دلیل این موضوع انحلال هالیت یا نفوذ آب شور باشد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.



شکل ۴-۴۴: نمودار ستونی غلظت یون‌های اصلی در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو



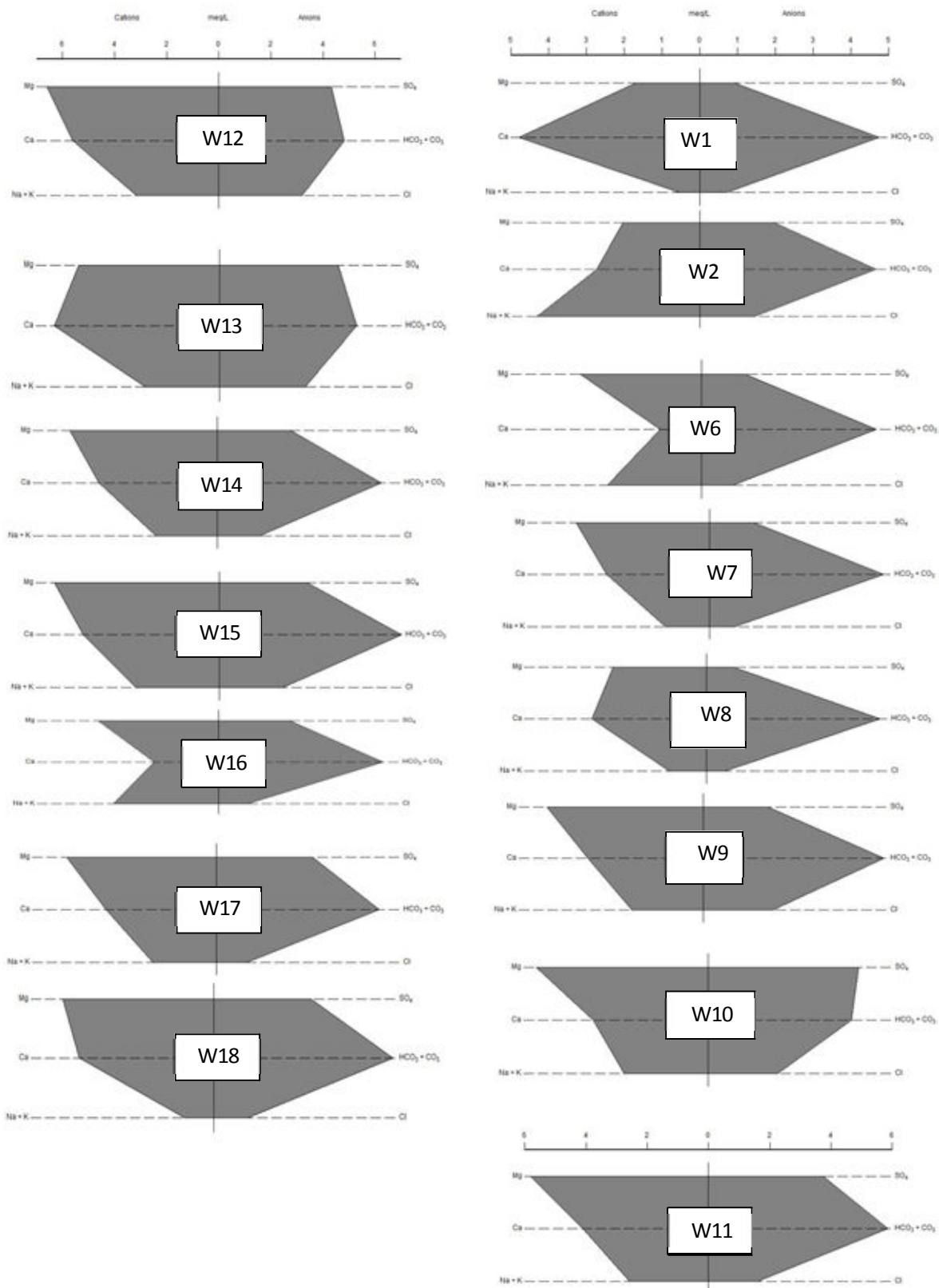
شکل ۴-۴۵: نمودار ستونی غلظت یون‌های اصلی در آبخوان محبوس حوضه قره‌سو

۴-۱۲- تعیین رخساره های هیدروژنوشیمیایی منطقه

جهت تفسیر داده‌های هیدروژنوشیمیایی آبخوان‌های حوضه قره‌سو و تعیین رخساره و نوع آب در نقاط مختلف حوضه از روش‌های مختلفی نظیر ترسیم نمودارهای استیف، شولر و پایپر استفاده گردیده است.

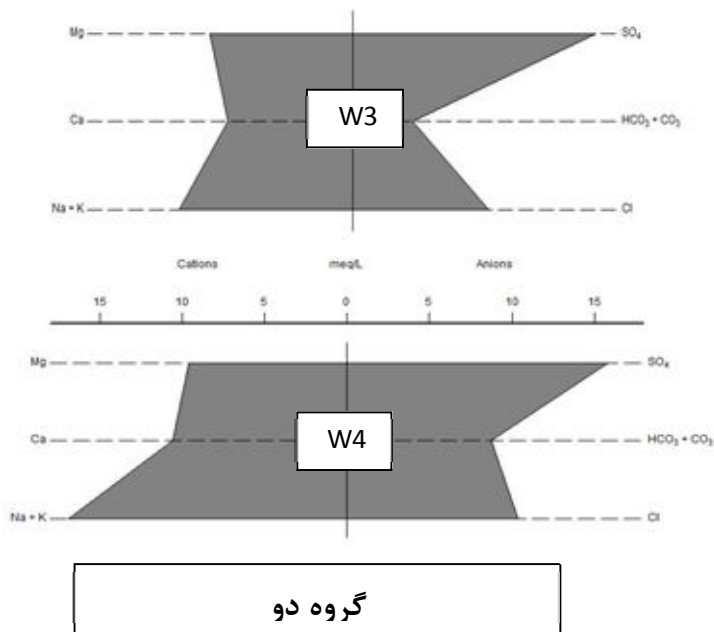
۴-۱۲-۱- نمودار استیف

جهت تعیین تیپ و رخساره آب و مقایسه سریع و آسان ترکیب شیمیایی نمونه‌ها، از نمودار استیف استفاده می‌شود. الگوی پلیگون‌های ایجاد شده می‌تواند برای طبقه بندی نمونه‌ها بسیار مناسب باشد. در این روش آنیون‌ها و کاتیون‌ها برحسب میلی اکی والان بر لیتر به ترتیب در سمت چپ و راست محور قائم قرار می‌گیرد. تیپ آب زیرزمینی در دشت‌های بزرگ، عموماً در مناطق تغذیه از نوع بی‌کربناته و در جهت حرکت آب‌های زیرزمینی و انحلال کانی‌های موجود در مسیر خود و تبادلات یونی با سنگ‌های بستر می‌تواند به سولفات‌ها و در نهایت به کلروره تبدیل شود. نمودارهای استیف سه گروه عمده آب‌های زیرزمینی منطقه با استفاده از نرم افزار Aqqa تهیه شده است. در گروه ۱ که شامل چاه‌های شیرین منطقه می‌باشد، تیپ غالب از نوع $Mg-HCO_3$ تا $Ca-HCO_3$ می‌باشد که با توجه به وجود این منابع در مناطق تغذیه آهکی - دولومیتی قابل توجیه است (اشکال ۴-۴۶) تا (۴-۴۹). گروه ۲ دارای تیپ‌های غالب $Na-Cl$ و $Mg-SO_4$ بوده (۴-۴۷) و تیپ غالب گروه ۳ نیز $Na-Cl$ است که با توجه به منشا تبخیری و همچنین نفوذ آب‌های شور به سمت آنها قابل توجیه هستند (اشکال ۴-۴۸ تا ۴۸-۵۰).

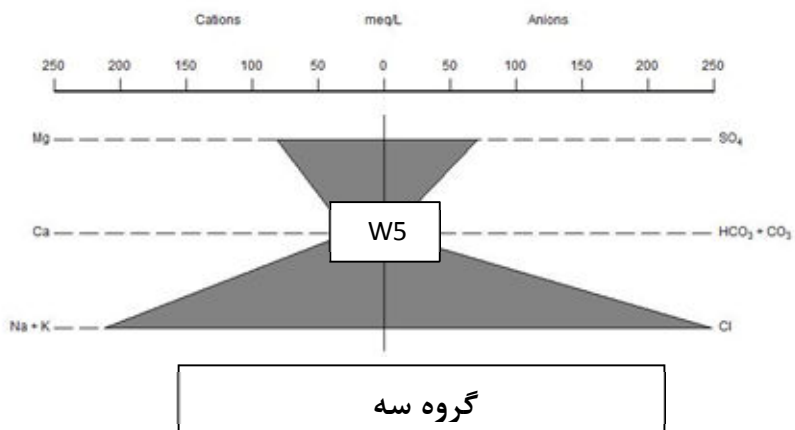


گروه یک

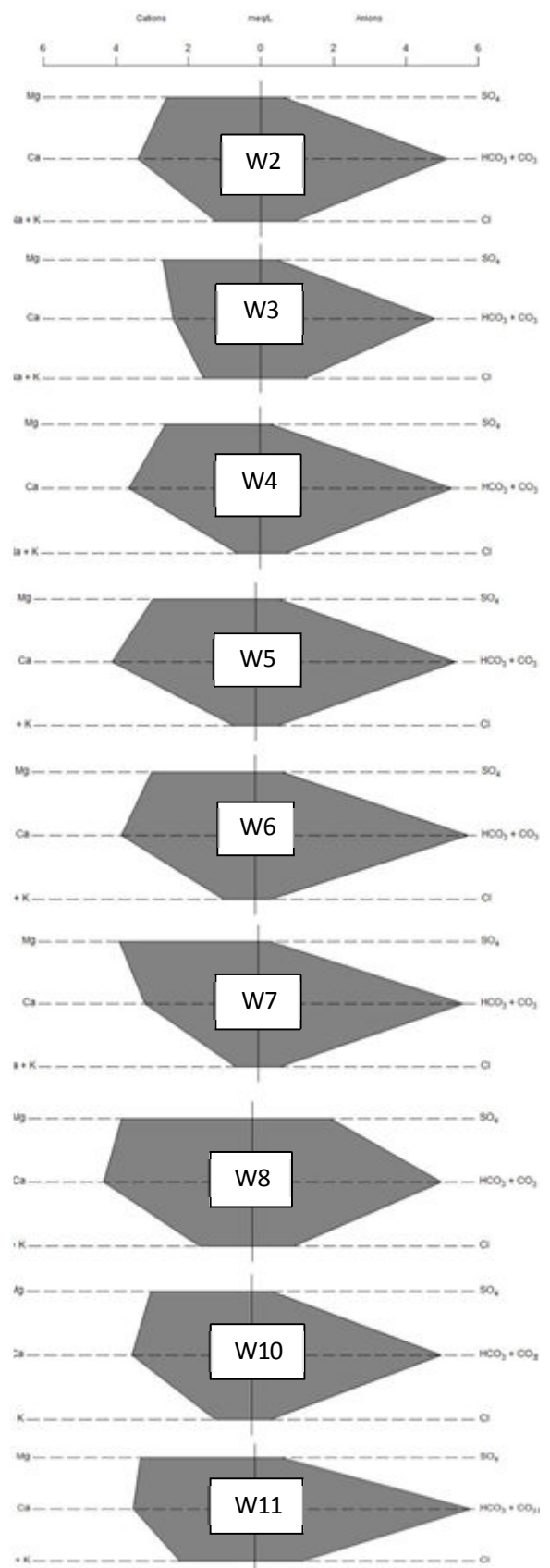
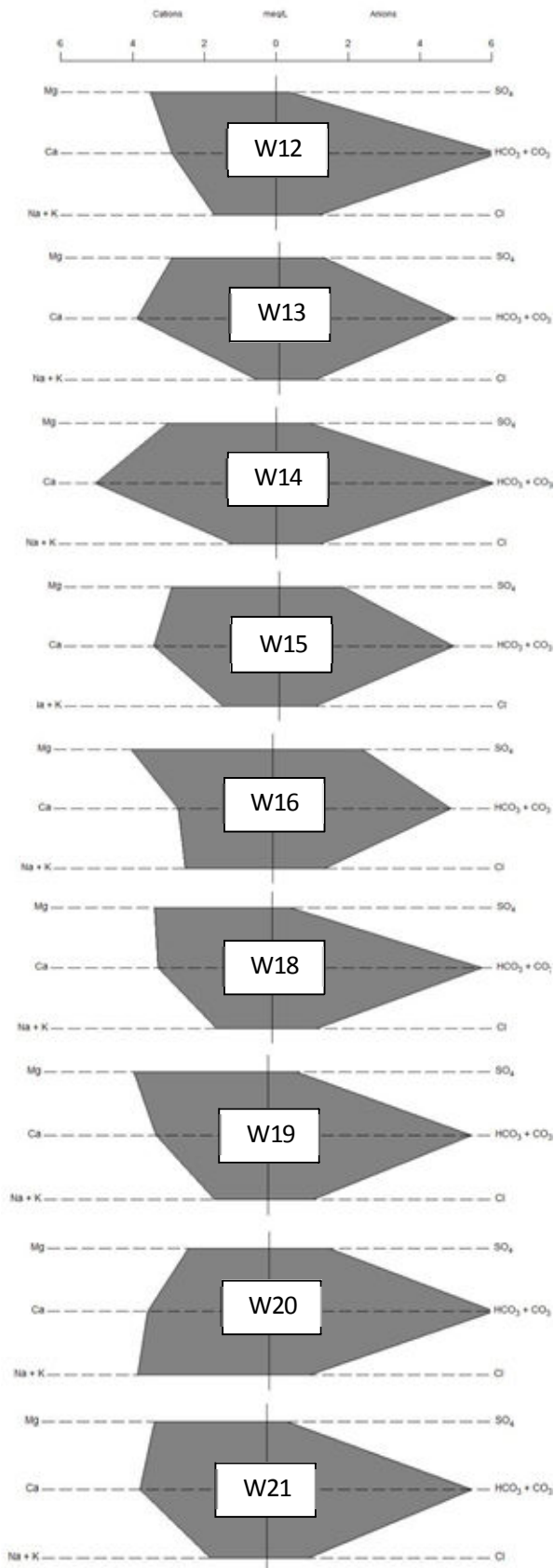
شکل ۴-۴: نمودارهای استیف چاه‌های آبخوان آزاد حوضه قره‌سو با تیپ $\text{Ca-HCO}_3\text{ Mg-HCO}_3$

