

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

تکامل ژئوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار، استان مازندران

نگارنده: صفورا حیدری چراتی

استاد راهنما
دکتر هادی جعفری

مهر ۱۳۹۹

تقدیم به آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم

پدرم [روحش شاد]

و

خانواده‌ام [مهربان و فداکار]

و

استاد راهنما [ارجمند و گرامی]

و

وطنم ایران [سربلند و جاویدان]

تشکر و قدردانی

خدایا عجب از آدمی،

که نشانه‌هایت را می‌بیند و انکارت می‌کند

و عجب از تو که انکارش را می‌بینی و مهربانی می‌کنی.

تشکر و سپاس از استاد گرامی و ارجمند جناب آقای دکتر هادی جعفری که پیوسته چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده است. در ادامه از کلیه اساتید ارجمند در طول دوره تحصیل آقای دکتر غلامحسین کرمی و آقای دکتر رحیم باقری قدردانی و تشکر می‌نمایم.

در پایان از شرکت آب منطقه‌ای مازندران (به خصوص بخش مطالعات)، که اطلاعات پایه را در اختیار اینجانب قرار دادند، کمال تشکر دارم.

هرکس در برابر خوبی‌ای که به او شده همانند آن را انجام دهد، آن را تلافی کرده است و اگر بیشتر از آن خوبی کند، سپاسگزاری نموده است (امام علی[ع]).

صفورا حیدری چراتی

مهر ۱۳۹۹

سپاس

تعهد نامه

اینجانب صفورا حیدری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته هیدروژئولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تکامل ژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار، استان مازندران تحت راهنمایی جناب آقای دکتر هادی جعفری متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطالب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

سازندهای زمین‌شناسی، واکنش‌های آب و سنگ و فعالیت‌های انسان‌زاد نظیر کشاورزی و صنعتی از عوامل اصلی تغییرات در ترکیب آب زیرزمینی و کیفیت آبخوان‌ها می‌باشند. فعالیت‌های کشاورزی (کشت برنج و مرکبات) به‌صورت گسترده در محدوده آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار در استان مازندران صورت می‌گیرد که می‌تواند کیفیت آبخوان را تحت تأثیر قرار دهد. لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی تکامل ژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار انجام شده است. بدین‌منظور از ۴۰ حلقه چاه بهره‌برداری با پراکندگی مناسب در خرداد ماه ۱۳۹۸ نمونه‌برداری صورت گرفت. پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) و pH در صحرا و یون‌های اصلی و فرعی (نیترات و فسفات) در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری گردید. براساس تغییرات مکانی هدایت الکتریکی، نمونه‌های آب زیرزمینی به دو گروه قابل تفکیک می‌باشد. گروه یک در برگیرنده نمونه‌های با هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد، رفتار شیمیایی آن‌ها عمدتاً متأثر از فرایندهای هیدروژئوشیمیایی غالب در آبخوان می‌باشد. گروه دو دربردارنده نمونه‌های با هدایت الکتریکی بیشتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در بخش شمالی آبخوان بوده که به‌دلیل برداشت‌های بی‌رویه آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی، تحت تأثیر هجوم آب شور آبخوان ساحلی قرار گرفته است. تیپ غالب آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار بی‌کربناته - کلسیک می‌باشد. کیفیت آب زیرزمینی در قسمت جنوبی در مجاورت سازندهای کربناته تغذیه‌کننده دشت خوب و مناسب بوده و در مسیر جریان به‌طرف خروجی دشت به خاطر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی و رسوبات رس و ماری از کیفیت آن کاسته شده است. نمودارهای ژئوشیمیایی ضمن تأیید رخداد واکنش‌های آب - سنگ در آبخوان، نشان‌دهنده تأثیر انحلال کلسیت، ژپس و هالیت، نفوذ آب شور و تبادل یونی معکوس در کیفیت و تکامل شیمیایی آبخوان قائم‌شهر - جویبار می‌باشد.