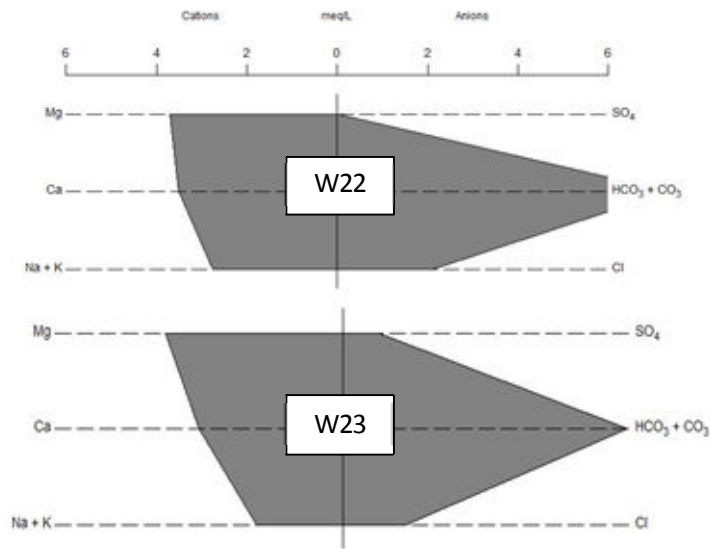


شکل ۴-۴۷: نمودارهای استیف چاه‌های آبخوان آزاد حوضه قره‌سو با تیپ $Mg-SO_4$



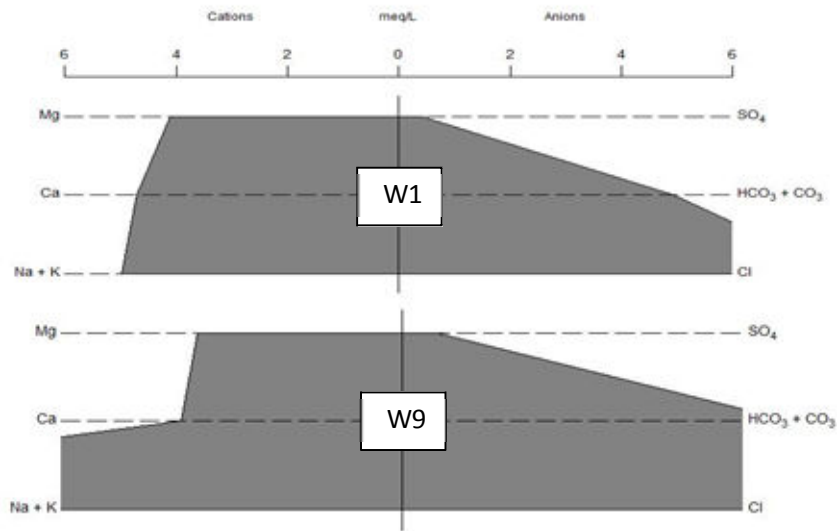
شکل ۴-۴۸: نمودارهای استیف چاه‌های آبخوان آزاد حوضه قره‌سو با تیپ $Na-Cl$





گروه یک

شکل ۴-۴۹: نمودارهای استیف چاه‌های آبخوان محبوس حوضه قره‌سو Ca-HCO_3 Mg-HCO_3

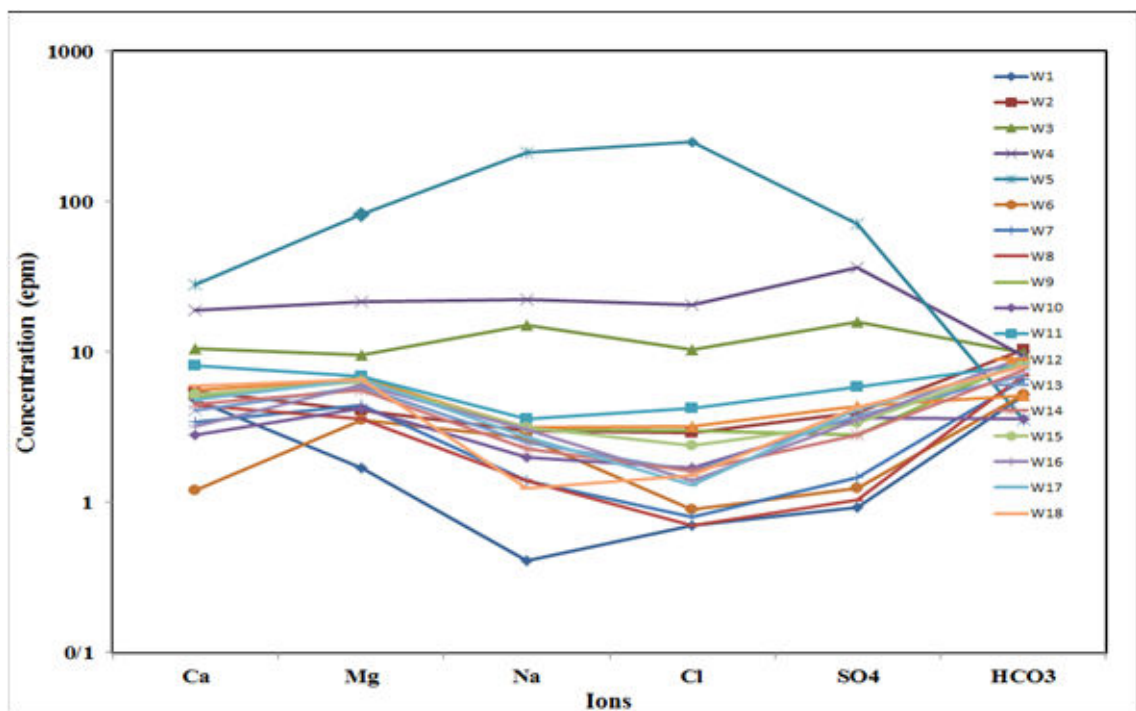


گروه سه

شکل ۴-۵۰: نمودارهای استیف چاه‌های آبخوان محبوس حوضه قره‌سو با تیپ Na-Cl

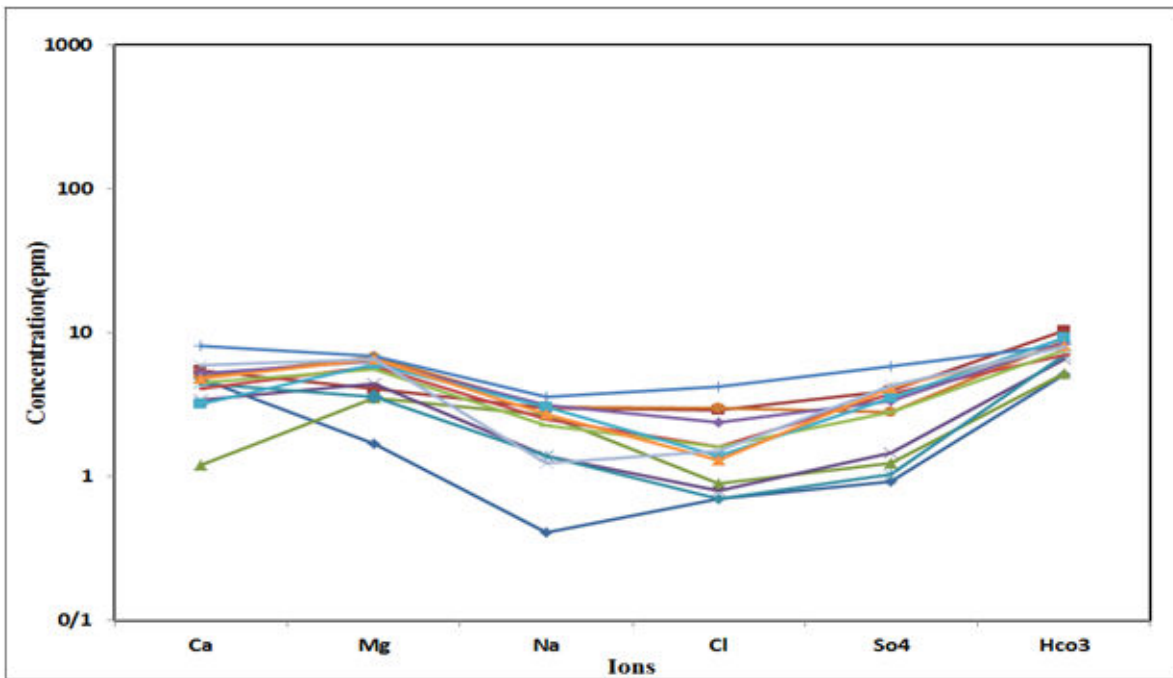
۴-۱۲-۲- نمودار شولر

نمودار شولر به منظور بررسی یکسان بودن یا نبودن منشا نمونه‌ها، بررسی روند مقادیر یون های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. یون های کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر و بی‌کربنات برحسب میلی اکی والان بر لیتر در محور افقی نمونه قرار دارند. با توجه به نیمه لگاریتمی بودن محور عمودی نمودار شولر؛ خطوط موازی نشانگر روند یکسان و بالتبع یکی بودن منشا و مساوی بودن نسبت یون ها در نمونه ها می‌باشد (Todd and Mays, 2005). اشکال (۴-۵۱) تا (۴-۵۵) به ترتیب روند تغییرات یون های اصلی برای دو آبخوان آزاد و محبوس در حوضه قره‌سو را نشان می‌دهند.

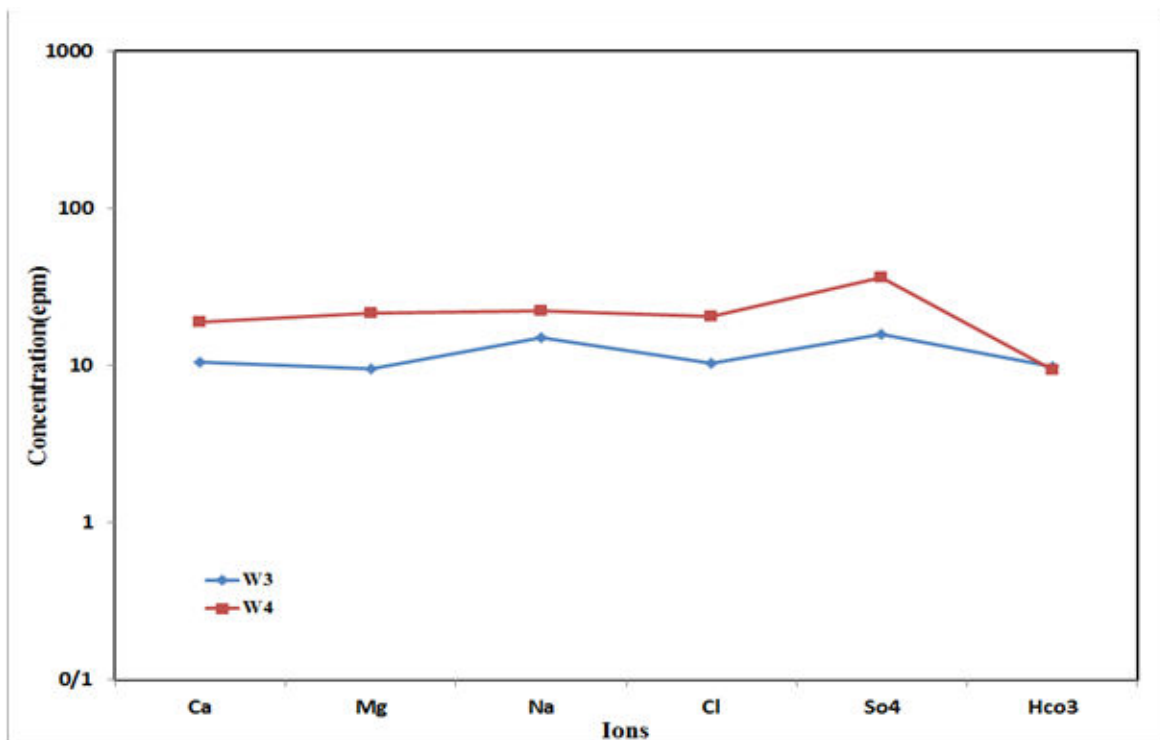


شکل ۴-۵۱: نمودار شولر نمونه‌های آبخوان آزاد حوضه قره‌سو

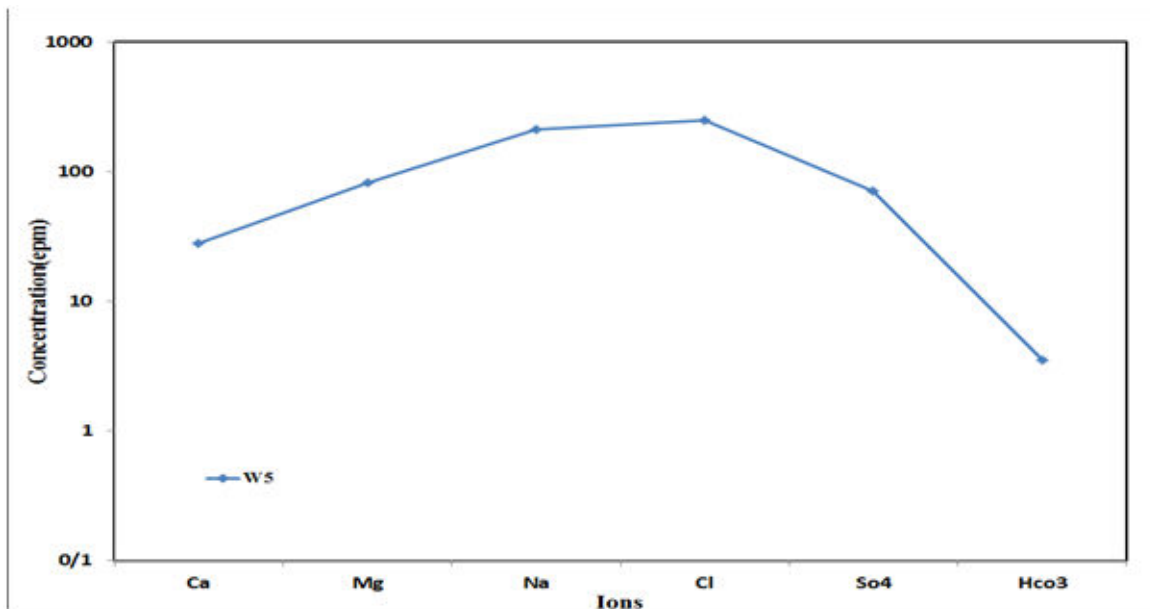
چاه‌های موجود در آبخوان آزاد و محبوس براساس روند تغییرات غلظت عناصر در ۳ گروه مختلف قرار می‌گیرند. گروه ۱ که شامل چاه‌های شیرین منطقه می‌باشد، تیپ غالب از نوع $Mg-HCO_3$ تا $Ca-HCO_3$ می‌باشد (۴-۵۲) و (۴-۵۵). گروه ۲ دارای تیپ‌های غالب $Na-Cl$ و $Mg-SO_4$ بوده (۴-۵۳) و تیپ غالب گروه ۳ نیز $Na-Cl$ است (۴-۵۴) و (۴-۵۶).



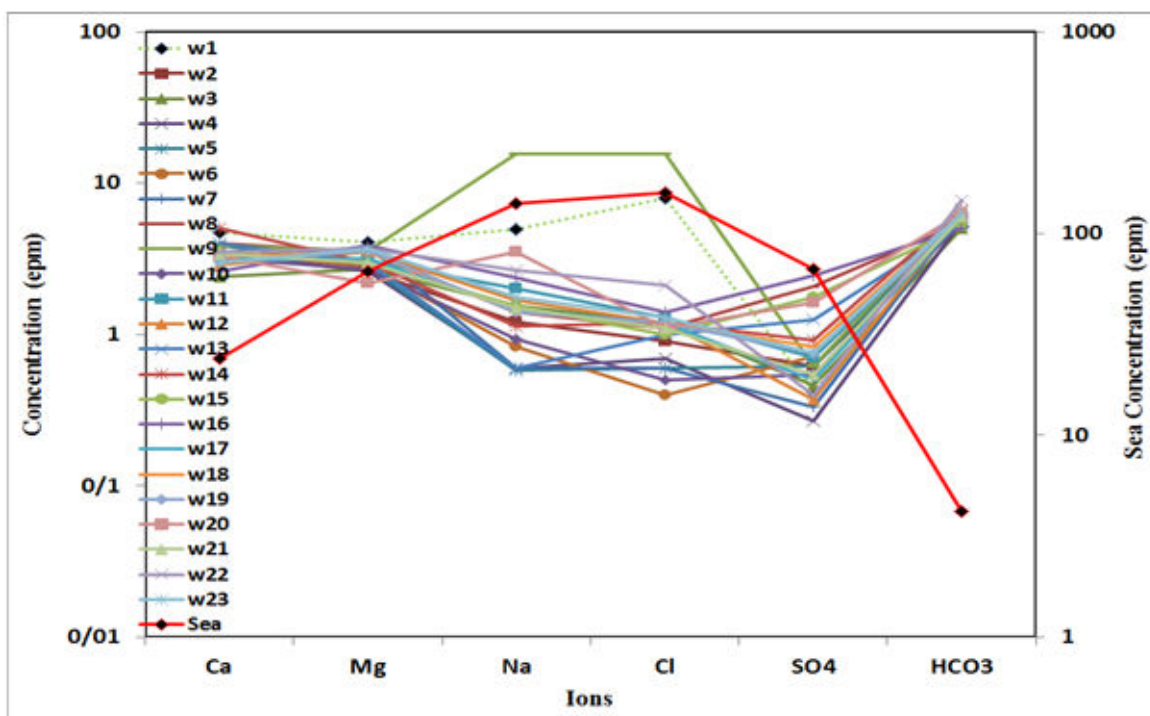
شکل ۴-۵۲: گروه یک سفره آزاد با تیپ Ca-HCO_3 Mg-HCO_3



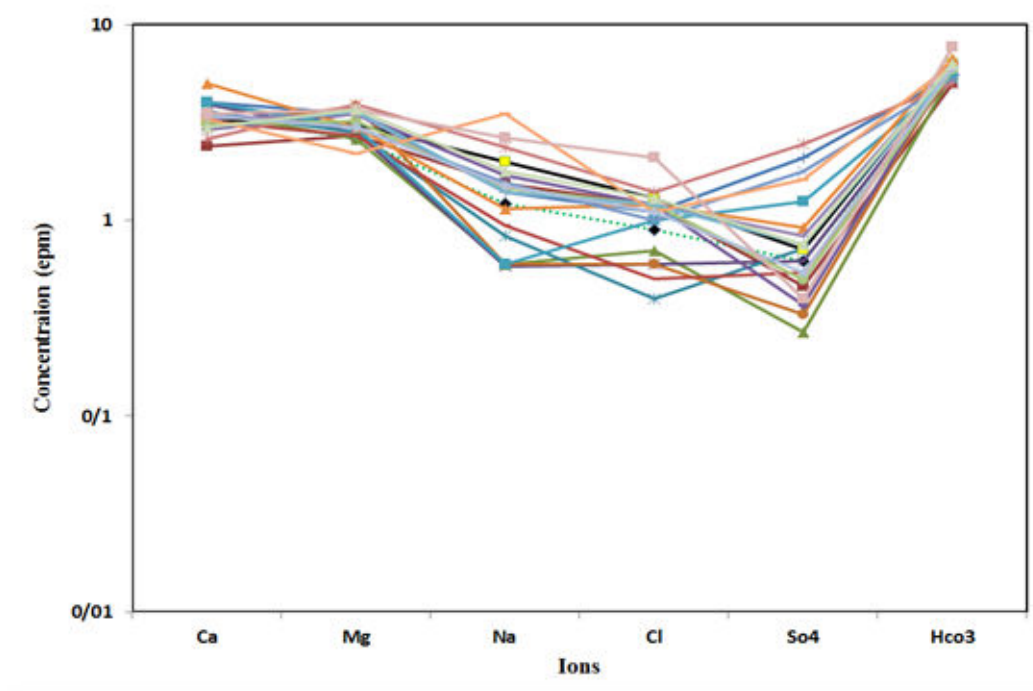
شکل ۴-۵۳: گروه دو سفره آزاد با تیپ Mg-SO_4



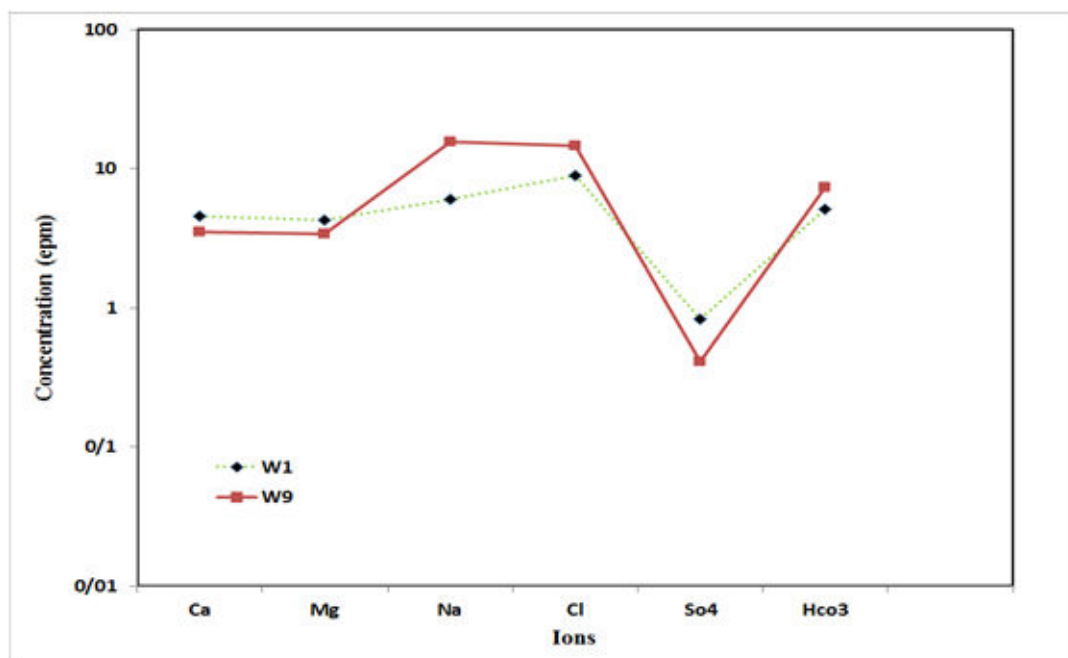
شکل ۴-۵۴: گروه سه سفره آزاد با تیپ Na-Cl



شکل ۴-۵۵: نمودار شولر نمونه‌های آبخوان محبوس حوضه قره‌سو



شکل ۴-۵۵: گروه یک سفره محبوس با تیپ Ca-HCO_3 و Mg-HCO_3



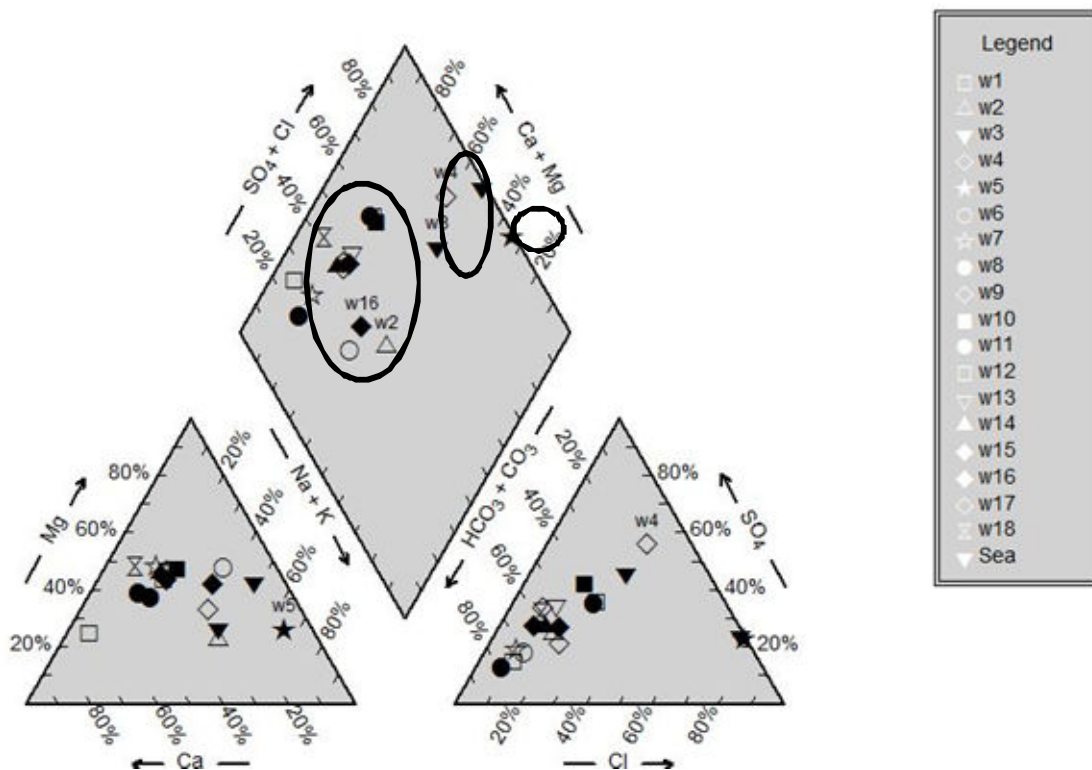
شکل ۴-۵۶: گروه سه سفره محبوس با تیپ Na-Cl

یکسان بودن روند تقریبی اکثر منابع آب سفره آزاد و نیز غالب بودن یونهای Ca , Mg و HCO_3 در آنها می‌تواند خود دلیلی بر یکسان بودن منشا تمامی این منابع داشته باشد. بجز نمونه شماره W_5 که روندی متفاوت داشته و یونهای Na و Cl در آنها غالب است و دارای روند تقریباً مشابهی با روند تغییرات یونهای نمونه آب دریا و نمونه های آب شور می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که منشا اصلی شوری منابع ساحلی، می‌تواند نفوذ آب دریا باشد. عاملهای دیگری نیز وجود داشته اند و باعث تغییر روند نمونه W_5 از بقیه منابع و حتی آب دریا شده است. بنابراین تیپ غالب منابع آب سفره آزاد بی‌کربناته بوده بجز نمونه شور که تیپ کلروره دارد. تیپ آب دریای مازندران نیز کلروره می‌باشد. نتیجه حاصل از این نمودار، مشخص شدن میزان روند تغییرات دو یون Na و Cl برای دو چاه شماره W_0 و W_1 بیشتر از سایر چاه های مورد مطالعه بوده که این موضوع خود می‌تواند بیانگر شور بودن آب این چاهها نسبت به سایر چاهها باشد.

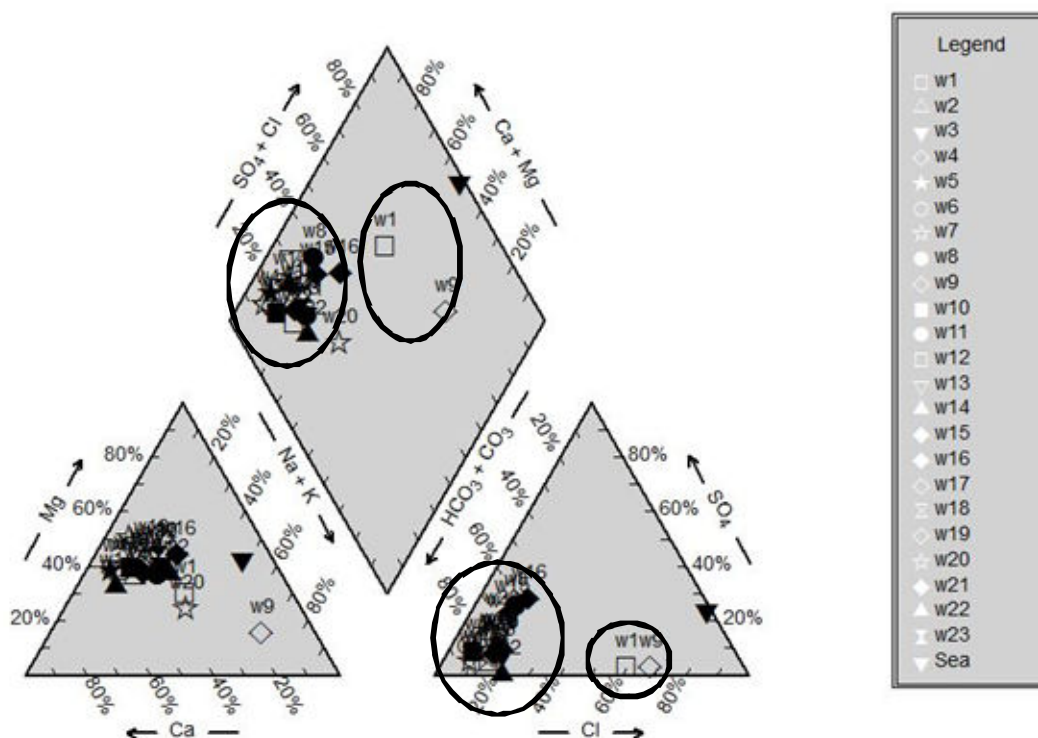
۴-۱۲-۳- نمودار پایپر

یکی از نمودارهای متداول جهت بررسی رفتار هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی، نمودار پایپر می‌باشد. با استفاده از این نمودار، شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها به خوبی مشخص شده و نمونه‌های با خصوصیات مشابه، در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. با استفاده از نمودار پایپر علاوه بر تعیین تیپ، رخساره نمونه‌های آب، مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان، ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی، می‌توان وقوع فرآیندهایی چون ته نشینی یا انحلال، اختلاط آب‌ها و تبادل یونی را نیز پیش بینی کرد (Hounslow, 1995). زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی بیانگر غالب بودن اسیدهای ضعیف و یا اسیدهای قوی، عناصر قلیایی و یا قلیایی خاکی می‌باشد. این نمودار برای تمام نمونه‌های آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار Diagram رسم شده است (اشکال ۴-۵۷ و ۴-۵۸). با توجه به نمودار پایپر برای آبخوان آزاد اکثر نمونه‌ها در سمت چپ دیاگرام بوده و بیانگر غنی بودن از کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات می‌باشد که نشانگر تیپ بی‌کربناته و سختی موقت می‌باشند. تعدادی از نمونه‌ها در مرکز لوزی واقع شده اند که می‌تواند حکایت از پدیده اختلاط داشته باشد. ولی چاه W_5 از

موارد ذکر شده تبعیت نمی‌کند و دارای مقادیر ناچیزی از بی‌کربنات بوده ولی سرشار از سدیم و کلر می‌باشد و دارای تیپ آب سدیم کلروره بوده که دلیل این امر می‌تواند تبادل یونی یا تبخیر باشد. محل قرارگیری نمونه‌های آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه در آبخوان محبوس تا حدود زیادی شبیه به نمونه‌های آبخوان آزاد می‌باشد ولی چاه‌های W_1 و W_9 از این روند تبعیت نمی‌کنند و دارای مقادیر کمتری بی‌کربنات ولی درعین حال نسبت به دیگر نمونه سرشار از Na و Cl می‌باشد که تیپ آب سدیم کلروره بوده، که این روند می‌تواند دلیلی حاکی بر اختلاط و یا نفوذ آب شور به این چاه‌ها باشد.