کلمات کلیدی: تکامل شیمیایی، واکنش آب و سنگ، کشاورزی، قائم‌شهر - جویبار، مازندران

مقالات مستخرج از این پایان نامه

تکامل ژئوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار، استان مازندران،

بیست و سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۲۰ و ۲۱ آبان ۱۳۹۹ (نماینه و انتشار در

(CIVILICA & SID & ISC)

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی.....	۴
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه.....	۶
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه.....	۹
۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه.....	۱۰
۲-۴-۱- زمین‌شناسی ساختاری منطقه.....	۱۵
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه.....	۱۸
۶-۱- هیدرولوژی منطقه.....	۲۰
۷-۱- هیدروژئولوژی منطقه.....	۲۱
فصل دوم: تئوری تحقیق و مروری بر مطالعات پیشین.....	۲۳
۱-۲- مقدمه.....	۲۴
۲-۲- تکامل ژئوشیمیایی.....	۲۵
۳-۲- کیفیت پایه آب زیرزمینی.....	۲۷
۴-۲- عوامل انسانی اثر گذار بر کیفیت آب زیرزمینی.....	۳۴
۱-۴-۲- فعالیت‌های کشاورزی.....	۳۴
۲-۴-۲- اثر برداشت بیش از حد مجاز بر روی کیفیت آب زیرزمینی.....	۴۱
۳-۴-۲- صنعت.....	۴۲
۴-۴-۲- ضایعات حیوانی.....	۴۳
فصل سوم: روش انجام کار.....	۴۵
۱-۳- مقدمه.....	۴۶
۲-۳- جمع‌آوری آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی.....	۴۶
۳-۳- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه.....	۴۷
۴-۳- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از چاه‌های بهره‌برداری.....	۴۷
۵-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده.....	۵۰
۶-۳- بررسی یون‌های فرعی.....	۵۲
۷-۳- تهیه نقشه‌های مختلف کیفی و بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی.....	۵۲

فصل چهارم: بررسی تکامل شیمیایی آبخوان آبرفتی قائمشهر - جویبار.....	۵۳
۱-۴- مقدمه.....	۵۴
۲-۴- هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی دشت قائمشهر - جویبار.....	۵۴
۳-۴- بررسی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائمشهر - جویبار.....	۵۹
۱-۳-۴- هدایت الکتریکی.....	۶۱
۲-۳-۴- pH.....	۶۶
۳-۳-۴- نمودارهای کیفی آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جویبار.....	۶۷
۴-۳-۴- تغییرات مکانی یون‌های اصلی.....	۷۶
۵-۳-۴- بررسی تغییرات مکانی نیتрат آب‌های زیرزمینی دشت قائمشهر - جویبار.....	۸۱
۵-۴- بررسی تغییرات مکانی یون فسفات آب‌های زیرزمینی دشت قائمشهر - جویبار.....	۸۳
۶-۴- بررسی تغییرات مکانی یون فلوئور آب‌های زیرزمینی دشت قائمشهر - جویبار.....	۸۵
۷-۴- تعیین منشأ یون‌ها و شناخت فرایندهای موثر بر تکامل ژئوشیمیایی آبخوان قائمشهر - جویبار.....	۸۶
۱-۷-۴- بررسی منشأ یون‌های اصلی در آبخوان.....	۸۶
۲-۷-۴- تبادل یونی.....	۹۲
۳-۷-۴- تکامل ژئوشیمیایی.....	۹۳
۸-۴- بررسی کیفیت نمونه‌های آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جویبار از نظر کشاورزی.....	۹۵
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....	۹۷
۱-۵- مقدمه.....	۹۸
۲-۵- نتایج.....	۹۸
۳-۵- پیشنهادها.....	۱۰۱
منابع مورد استفاده.....	۱۰۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- آبخوان آزاد آبرفتی محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار..... ۵
- شکل ۱-۲- نقشه راه‌های دسترسی به آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار..... ۶
- شکل ۱-۳- نمودار آمبروترمیک (Embrotthermic) منطقه مورد مطالعه برای دوره ۴۵ سال (۱۳۵۰ الی ۱۳۹۵)..... ۹
- شکل ۱-۴- نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار..... ۱۷
- شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۱۸
- شکل ۱-۶- ژئومورفولوژی محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار..... ۱۹
- شکل ۱-۷- موقعیت چاه‌ها در دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۲۲
- شکل ۳-۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۴۸
- شکل ۳-۲- بازدید و نمونه‌برداری از چاه‌های بهره‌برداری دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۴۹
- شکل ۳-۳- اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود..... ۵۱
- شکل ۴-۱- موقعیت پیرومترها و نقشه هم‌پتانسیل آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر- جویبار در شهریور ۱۳۹۶..... ۵۷
- شکل ۴-۲- نقشه هم‌عمق آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار در شهریور ۱۳۹۶..... ۵۸
- شکل ۴-۳- موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۵۹
- شکل ۴-۴- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی (الف) و نقشه هم هدایت الکتریکی (ب) آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۶۲
- شکل ۴-۵- ارتباط بین یون‌ها و هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار..... ۶۴
- شکل ۴-۶- موقعیت نمونه‌های مربوط به گروه یک (G_1) و دو (G_2) در آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۶۵
- شکل ۴-۷- نقشه تغییرات میزان pH در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار..... ۶۷
- شکل ۴-۸- نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه یک)..... ۶۸