شکل ۴-۵۷: نمودار پایپر نمونه‌های آبخوان آزاد



شکل ۴-۵۸: نمودار پایپر نمونه های آبخوان محبوس

۴-۱۳- شاخص اشباع

از شاخص اشباع به منظور ارزیابی درجه تعامل بین آب و کانی های مربوطه استفاده می شود (Kumar Singh et al., 2013). این شاخص توسط رابطه (۴-۳) محاسبه می شود (Rasouli and Kiani, 2012).

$$SI = \log\left(\frac{IAP}{K_{SP}}\right)$$

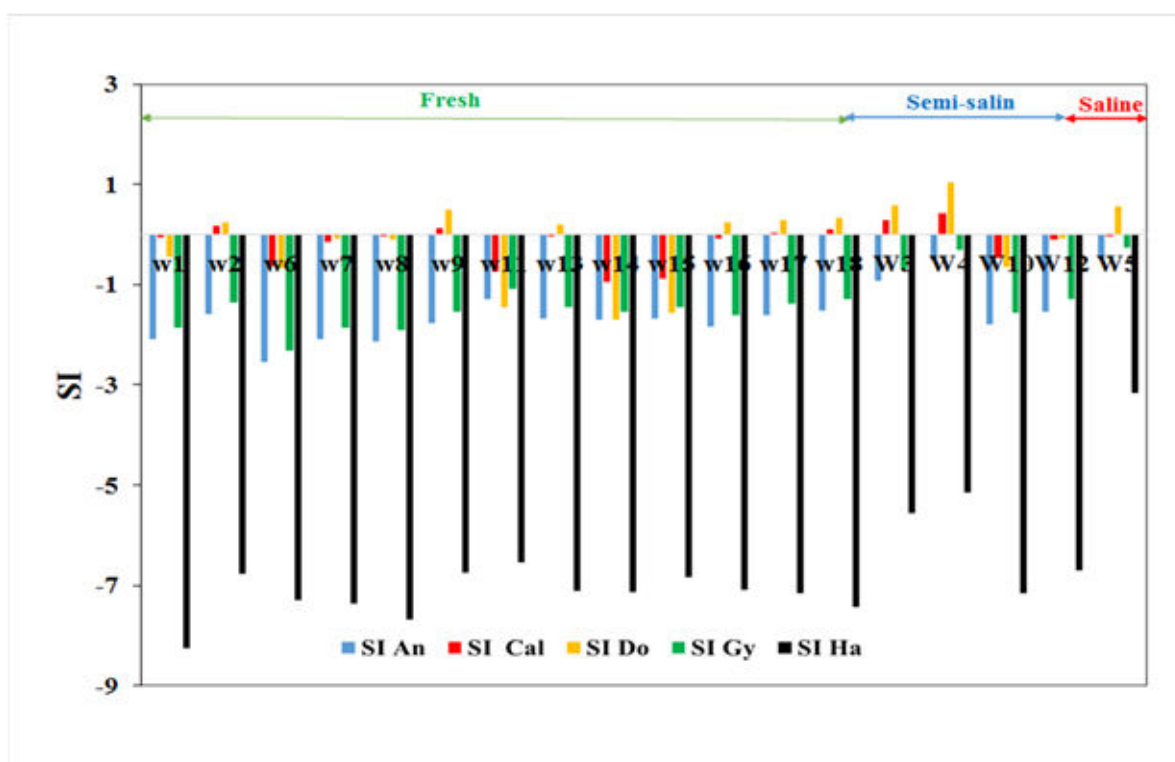
در این رابطه IAP حاصلضرب فعالیت یونی یک فاز و K_{SP} حاصلضرب انحلال پذیری آن می باشد. اگر $SI=0$ باشد فاز جامد و محلول نسبت به هم در تعادل هستند و فرآیندهای انحلالی و ته نشینی رخ نمی دهد. در صورتیکه $SI>0$ باشد محلول فوق اشباع بوده و فرآیند ته نشینی رخ می دهد. اگر $SI<0$ باشد، آب نسبت به کانی اشباع نشده و احتمال انحلال کانی وجود دارد نتایج برای دو آبخوان در منطقه مورد در اشکال (۴-۵۹) و (۴-۶۰) و جداول (۴-۱۵) و (۴-۱۶) ارائه شده است .

جدول ۴-۱۵: مقدار نمایه های اشباع نمونه های آب زیرزمینی آبخوان حوضه قره سو

Group	Sample Id	SI An	SI Cal	SI Do	SI Gy	SI Ha	SO4 (epm)	Cl(epm)
G1	w1	-۲/۰۹	-۰/۰۵	-۰/۴۵	-۱/۸۶	-۸/۲۴	۰/۹۲	۰/۷
	w2	-۱/۵۸	۰/۱۶	۰/۲۵	-۱/۳۵	-۶/۷۶	۳/۹۵	۲/۹
	w6	-۲/۵۴	-۰/۶۳	-۰/۶۸	-۲/۳۱	-۷/۳	۱/۲۵	۰/۹
	w7	-۲/۰۹	-۰/۱۴	-۰/۰۸	-۱/۸۶	-۷/۳۶	۱/۴۶	۰/۸
	w8	-۲/۱۴	-۰/۰۴	-۰/۱۱	-۱/۹	-۷/۶۹	۱/۰۴	۰/۷
	w9	-۱/۷۶	۰/۱۲	۰/۴۹	-۱/۵۴	-۶/۷۵	۲/۸۱	۳
	w11	-۱/۳	-۰/۷۵	-۱/۴۵	-۱/۰۸	-۶/۵۴	۵/۸۲	۴/۲
	w13	-۱/۶۸	-۰/۰۴	۰/۱۹	-۱/۴۶	-۷/۱	۳/۷۴	۱/۶
	w14	-۱/۷	-۰/۹۵	-۱/۶۹	-۱/۵۵	-۷/۱۴	۲/۷۹	۱/۶
	w15	-۱/۶۷	-۰/۸۸	-۱/۵۶	-۱/۴۴	-۶/۸۳	۳/۳۳	۲/۴
	w16	-۱/۸۳	-۰/۰۷	۰/۲۴	-۱/۶	-۷/۰۸	۳/۵۴	۱/۴
	w17	-۱/۶	۰/۰۳	۰/۲۹	-۱/۳۷	-۷/۱۵	۴/۱۶	۱/۳
	w18	-۱/۵۲	۰/۱	۰/۳۳	-۱/۲۸	-۷/۴۳	۴/۲۶	۱/۵
G2	W3	-۰/۹۲	۰/۲۸	۰/۵۹	-۰/۶۹	-۵/۵۵	۱۵/۸۱	۱۰/۴
	W4	-۰/۵۲	۰/۴۳	۱/۰۴	-۰/۳	-۵/۱۴	۳۶/۶۱	۲۰/۵
	W10	-۱/۷۸	-۰/۴۷	-۰/۶۶	-۱/۵۶	-۷/۱۵	۳/۶۶	۱/۷
	W12	-۱/۵۳	-۰/۱۱	-۰/۰۸	-۱/۲۹	-۶/۷	۴/۳۳	۳/۲
G3	W5	-۰/۴۸	-۰/۰۳	۰/۵۵	-۰/۲۷	-۳/۱۷	۷۰/۷۲	۲۴۸

با توجه به جدول نمایه های اشباع؛ اکثر نمونه ها نسبت به کلسیت، دولومیت، ژیپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می باشند. همچنین بیشترین شاخص اشباع کلسیت و دولومیت مربوط به منابع آب گروه

شور (گروه ۳) و سپس گروه ۲ (نیمه شور) بوده است (شکل ۴-۵۹). با توجه به جدول نمایه‌های اشباع، در اکثر نمونه‌های دشت میزان شاخص اشباع دولومیت بالاتر از کلسیت است، و احتمالاً علت بالا بودن شاخص اشباع دولومیت نسبت به شاخص اشباع کلسیت می‌توان به دلیل وجود کانی‌های دولومیت و کلسیت منیزیم‌دار، رخداد فرآیند دولومیت زدایی (Dedolomitization) و رسوب‌گذاری کلسیت باشد.

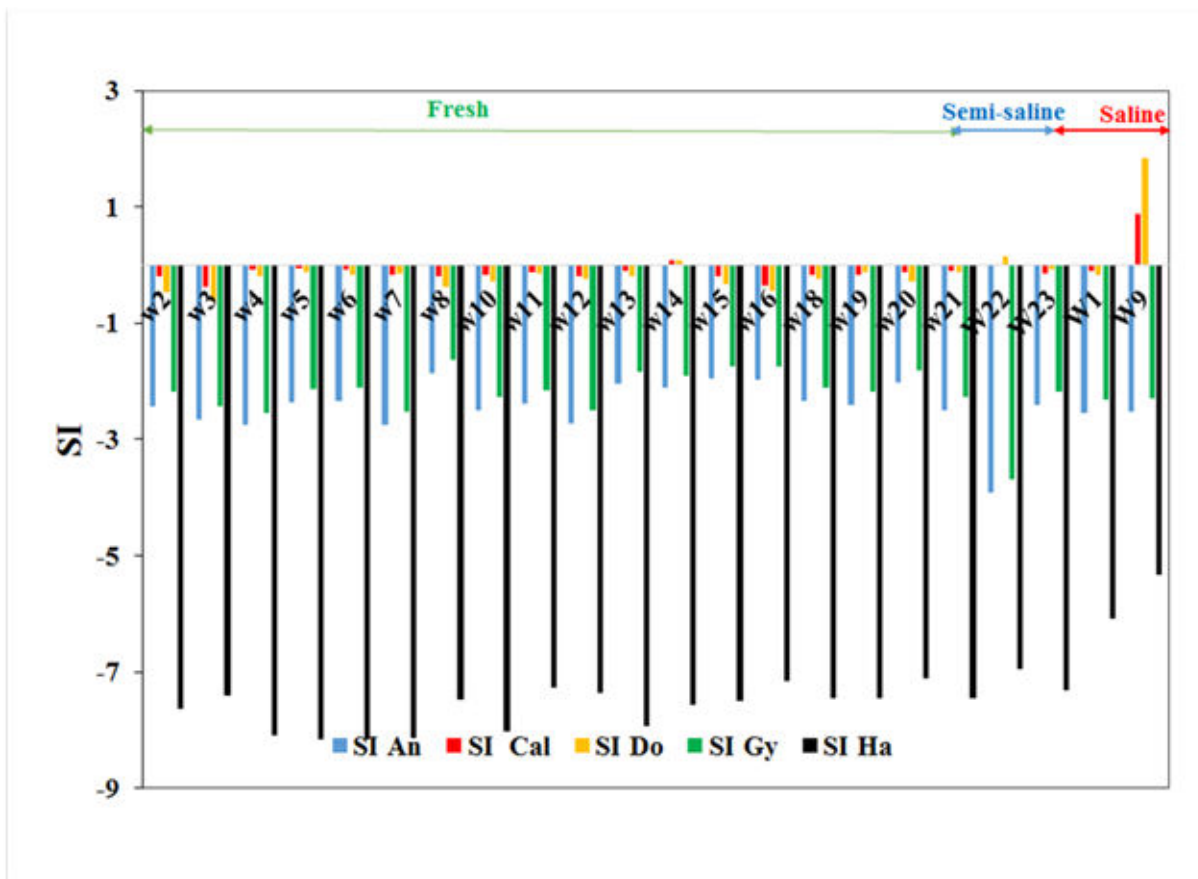


شکل ۴-۵۹: مقادیر نمایه‌های اشباع در منابع آب آبخوان آزاد حوضه قره‌سو

جدول ۴-۱۶: مقدار نمایه های اشباع نمونه های آب زیرزمینی آبخوان حوضه قره سو

Group	Sample Id	SI An	SI Cal	SI Do	SI Gy	SI Ha	SO4 (epm)	Cl(epm)
G1	w1	-۲/۰۹	-۰/۰۵	-۰/۴۵	-۱/۸۶	-۸/۲۴	۰/۹۲	۰/۷
	w2	-۱/۵۸	۰/۱۶	-۰/۲۵	-۱/۳۵	-۶/۷۶	۳/۹۵	۲/۹
	w6	-۲/۵۴	-۰/۶۳	-۰/۶۸	-۲/۳۱	-۷/۳	۱/۲۵	۰/۹
	w7	-۲/۰۹	-۰/۱۴	-۰/۰۸	-۱/۸۶	-۷/۳۶	۱/۴۶	۰/۸
	w8	-۲/۱۴	-۰/۰۴	-۰/۱۱	-۱/۹	-۷/۶۹	۱/۰۴	۰/۷
	w9	-۱/۷۶	۰/۱۲	-۰/۴۹	-۱/۵۴	-۶/۷۵	۲/۸۱	۳
	w11	-۱/۳	-۰/۷۵	-۱/۴۵	-۱/۰۸	-۶/۵۴	۵/۸۲	۴/۲
	w13	-۱/۶۸	-۰/۰۴	-۰/۱۹	-۱/۴۶	-۷/۱	۳/۷۴	۱/۶
	w14	-۱/۷	-۰/۹۵	-۱/۶۹	-۱/۵۵	-۷/۱۴	۲/۷۹	۱/۶
	w15	-۱/۶۷	-۰/۸۸	-۱/۵۶	-۱/۴۴	-۶/۸۳	۳/۳۳	۲/۴
	w16	-۱/۸۳	-۰/۰۷	-۰/۲۴	-۱/۶	-۷/۰۸	۳/۵۴	۱/۴
	w17	-۱/۶	۰/۰۳	-۰/۲۹	-۱/۳۷	-۷/۱۵	۴/۱۶	۱/۳
w18	-۱/۵۲	۰/۱	-۰/۳۳	-۱/۲۸	-۷/۴۳	۴/۲۶	۱/۵	
G2	W3	-۰/۹۲	۰/۲۸	-۰/۵۹	-۰/۶۹	-۵/۵۵	۱۵/۸۱	۱۰/۴
	W4	-۰/۵۲	۰/۴۳	۱/۰۴	-۰/۳	-۵/۱۴	۳۶/۶۱	۲۰/۵
	W10	-۱/۷۸	-۰/۴۷	-۰/۶۶	-۱/۵۶	-۷/۱۵	۳/۶۶	۱/۷
	W12	-۱/۵۳	-۰/۱۱	-۰/۰۸	-۱/۲۹	-۶/۷	۴/۳۳	۳/۲
G3	W5	-۰/۴۸	-۰/۰۳	-۰/۵۵	-۰/۲۷	-۳/۱۷	۷۰/۷۲	۲۴۸

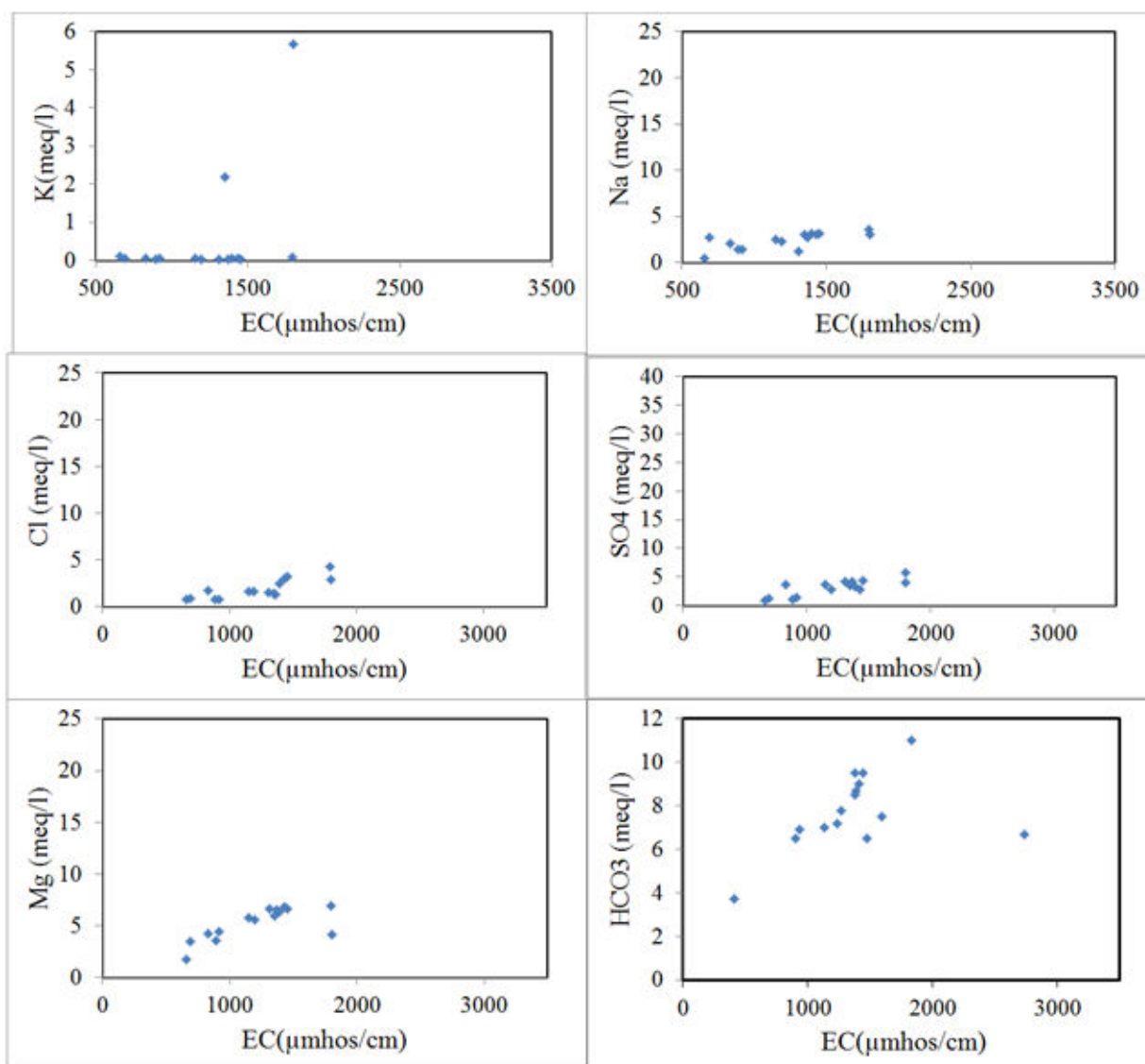
با توجه به جدول نمایه های اشباع، اکثر نمونه ها نسبت به کلسیت، دولومیت، ژیپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می باشند. بیشترین شاخص اشباع کلسیت و دولومیت مربوط به منابع آب گروه شور (گروه ۳) بویژه چاه W9 بوده است (شکل ۴-۶۰). در نمونه مذکور میزان شاخص اشباع دولومیت بالاتر از کلسیت است، و احتمالاً علت بالا بودن شاخص اشباع دولومیت نسبت به شاخص اشباع کلسیت می توان به دلیل وجود کانی های دولومیت و کلسیت منیزیم دار، رخداد فرآیند دولومیت زدایی (Dedolomitization) و رسوب گذاری کلسیت باشد.



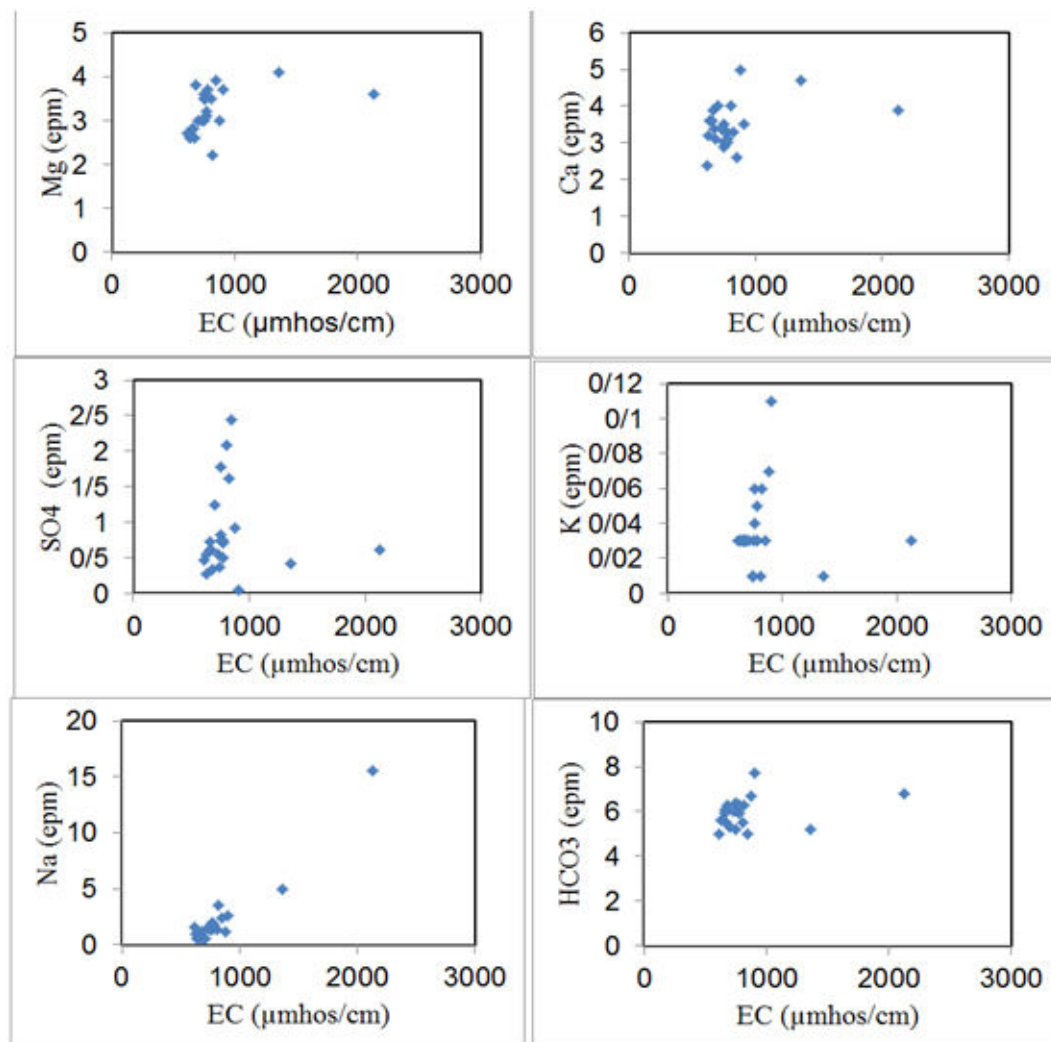
شکل ۴-۶: مقادیر نمایه‌های اشباع در منابع آب آبخوان محبوس حوضه قره‌سو

۴-۱۴- بررسی تکامل ژئوشیمیایی حوضه قره‌سو

در این بخش به بررسی منشا کلر و سولفات و همچنین فرآیندهای حاکم بر تکامل ژئوشیمیایی حوضه قره‌سو پرداخته می‌شود. فرآیندهای مؤثر شامل دولومیت‌زدایی، تبادل کاتیونی و نفوذ آب شور می‌باشد. در ابتدا به منظور تعیین ارتباط بین هدایت الکتریکی با یون‌های مختلف، نمودار غلظت یون‌های سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات در برابر مقدار هدایت الکتریکی رسم شده است (اشکال ۴-۶۱ و ۴-۶۲).



شکل ۴-۶: رابطه بین هدایت الکتریکی با یون های مختلف در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو

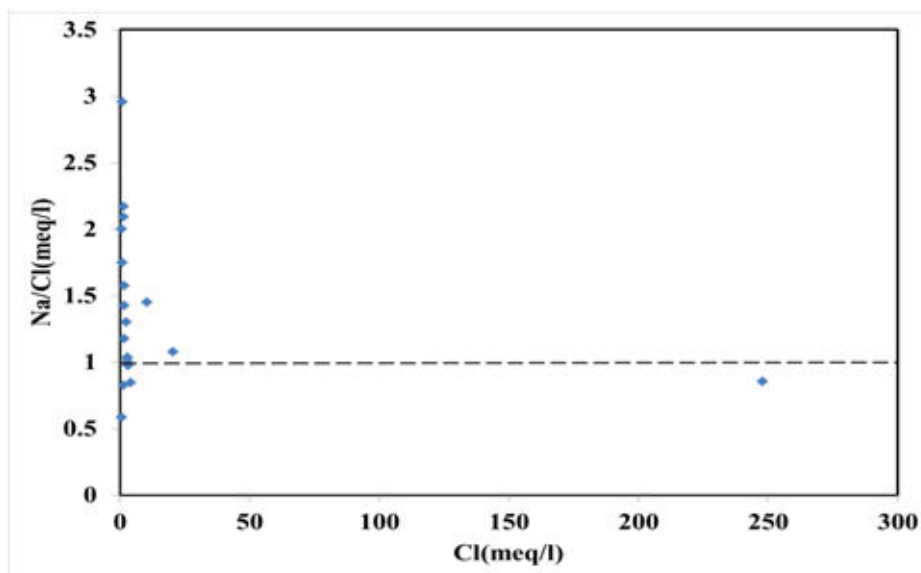


شکل ۴-۶: رابطه بین هدایت الکتریکی با یون های مختلف در آبخوان محبوس حوضه قره‌سو

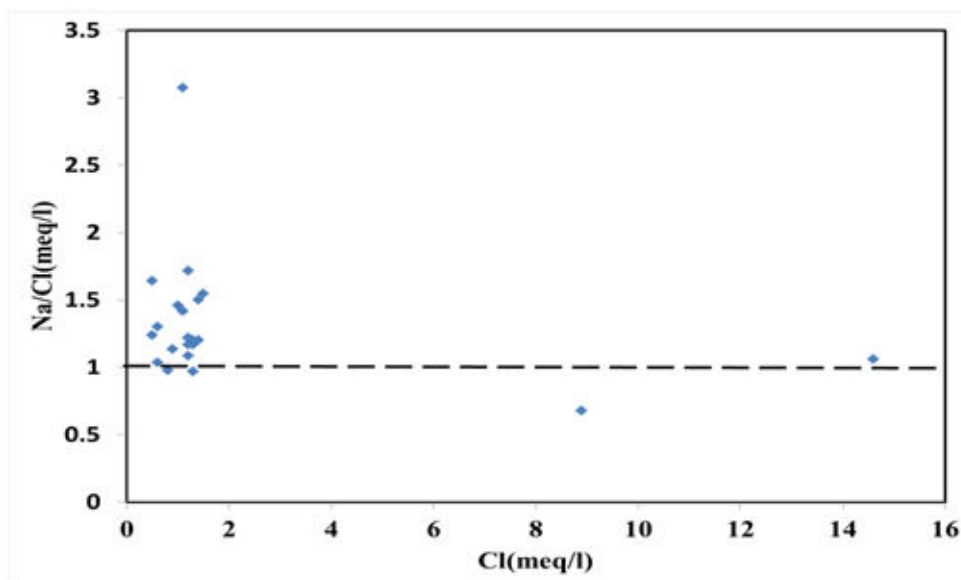
براساس موارد ذکر شده، در آبخوان آزاد تقریباً چاههایی که در مجاورت دریای مازندران واقع شده‌اند دارای درصد شوری بالاتری نسبت به دیگر منابع هستند. با مقایسه میزان EC با غلظت عناصر می‌توان به بررسی اینکه آیا منشا شوری می‌تواند تبخیر باشد پرداخت، لازمه این امر داشتن رابطه‌ای مستقیم بین EC و غلظت عناصر می‌باشد که با افزایش EC غلظت عناصر روندی صعودی داشته باشد، این همبستگی بین یون‌های سدیم، کلر، کلسیم، سولفات، منیزیم و عدم تبعیت بی‌کربنات از این روند حاکی از وجود پدیده انحلال یا اختلاط می‌باشد. نتایج حاصله بیانگر این مطلب می‌باشد که با توجه توضیحات داده شده، تبخیر نمی‌تواند دلیلی اصلی برای شور شدن آب چاه‌های منطقه در نظر گرفته

شود، زیرا همه عناصر با افزایش هدایت الکتریکی روندی صعودی مشخصی نشان نمی‌دهد (شکل ۴-۶۱). با توجه به (شکل ۴-۶۲) براساس موارد ذکر شده همچنین نشان داد که این عامل نمی‌تواند دلیلی برای شور شدن آبخوان محبوس حوضه باشد چرا که همه عناصر روندی مشابه نداشته و نسبت به افزایش EC روندی صعودی ندارند.

در این میان یون کلر و سدیم بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی دارند که این خود نوعی تخریب در کیفیت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. زمانی که نسبت کلر به سدیم برابر با یک باشد منشا کلر را می‌توان به انحلال نمک نسبت داد. به همین منظور غلظت یون کلر نسبت به غلظت سدیم به کلر ترسیم شد (شکل ۴-۶۳). با توجه به نمودار نسبت کلر به سدیم در دو چاه W_1 و W_9 نزدیک به واحد می‌باشد. بنابراین منشا کلر و عامل اصلی شوری در آبخوان آزاد حوضه قره‌سو، انحلال نمک می‌تواند باشد، کمی انحراف از خط انحلال نیز می‌تواند به دلیل رخداد تبادل یونی باشد. این موضوع نیز برای آبخوان محبوس نیز صادق است (شکل ۴-۶۴).