- شکل ۴-۹- نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه دو).....۷۲
- شکل ۴-۱۰- نمودار شولر و بررسی نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار(گروه یک).....۷۳
- شکل ۴-۱۱- نمودار شولر و بررسی نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار(گروه دو).....۷۴
- شکل ۴-۱۲- نمودار پایپر و موقعیت نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار(گروه یک).....۷۵
- شکل ۴-۱۳- نمودار پایپر و موقعیت نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه دو).....۷۶
- شکل ۴-۱۴- نقشه تغییرات یون کلسیم در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر- جویبار.....۷۸
- شکل ۴-۱۵- تغییرات مکانی یون بی‌کربنات در آبخوان قائم‌شهر - جویبار.....۷۹
- شکل ۴-۱۶- تغییرات مکانی یون‌های کلر، سدیم، پتاسیم، منیزیم و سولفات در آبخوان آبرفتی قائم-شهر - جویبار.....۸۰
- شکل ۴-۱۷- تغییرات غلظت یون نیتрат در آب‌های زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار.....۸۲
- شکل ۴-۱۸- نمودار تغییرات یون نیترات و مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)۸۳
- شکل ۴-۱۹- بررسی تغییرات مکانی یون فسفات آب زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار.....۸۴
- شکل ۴-۲۰- تغییرات مکانی غلظت یون فلوئور آب زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار.....۸۶
- شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات نسبت $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ بر حسب (mg/l) در برابر TDS.....۸۸
- شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات نسبت $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ بر حسب (mg/l) در برابر TDS.....۸۸
- شکل ۴-۲۳- رابطه غلظت سدیم و کلر در منابع آب زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار.....۸۹
- شکل ۴-۲۴- نمودار شاخص اشباع هالیت، ژپس و کلسیت در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار.....۹۰
- شکل ۴-۲۵- رابطه غلظت کلسیم و سولفات در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار.....۹۰
- شکل ۴-۲۶- رابطه غلظت کلسیم و بی‌کربنات در آبخوان قائم‌شهر - جویبار.....۹۱
- شکل ۴-۲۷- نمودار رابطه EC در برابر Na/Cl۹۲
- شکل ۴-۲۸- نمودار Ca^{2+} در مقابل $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ در منابع آب زیرزمینی قائم‌شهر - جویبار.....۹۳