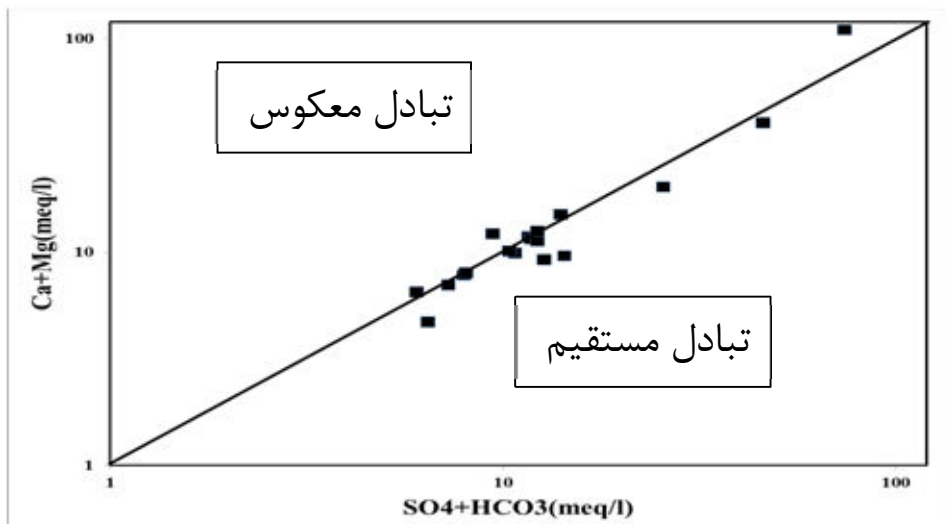


شکل ۴-۶۳: نمودار نسبت کلر به سدیم در مقابل کلر آبخوان آزاد

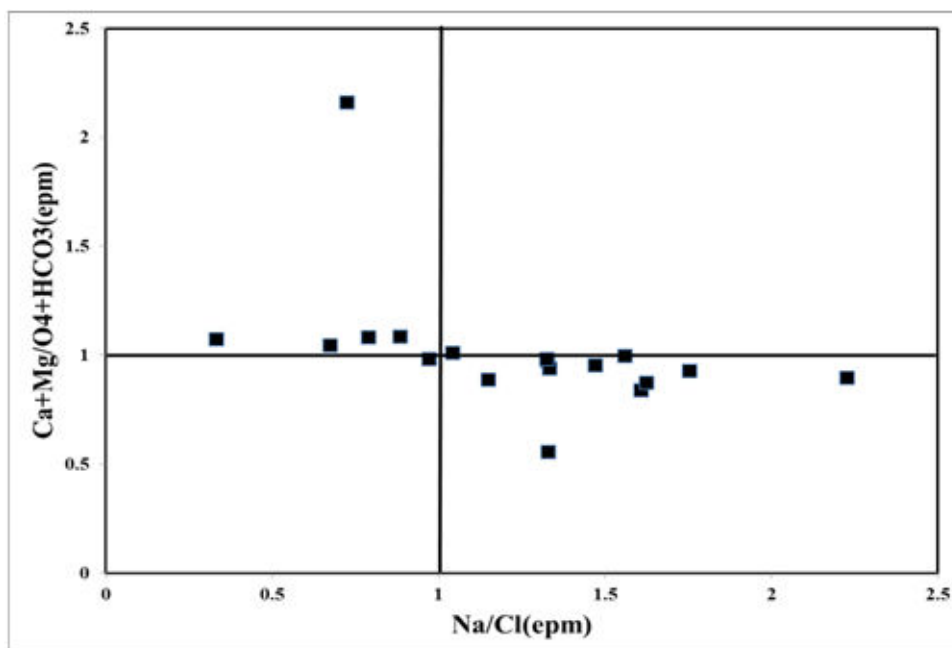


شکل ۴-۶۴: نمودار نسبت کلر به سدیم در مقابل کلر آبخوان محبوس

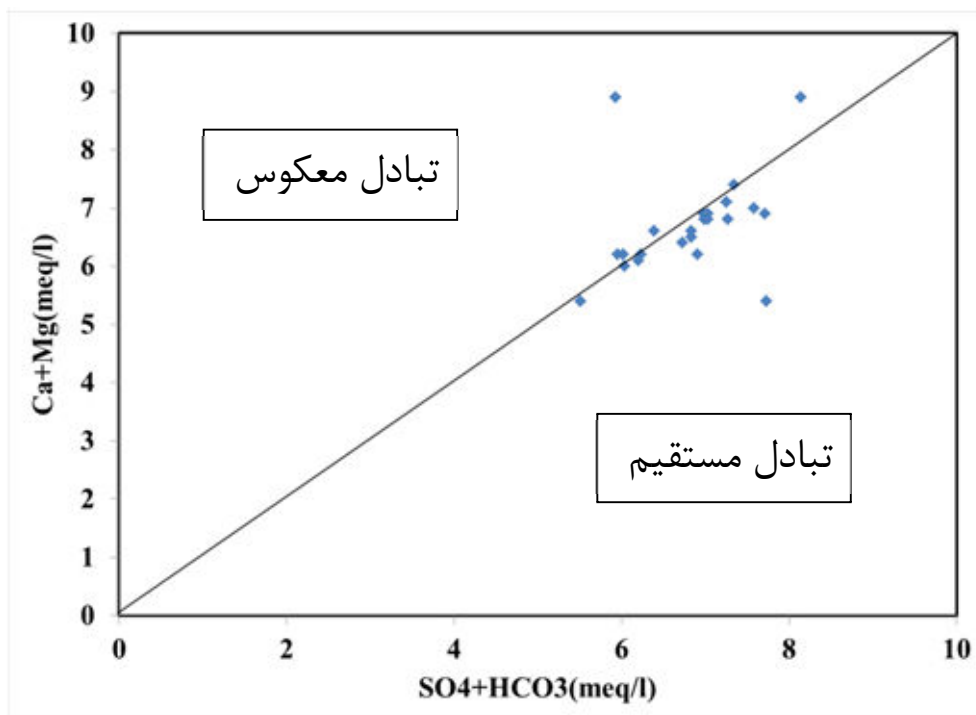
در طی فرآیند تبادل کاتیونی، یون سدیم با یون‌های کلسیم و منیزیم تبادل می‌یابد، به طوری‌که یون سدیم از مارن‌ها و دیگر سازندهای سدیم‌دار وارد آب شده و برعکس کلسیم و منیزیم وارد فاز جامد شده و غلظت آنها در آب کم می‌گردد. اشکال (۴-۶۵) و (۴-۶۷) نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 در منابع آب حوضه قره‌سو را برای دو آبخوان آزاد و محبوس را نشان می‌دهد. منشأ اصلی یون‌های کلسیم و منیزیم، انحلال کربنات‌ها و ژئپس می‌باشد. زیرا اکثر نمونه‌ها در نزدیکی خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. انحراف از این خط نشانگر وجود فرآیند تبادل کاتیونی می‌باشد و دلیلی مبنی بر انحلال هالیت و اگر کمتر از یک باشد می‌تواند دلالت بر تبادل یونی معکوس یا نفوذ آب شور داشته باشد. چاه‌های شور دارای انحراف می‌باشند در اشکال (۴-۶۶) تا (۴-۶۸) نسبت بین $Ca+Mg/SO_4$ در مقابل نسبت Na/Cl ترسیم شده است. با توجه به این شکل با افزایش شوری نسبت $Ca+Mg/SO_4$ کاهش و به سمت یک میل کرده ولی نسبت Na/Cl افزایش یافته است. دلیل کاهش $Ca+Mg/SO_4$ می‌تواند فرآیند دولومیت زدایی باشد، اما افزایش نسبت Na/Cl دلیلی بر وجود تبادل Na با Ca بوده است و یون سدیم در آب زیادتر شده و به تبع سبب افزایش نسبت نیز گردیده است.



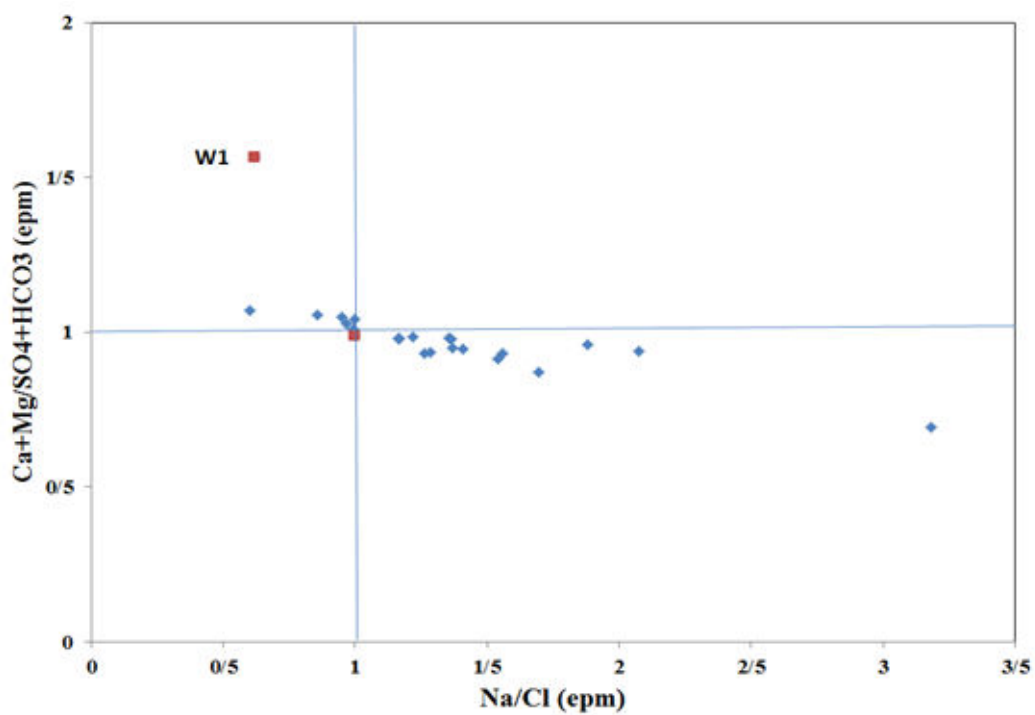
شکل ۴-۶۵: نسبت $Ca+Mg$ در مقابل SO_4+HCO_3 در آبخوان آزاد



شکل ۴-۶۶: نسبت بین $Ca+Mg/SO_4+HCO_3$ در مقابل نسبت Na/Cl در آبخوان آزاد



شکل ۴-۶۷: نسبت Ca+Mg در مقابل SO₄+HCO₃ در آبخوان محبوس



شکل ۴-۶۸: نسبت بین Ca+Mg/SO₄+HCO₃ در مقابل نسبت Na/Cl در آبخوان محبوس

۴-۱۵- بررسی اختلاط آب شور در نمونه‌های حوضه قره‌سو

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

برای بررسی دقیق‌تر دو عضو انتهایی برای نمونه‌های آب این منطقه در نظر گرفته شده است. درصد سهم آب شور در نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از یون پایستار کلر و از طریق معادله نمایش داده شده در زیر می‌توان محاسبه نمود. در معادله m_{sample} غلظت یون کلر در نمونه، m_{fresh} غلظت یون کلر در نمونه آب شیرین و m_{saline} غلظت یون کلر در نمونه شور می‌باشد. بر طبق معادله (۴-۲) محاسبات انجام شده، بازه‌ای بین ۱ تا ۱۲ درصد از مشارکت آب شور در آب زیرزمینی دشت را نشان می‌دهد که نمونه‌های که درصد سهم بیشتر از آب شور را دارند در قسمت‌های جنوبی دشت واقع شده‌اند.

$$f_{saline} = \frac{(m_{sample} - m_{fresh})}{(m_{saline} - m_{fresh})} \quad \text{معادله (۴-۲)}$$

واکنش بین آب و سنگ

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

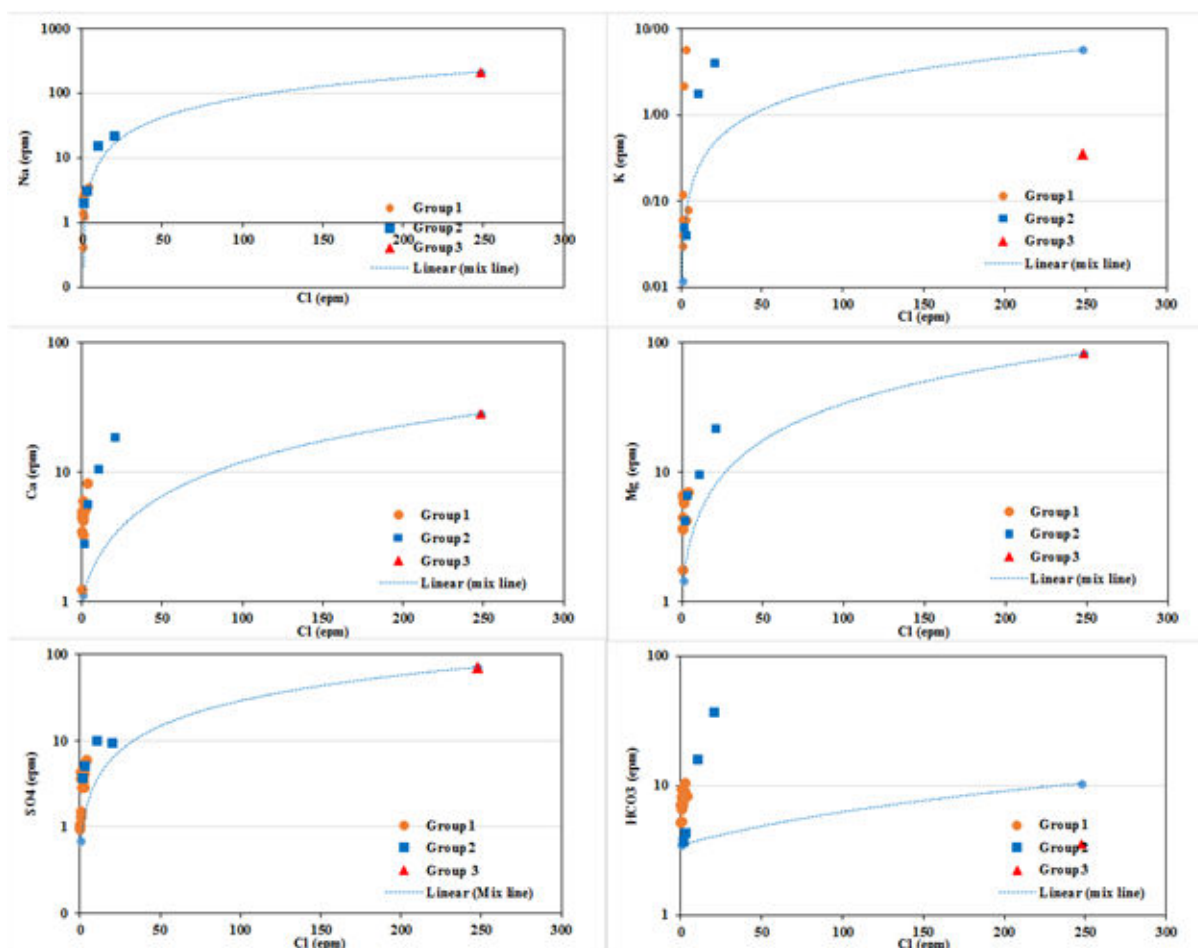
$$m_{i,mix} = f_{saline} \times m_{i,saline} + (1 - f_{saline}) \times m_{i,fresh} \quad \text{معادله (۴-۳)}$$

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

برای بدست آوردن دیگر فرآیندهای مؤثر بر غلظت یون‌ها در نمونه‌های آب زیرزمینی از فرمول زیر استفاده می‌شود که مقادیر مثبت یا منفی غلظت یون‌ها بر روی نمودارهای شکل (۴-۶۹) قابل تفسیر می‌باشد.

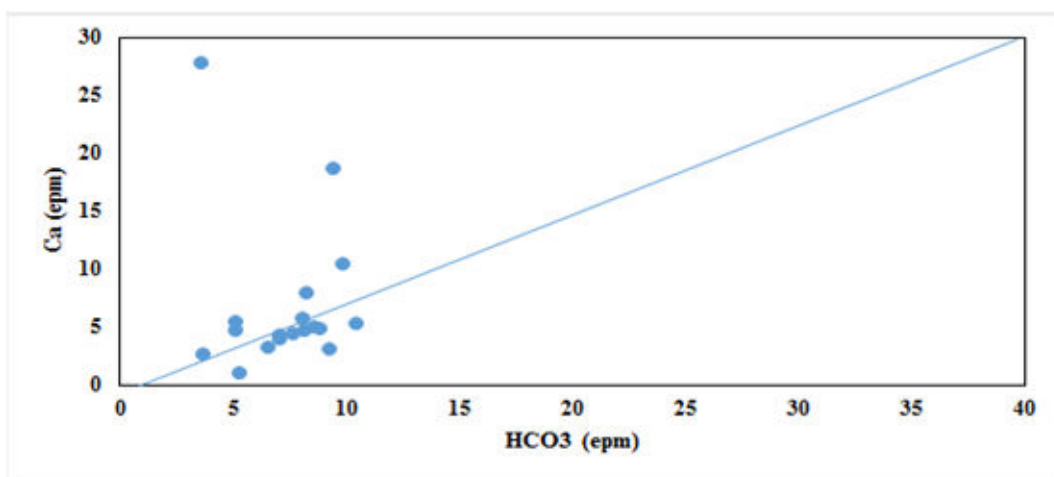
$$m_{i,\text{react}} = m_{i,\text{sample}} + m_{i,\text{mix}} \quad \text{معادله (۴-۴):}$$

در معادله فوق $m_{i,\text{sample}}$ غلظت یون مورد محاسبه در نمونه که از طریق آنالیز شیمیایی بدست آمده و $m_{i,\text{mix}}$ غلظت یون مورد نظر در همان نمونه که طبق معادله (۴-۳) بدست آمده است.

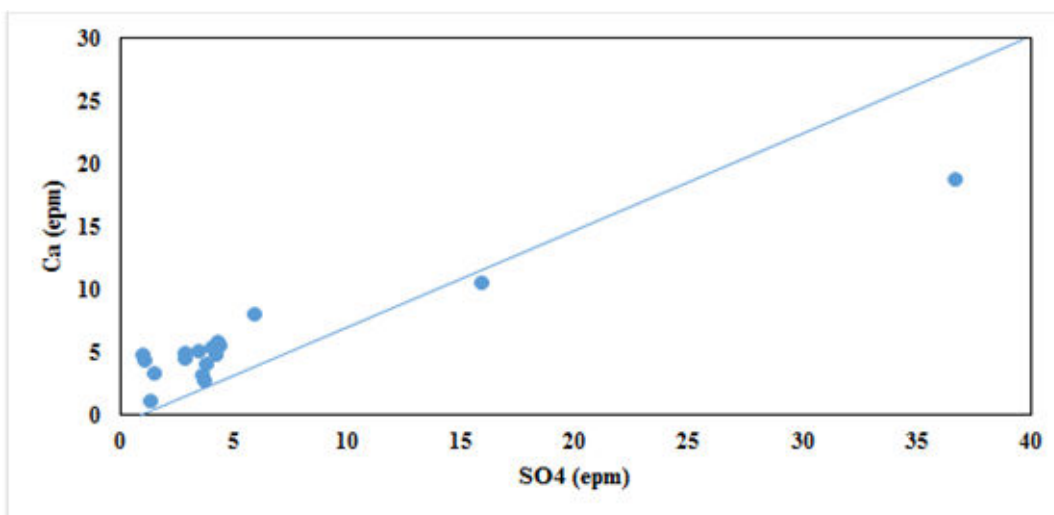


شکل ۴-۶۹: بررسی فرآیند اختلاط در گروه‌های مختلف منابع آب سفره آزاد حوضه قره‌سو

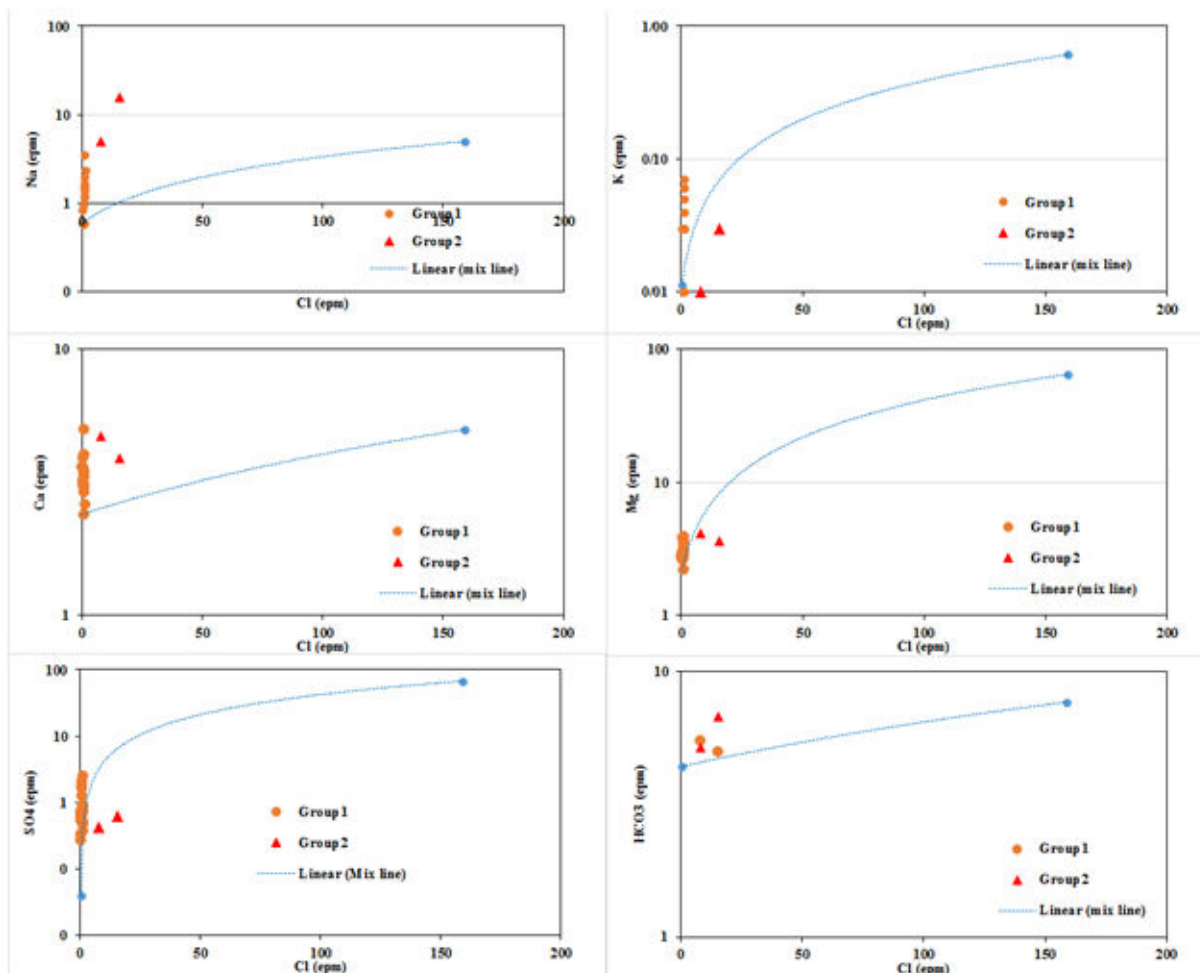
با توجه به بررسی‌های انجام شده و عدم پیروی داده‌ها از خط اختلاط، دلیل متعددی می‌تواند برای تغییر کیفیت آب در نظر گرفته شود (شکل ۴-۶۹). با توجه به نسبت یونی Na به Cl ؛ پدیده تبادل یونی مشاهده می‌شود. از طرفی دیگر نسبت یونی بین یون Ca به HCO_3 رابطه افزایشی را نشان می‌دهد که این موضوع خود نیز دلالت بر پدیده انحلال کربنات‌ها در منطقه دارد (شکل ۴-۷۰) ولی ۲ نمونه W_3 و W_4 از مسیر انحلال فاصله گرفته اند که احتمالاً پدیده دیگری رخ داده است که دلیل افزایش آن در این ۲ نمونه با توجه به شکل (۴-۷۱) می‌تواند انحلال ژپس باشد. افزایش میزان غلظت یون K نیز می‌تواند انحلال کانی رسی یا تبادل یونی باشد.



شکل ۰-۷۰: نمودار کلسیم در مقابل بی‌کربنات نمونه‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۰-۷۱: نمودار کلسیم در مقابل سولفات نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

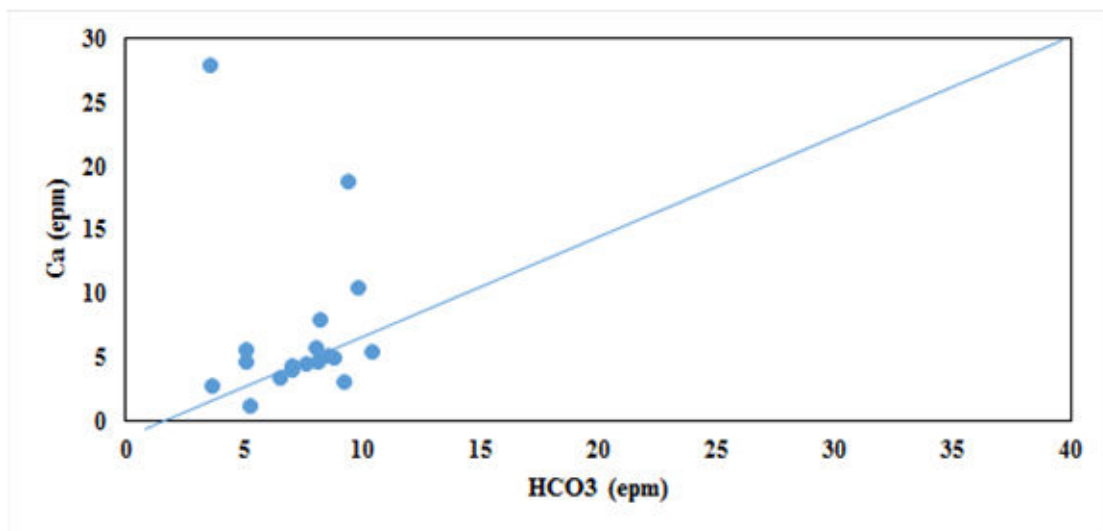


شکل ۴-۷۲: بررسی فرایند اختلاط در گروه‌های مختلف منابع آب سفره محبوس حوضه قره‌سو

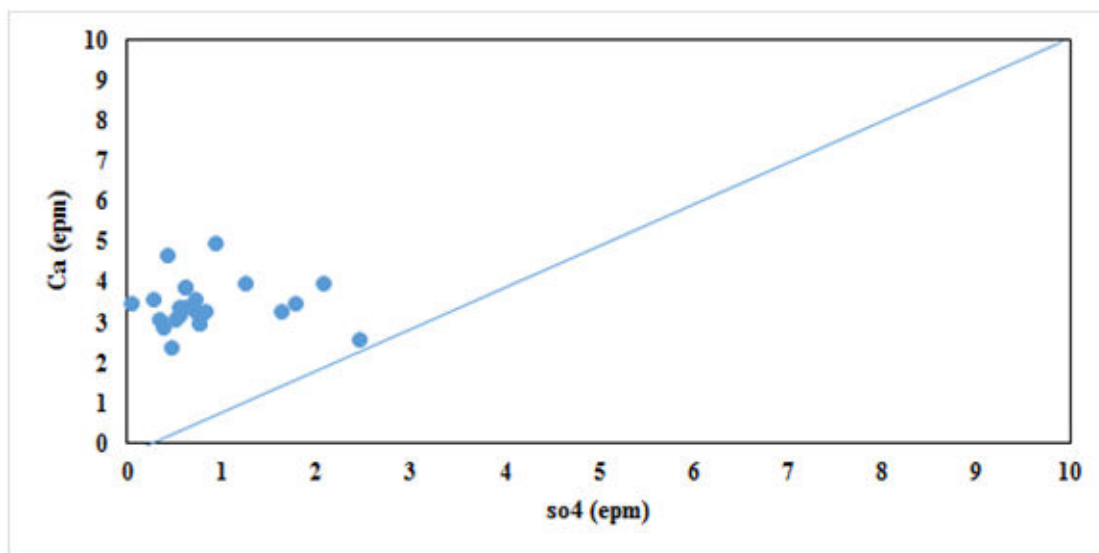
با توجه به شکل (۴-۷۲)، با توجه به اینکه سفره محبوس در کنار دریا می‌باشد انتظار می‌رود که تحت تاثیر نفوذ آب شور دریا قرار گرفته باشد. جهت جریان کلی آب زیرزمینی در این حوضه به سمت دریا و کفه های نمکی می‌باشد.

اگر سفره تحت فشار فقط تحت تاثیر پدیده نفوذ آب شور قرار گرفته باشد انتظار می‌رود که کلیه داده‌ها از خط اختلاط پیروی کنند. انحراف از خط اختلاط نشانگر پدیده‌هایی دیگر همچون تبادل یونی می‌باشد و با توجه به جهت حرکت آب زیرزمینی به سمت آب شور انتظار پدیده تبادل یونی مستقیم می‌رود. در منطقه مورد مطالعه با توجه به شکل پدیده دیگر به غیر از اختلاط رخ داده است. یکی از پدیده‌های محتمل انحلال کانیهای تبخیری و کربناته می‌باشد (شکل ۴-۷۳). در منطقه مورد

مطالعه تا حدودی انحلال کربنات و ژئوپس را داریم (شکل ۴-۷۵) ولی عامل اصلی انحراف می‌تواند پدیده تبادل یونی باشد.



شکل ۴-۷۳: نمودار کلسیم در مقابل بی‌کربنات نمونه‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۷۴: نمودار کلسیم در مقابل سولفات نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

فصل پنجم

نتیجہ گیری و مشہادہ

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

۵-۱- بررسی هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی حوضه قره‌سو

۵-۱-۱- ارزیابی گرادیان هیدرولیکی و مناطق عمده تغذیه و تخلیه دشت

بررسی نقشه هم‌پتانسیل آبخوان دشت گرگان نشان داد که بالاترین تراز آب زیرزمینی منطبق بر نواحی شرقی و جنوبی دشت می‌باشد (منطقه تغذیه) و با پیشروی به سمت غرب و دریای مازندران از تراز آب کاسته شده و در نوار ساحلی کمترین مقدار خود را دارا است (منطقه تخلیه). نتایج نشان می‌دهد که منشأ اصلی تغذیه دشت گرگان را جریانات شکل گرفته از ارتفاعات جنوبی، تشکیل می‌دهد. اگر دشت به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شود، در نیمه شمالی دشت گرگان منحنی‌های تراز آب تقریباً دارای روند شرقی- غربی بوده و در نیمه جنوبی، رقوم آنها از جنوب به سمت شمال کاهش می‌یابد. جهت کلی جریان آب زیرزمینی در آبخوان دشت گرگان، همروند با جریانات سطحی این دشت و از جنوب به سمت شمال و از شرق و جنوب شرق به سمت غرب می‌باشد. گرادیان هیدرولیکی در دشت، یکنواخت نیست به طوری که بیشترین میزان گرادیان هیدرولیکی در نواحی جنوبی دشت و در منطقه تغذیه می‌باشد و به سمت شمال و شمال شرقی دشت گرادیان هیدرولیکی کاهش یافته است.

۵-۱-۲- ارزیابی دشت بر اساس تغییرات افت طولانی مدت

حوضه قره‌سو بر اساس میزان افت ۱۰ ساله، به سه زون A، B و C تقسیم شده است. به‌طوری‌که زون A کمترین و زون C بیشترین میزان افت را دارد. بررسی نقشه افت منطقه مورد مطالعه نشان داد که بیشترین مقدار افت آب زیرزمینی در نوار جنوبی دشت می‌باشد که علت آن را میتوان علاوه بر

برداشت زیاد آب از چاه‌ها به دلیل نزدیک بودن به مناطق شهری، به برخی از شرایط محلی از قبیل نزدیکی پیژومترهای این منطقه به ارتفاعات و قرارگیری آنها در مرز ورودی آبخوان دانست. به همین ترتیب با بالا رفتن و در میانه‌های دشت افت کاهش یافته و در نواحی شمالی و حاشیه دریای مازندران میزان افت بسیار کم می‌شود.