شکل ۴-۲۹- نمودار ویلکوکس مربوط به نمونه‌های برداشت شده از آبخوان آبرفتی قائم‌شهر -
جویبار..... ۹۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- توزیع ماهانه باران، دما و تبخیر در یک دوره ۴۵ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۵) در محدوده مطالعاتی دشت قائم‌شهر - جویبار (آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۹۸)..... ۸
- جدول ۱-۲- رده‌بندی اقلیمی دمارتن..... ۸
- جدول ۱-۴- عمق و ارتفاع سطح ایستابی در شهریور ماه ۱۳۹۶ در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۶
- جدول ۴-۲- مقادیر پارامترهای کیفی در نمونه‌های برداشت شده از آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار..... ۶۰
- جدول ۴-۳- نسبت بین یون‌ها و هدایت الکتریکی در نمونه‌های گروه یک ($EC < 2000 \mu s/cm$) و نمونه‌های گروه دو ($EC > 2000 \mu s/cm$) در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار..... ۶۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

کیفیت آب زیرزمینی و مناسب بودن آن یکی از موضوعات مهم در مطالعات ژئوشیمیایی می‌باشد. داده‌های کیفی آب زیرزمینی راهنمای تاریخچه زمین‌شناسی می‌باشد. و نشان دهنده وضعیت تغذیه، تخلیه و ذخایر آن‌ها می‌باشد.

کیفیت آب زیرزمینی، منعکس کننده ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و محیط متخلخلی است که در تماس با آب بوده است. هنگامی که آب به آرامی از محیط زیرسطحی عبور می‌کند، ترکیب آن به آرامی تغییر می‌یابد که منعکس کننده افزایش درجه اشباع برخی یون‌ها یا محصولات نهایی حاصل از فعل و انفعالات سنگ و آب است. بسیاری از این واکنش‌ها، معرف محیط ژئوشیمیایی و پارامترهایی مانند pH و قدرت یونی هستند که به نوبه خود خصوصیات جذب محیط زیر سطحی و انواع فرایندهای میکروبی را تعیین می‌نمایند و می‌توانند بر قابلیت تحرک بسیاری از عناصر کمیاب تأثیر گذار باشند (Hounslow, 1995).

آب‌های زیرزمینی به دلیل کیفیت تقریباً مناسب و بهره‌برداری آسان مهمترین منبع تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت به شمار می‌آیند. خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی از طریق واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی در مناطقی که آب از آن‌ها عبور می‌کند مشخص می‌شود. آب زیرزمینی در طول جریان تمایل دارد در اثر فعل و انفعالات شیمیایی از طریق انحلال، ته‌نشست شیمیایی و تعادل یونی با محیط اطراف به تعادل شیمیایی برسد. سرعت حرکت کند آب زیرزمینی و زمان ماندگاری بالا در تشکیلات زمین‌شناسی منجر به ایجاد کیفیتی پایدار می‌گردد (Todd and Mays 2005). ترکیب شیمیایی آبخوان‌ها در اثر تبخیر، بارندگی، سازندهای زمین‌شناسی، فعالیت‌های انسانی شامل ساخت و ساز، کود و سموم کشاورزی، فاضلاب، رواناب، پوشش گیاهی و افزایش برداشت و پایین رفتن سطح آب تغییر می‌یابد. تبخیر و سازندهای زمین‌شناسی اغلب غلظت یون‌ها را افزایش و بارندگی غلظت یون‌ها را کاهش می‌دهد. کانی‌های تبخیری در مقایسه با دیگر کانی‌ها خاصیت انحلال پذیری بیشتری