۵-۱-۳- هیدروگراف واحد دشت

با توجه به هیدروگراف واحد دشت برای یک دوره ۲۵ ساله چاه‌های کم عمق؛ تغییرات سطح ایستابی در این منطقه روند نزولی را نشان می‌دهد. طی این دوره ۲۵ ساله سطح آب زیرزمینی آبخوان آزاد حوضه قره‌سو ۱/۶۲ متر افت پیدا کرده است از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۲ با کاهش بارندگی و به تبع آن کاهش تغذیه به آبخوان؛ سطح آب زیرزمینی افت پیدا کرده است، ولی با افزایش بارندگی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ سطح ایستابی نیز روند افزایشی به خود گرفته است. در حالیکه در بقیه ادوار با نوسانات میزان بارندگی، سطح ایستابی روندی نزولی پیدا کرده است.

همچنین هیدروگراف واحد دشت برای یک دوره ۱۵ ساله چاه‌های عمیق؛ تغییرات سطح ایستابی در سفره محبوس روند نزولی را نشان می‌دهد. طی این دوره ۱۵ ساله سطح آب زیرزمینی آبخوان عمیق حوضه قره‌سو ۵/۷۷ متر افت پیدا کرده است. در شهریور ۱۳۸۲ با کاهش بارندگی و به تبع آن کاهش تغذیه به آبخوان و برداشت بی رویه، سطح آب زیرزمینی افت چشمگیری پیدا کرده است، ولی با افزایش بارندگی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ سطح ایستابی نیز روند افزایشی به خود گرفته است. در حالیکه از سال ۱۳۸۵ به بعد با نوسانات میزان بارندگی، سطح ایستابی روندی نزولی پیدا کرده است. که این کاهش برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به بیشترین میزان خود می‌رسد.

سطح آب زیرزمینی افت زیادی داشته است که طبق گزارشات آب منطقه‌ای استان گلستان، علت این افت، خشکسالی رخ داده در این سالها و به دنبال آن برداشت بیش از حد از چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

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

۵-۲-۱- نتایج حاصل از بررسی هدایت الکتریکی

با توجه به نقشه هم‌EC، جبهه‌های ورودی حوضه در جنوبی دارای کمترین مقادیر EC بوده و در حال حاضر ۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد که در راستای جهت جریان بر میزان هدایت الکتریکی افزوده می‌شود؛ به‌طوریکه در بخش غربی و شمال غربی حوضه دارای بیشترین میزان است. میزان EC در اکثر نقاط نمونه برداری در هر دو آبخوان آزاد و محبوس دارای روندی تقریباً مشابه می‌باشد، این در حالیست که مقادیر EC از محل تغذیه به سمت محل تخلیه در آبخوان آزاد از ۴۰۰ تا ۲۷۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر و در آبخوان محبوس از ۷۰۰ تا ۲۲۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغییر است. بالا بودن مقادیر هدایت الکتریکی در آبخوان حاکی از افزایش بی‌رویه برداشت از آبخوان و به تبع آن کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد، از طرفی بالا بودن میزان EC در بخش غربی و شمال غربی حوضه در مجاورت دریای مازندران می‌تواند بدلیل پدیده انحلال نمک و تبادل یونی به علت وجود کفه‌های نمکی باشد.

۵-۲-۲- ارزیابی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

به منظور بررسی روند تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌ها اصلی موجود در آب زیرزمینی حوضه قره‌سو، نقشه پراکندگی یون‌های کلر، سولفات، کلسیم و سدیم رسم شده است. کلر و سدیم و بعد از آن سولفات در

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

۵-۲-۳- بررسی تیپ آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نمودار استیف رسم شده آب‌های زیرزمینی منطقه به سه گروه تقسیم بندی شده است. گروه ۱ شامل چاه‌های شیرین منطقه است، تیپ غالب از نوع $Mg-HCO_3$ تا $Ca-HCO_3$ می‌باشد که با توجه به وجود این منابع در مناطق تغذیه آهکی - دولومیتی قابل توجیه است، گروه ۲ دارای تیپ‌های غالب $Na-Cl$ و $Mg-SO_4$ بوده و تیپ غالب گروه ۳ نیز $Na-Cl$ است که با توجه به منشا تبخیری و همچنین نفوذ آب‌های شور به سمت آنها قابل توجیه هستند. با توجه به نمودار پایپر، در آبخوان آزاد اکثر نمونه‌ها در زون بی‌کربنات در دیاگرام پلات شده است و نمونه آب‌شور W_5 نیز در سمت مقابل در زون کلروره دیاگرام قرار گرفته است. دو نمونه W_3 و W_4 در بین این دو نمونه آب

پلات شده‌اند. بنابراین با توجه به دیاگرام پایپر می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب شیمیایی این دو نمونه، در اثر اختلاط بین نمونه شور با آب شیرین بی‌کربناته تشکیل شده‌اند. در آبخوان محبوس اکثر نمونه‌ها در زون بی‌کربناته در دیاگرام پلات شده است. دو نمونه W_0 و W_1 در زون کلروره واقع شده . ولی بدلیل قرار نگرفتن داده ها بر روی خط اختلاط می تواند نشانگر دلایلی چون باشد. بنابراین با توجه به دیاگرام پایپر می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب شیمیایی این دو نمونه، در اثر اختلاط بین نمونه شور دریا با آب شیرین بی‌کربناته و یا تبادل یونی یا انحلال تشکیل شده‌اند.

پیشنهادها

- ۱- با توجه به اینکه بخش قابل توجه‌ای از آب مورد استفاده حوضه قره‌سو از آب زیرزمینی تأمین می‌شود، بدین وسیله بررسی و مطالعات تأمین آب در بلندمدت با توجه به افزایش روز افزون جمعیت منطقه و نیاز هرچه بیشتر به این مایع حیات اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد.
- ۲- با بررسی نمودار هیدروگراف واحد مشخص شد که سطح آب زیرزمینی بدلیل کمبود نزولات جوی و برداشت بی‌رویه آب در حال افت می‌باشد که این موضوع نظارت بیشتر سازمان‌های مربوطه را می‌طلبد.
- ۳- شبکه پیزومتری و تعداد چاه‌های نمونه‌برداری با پراکندگی گسترده‌تر و مناسب‌تر در سطح دشت گسترش یابد.
- ۴- مدیریت برداشت در محل‌هایی که افت نقطه‌ای زیاد است، صورت بگیرد.

منابع:

- ۱- آباد م. (۱۳۸۵)، " بررسی افت سطح ایستابی در شوری آب زیرزمینی منطقه زیدآبادسیرجان". مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
- ۲- ابراهیمی ا. امین م. م. هاشمی ح. فولادی فر ر. وحید دستجردی م. (۱۳۸۸)، " بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه سجاد شهرستان زرین شهر". مجله تحقیقات نظام سلامت ، سال ششم، شماره ۴.
- ۳- احمدی س. تلخابلو م. (۱۳۹۲)، "ارزیابی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی و کیفیت منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه گدارچای نقده با نگرشی بر لیتولوژی منطقه"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴- جعفری ح ر. علمدار ص. زاینده رودی ا. (۱۳۹۰)، "بررسی عوامل زمین‌شناسی تاثیرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت"، فصل نامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال چهارم، شماره چهارم.
- ۵- جهانشاهی نوکنده ن. کرمی غ. (۱۳۹۴)، " ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی دشت گرگان دریک دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۲-۱۳۹۲) و ارائه راهکارهای مدیریتی"، سومین سمپوزیوم بین المللی مهندسی محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.
- ۶- چیت‌سازان م. میرزایی ی. محمدی بهزاد ح ر. شبان م. غفاری ح ر. موسوی ف. (۱۳۸۸)، " تاثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آبهای زیرزمینی دشت خویس"، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت ن.
- ۷- درویش زاده ع. (۱۳۸۵)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر.

- ۸- روحی ح. کلانتری ن. محمدی بهزاد ح ر. دانشیان ح. (۱۳۹۲)، "بررسی عوامل مؤثر بر خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت الباجی)"، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته شماره ۹.
- ۹- روشن‌دل ف (۱۳۹۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد. بررسی اثرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت چاردلی استان کردستان، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزیگروه مهندسی آب.
- ۱۰- زارعی ح. اژدری ع. (۱۳۸۴)، کیفیت شیمیایی منابع آب حوضه آبریز سد ابولفارس و تاثیر سازند گچساران بر آن"، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۱۱- شاه‌ی‌دشت ع ر. عباس نژاد ا. (۱۳۹۲)، "ارائه راهکارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی دشت های استان کرمان"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی سال (۱۳۹۰)، شماره ۲: ۱۴۶-۱۳۱.
- ۱۲- شمعانیان غ. رقیمی م. یخشکی ا. احمدی م. یارمحمدی م. دهقان ح. (۱۳۸۴)، "هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی درحوضه آبریزگرانرود- قره‌سو، استان گلستان"، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۱۳- شهبازی ر. (۱۳۹۰)، "تاثیر سازندهای زمین‌شناسی برکاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز کویر مرکزی ایران (مطالعه موردی: حوضه آبخیزچشمهعلی دامغان)"، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۱.
- ۱۴- عزیزی غ. (۱۳۸۲)، "ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین"، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۴۶، صفحه ۱۴۶-۱۳۱.

- ۱۵- فاریابی م. کلانتری ن. نگارستانی ا. (۱۳۸۹)، "ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از روشهای آماری وهیدرووشیمیایی"، علوم زمین سال بیستم، شماره ۷۷، صفحه ۱۱۵-۱۲۰.
- ۱۶- قندی ا. اصغری مقدم ا. (۱۳۸۴)، "بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت تسوج"، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- ۱۷- کرمی غ. (۱۳۹۲)، "بررسی هجوم آب شور از کویر مرکزی به آبخوان اسفراین (خراسان شمالی)"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ۹، شماره ۱، صفحه ۵۳-۶۳.
- ۱۸- کلانتری ن. ارشد پ. (۱۳۹۱)، "اثر خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت چاهگاه با استفاده از GIS"، همایش ملی بهره برداری بهینه از منابع آب.
- ۱۹- کلانتری ن. علیجانی ف. (۱۳۸۷)، "بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عباس استان خوزستان"، مجله علوم دانشگاه. ۸۴-شهرید چمران اهواز. شماره ۱۹. ب. صفحات ۹۹.
- ۲۰- کلانتریان ف. کرمی غ. (۱۳۸۸)، "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی وهیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی تنکابن.
- ۲۱- محبی م ر. اعظم واقفی ک. منتظری ا. ابطحی م. اکتایی س. غلام نیا ر. علی عسگری ف. سعیدی ر. (۱۳۹۲)، "توسعه یک شاخص نوین کیفیت آب آشامیدنی (MDWQI) و استفاده از آن در ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی ایران"، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران.
- ۲۲- مسلمی خ. (۱۳۹۰)، "پیش بینی سطح آب زیرزمینی دشت بسطام با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه استنتاج تطبیقی عصبی فازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- ۲۳- میرعباسی نجف آبادی ر. عربعلی ساوه‌یی ع. رهنما م ب. (۱۳۸۶)، "ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی و اثر آن بر کیفیت آب زیرزمینیدشت سیرجان"، اولین همایش زمین‌شناسی زیست محیطی و پزشکی.
- ۲۴- نبوی م ح. (۱۳۵۵)، "دیبچه ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، صفحه ۹۲.
- ۲۵- هرایبی س. اصغری مقدم ا. صدیق ح. (۱۳۹۰)، "بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی بر اثر افت سطح ایستابی دشت آذرشهر". مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین.
- ۲۶- ولایتی س. (۱۳۸۱)، "تاثیر اضافه برداشت آب از چاه‌ها در شورشدن آبخوان دشت جنگل تربت حیدریه"، فصلنامه تحقیقات. ۹۱-جغرافیایی. شماره ۶۷. صفحات ۶-۱.

Reference

1. 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.
2. Chan C. H. (2001). "Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea". *Journal of Hydrology*, 253(1), pp.194-210.
3. Hounslow A. (1995). "Water quality data: analysis and interpretation" CRC Press, LLC, 416 pages.
4. Jacob C. E. (1947). "Draw down test to determine effective radius of artesian well". *Trans. Amer. Society Civil Engrs.* V. 112, pp. 1047-1070.
5. Knuth M. Jackson J.L. and Whittemore D.O. (1990). "An integrated approach source contaminating to identifying the salinity a ground-water supply". *Groundwater*, 28 (2): 207-214.

6. 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.
7. Razack M. and Huntley D. (1991). "Assessing transmissivity from Specific Capacity in a Large Heterogeneous Alluvial Aquifer". *Ground water*, 29.
8. Richter B.C. and Kreitler C.W. (1993). "Geochemical Techniques for Identifying Source of Ground-Water Salinization". USA: C. K. Smoley.
9. Todd D. K. and Mays L. W. (2005). *Groundwater Hydrology*. John Wiley and sons, Inc, New York, pp.636.
10. Vengosh A. (2005). "Salinization and Saline Environmental". chapter 9.09: in *Environmental Geochemistry*, Edited by Lollar. B.S., 1st Edition, Elsevier Science, 648 p113.
11. 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.

Abstract:

Qaresoo Plain with an approximate area of 1600 km² and with coordinates of 54° 00' to 54° 54' eastern longitude and 36° 36' to 36° 59' north latitude is part of the Gorgan Basin. It is located in the western part of Golestan province and south-east of the Caspian Sea. The exiting groundwater in this area is of vital important. From the hydrogeological point of view, it consists of both confined and unconfined aquifers. The saline water of Caspian Sea and salt plain exist in west and north of the plain. The main purpose of this study is to study the hydrogeological and hydrochemical characteristics of the both aquifers. In order to study the hydrogeological characteristics, the data of water level variation in 16 piezometer wells in the unconfined and 41 in confined aquifers of the plain is used. The general groundwater direction in both aquifers is from east and south to east and north-east of the plain. According to unit hydrograph of 15 years, a 1.6 m and 5.77 m reduction in the groundwater level was observed in confined and unconfined aquifer, respectively. According to the water balance equilibrium equation for confined and unconfined aquifers in Qaresoo Basin, in 2009-2010, the volume of reservoir's changes for the confined and unconfined aquifers is -2.66 and -1.28 Mm³, respectively. Based on the hydrochemistry analysis of 41 water samples from operating wells and sea water, the groundwater quality is affected by the aquifer water withdrawal and intrusion of saline water, especially in west and north of the plain. The electrical conductivity is increasing along the direction of flow from the recharge point to the discharge point in both aquifers, which is changed from 400 to 2200 μS/cm and 700 to 2780 μS/cm in the confined and unconfined aquifers, respectively. The enhancement in salinity of these aquifers is mainly due to salt water intrusion from Caspian Sea and salty plain in north of the area.

Keywords: Qaresoo plain, Hydrogeology, saline water intrusion, electrical conductivity



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

**Hydrogeological and Hydrochemical Evaluation of Qaresoo Plain,
Golestan Province**

By:

Mohammad Ali Shahhosseini

Supervisor:

Rahim Bagheri

January 2018