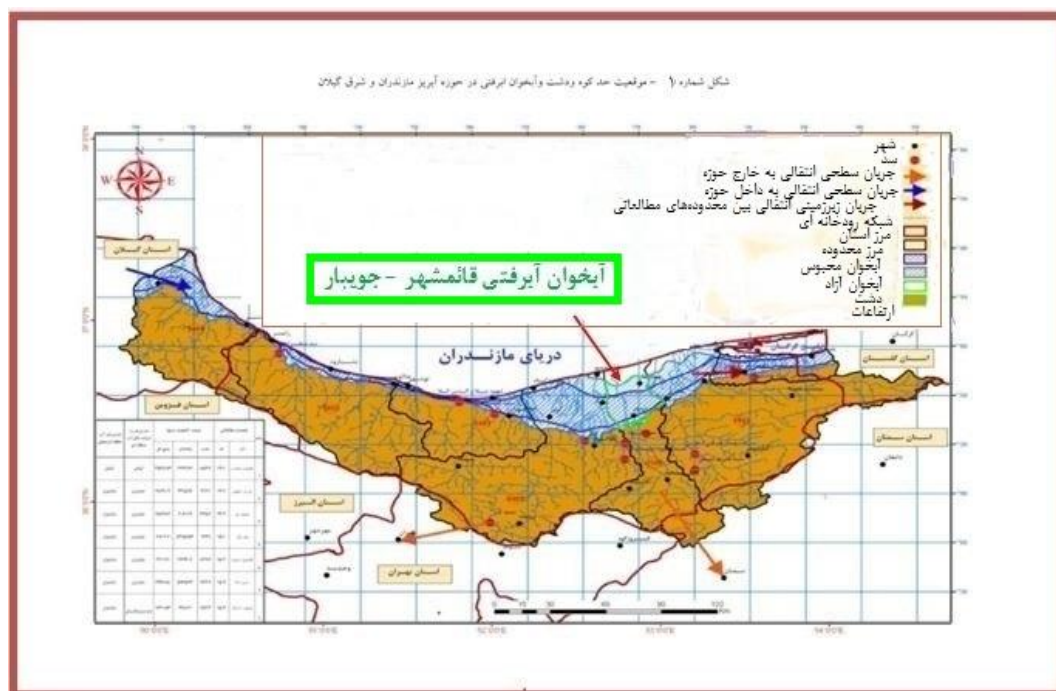
دارند، و وقتی در آب حل شوند، کیفیت آن را کاهش می دهند. شیمی آب زیرزمینی به نوع سنگ-هایی که در مسیر حرکت آب قرار دارند، بستگی دارد. اگر سرعت حرکت آب زیرزمینی بالا باشد، زمان تماس آن با محیط اطراف کم خواهد بود و عناصر کمتری را در خود حل می کند. یکی دیگر از فرایندهای اساسی در غلظت عناصر اصلی محلول در آب زیرزمینی، فرایند تبادل یونی است، طی این فرایند یون های موجود در آب جایگزین یون های متصل به سطح کانی های رسی شده و یون های چسبیده به سطح رس ها وارد آب می گردند (Hounslow, 1995). مجموعه این عوامل سبب تغییر در شیمی آب و یا اصطلاحاً تکامل شیمیایی آب های زیرزمینی می گردند. به صورت کلی حرکت آب زیرزمینی از بالادست به سمت پایین دست جریان در آبخوان های بزرگ موجب تغییر ترکیب شیمیایی آبخوان از بی کربنات به سولفات و در نهایت در انتهای آبخوان به کلروره می گردد.

به دلیل برداشت بیش از حد منابع آبی و کاهش بی سابقه میزان بارندگی در طی دو دهه گذشته ذخایر آب زیرزمینی دشت قائم شهر - جویبار رو به کاهش بوده و به خصوص در بخش شمالی جویبار تحت تأثیر آب های شور دریای خزر قرار گرفته است. بیشتر فعالیت های این منطقه کشاورزی و کشت برنج بوده و توسعه منطقه شهری و دفع نامناسب فاضلاب احتمالاً بر کیفیت آبخوان اثر گذاشته است. بنابراین مدیریت این منابع ارزشمند زیرزمینی بایستی مورد توجه قرار گیرد. افزایش اطلاعات در مورد تکامل شیمیایی این آبخوان مهم منجر به شناخت بیشتر شیمی و کیفیت آن شده و در مدیریت موثر منابع آب زیر زمینی سودمند می باشد. با عنایت به ضرورت انجام مطالعات در این آبخوان ارزشمند، هدف از انجام تحقیق حاضر، شناسایی منشأ آب زیر زمینی، تأثیرات لیتولوژی و سازندها و فعالیت های کشاورزی بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی و بررسی تکامل ژئوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار می باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی

حوضه آبریز مازندران و شرق گیلان به ۷ محدوده مطالعاتی تقسیم شده است که محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار یکی از آنها می‌باشد. محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار بین طول جغرافیایی ۳۵' ۵۲° تا ۲۳' ۵۳° شرقی و ۴۴' ۳۵° تا ۴۷' ۳۶° شمالی به وسعت $3348/1 \text{ Km}^2$ در خط ساحلی دریای مازندران واقع شده که ۸۳۷ کیلومترمربع آن دشت و مابقی ارتفاعات می‌باشد. بالاترین نقطه ارتفاعی آن ۳۹۲۹ متر و پایین‌ترین نقطه ارتفاعی آن ۲۶- متر از سطح دریای آزاد در خروجی حوزه قرار دارد. کرانه جنوبی دریای خزر، مرز شمالی و دامنه شمالی رشته‌کوه‌های البرز مرکزی، مرز جنوبی محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار را تشکیل می‌دهند. همچنین از سمت شرق به محدوده مطالعاتی دشت ساری - نکا و از غرب به محدوده مطالعاتی دشت بابل - آمل محدود می‌گردد. در شمال دشت جویبار نواحی ساحلی با گستره‌ای به مساحت ۳۰۷ کیلومتر مربع فاقد آب شیرین جهت بهره‌برداری مشاهده می‌شود.

محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار در برگیرنده آبخوان آزاد آبرفتی با مساحت حدود 574 Km^2 بوده که یکی از بزرگترین آبخوانهای استان مازندران می‌باشد. این آبخوان آبرفتی ۷۰ درصد پهنه دشت را به خود اختصاص داده و از پتانسیل بالای آب زیرزمینی برخوردار می‌باشد. محدوده آبخوان آزاد آبرفتی قائم‌شهر - جویبار در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- آبخوان آزاد آبرفتی محدوده مطالعاتی قائمشهر - جویبار

راه‌های آسفalte قائمشهر به ساری، جویبار، بابل، سوادکوه و جویبار به ساری، بابلسر، کیاکلا و قائمشهر مهمترین جاده‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه هستند (شکل ۱-۲). فعالیت عمده مردم منطقه کشاورزی، بوده و کشت غالب مرکبات و برنج می‌باشد.



شکل ۱-۲- نقشه راه‌های دسترسی به آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

وضعیت آب و هوایی از عوامل مهم و موثر در کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی هر منطقه‌ای می‌باشد. بارندگی منشأ اصلی آب‌های ورودی به محدوده مطالعاتی و تبخیر مهمترین عامل آب‌های خروجی از محدوده می‌باشد. رژیم درجه حرارت و تغییرات بارندگی در حوزه و ارتفاعات با توجه به ساختار زمین‌شناسی و پوشش گیاهی منطقه از عوامل موثر در رژیم جریان سطحی در ارتفاعات، دشت و در نتیجه تغذیه آبخوان می‌باشد. به منظور بررسی اقلیم منطقه از آمار ۴۵ ساله (۱۳۵۰ الی ۱۳۹۵) بارش در ایستگاه باران‌سنجی لاریم و ایستگاه تبخیرسنجی گل افشان و آمار دما در ایستگاه قراخیل استفاده شده است. میانگین ارتفاع بارش سالانه در ارتفاعات ۵۱۷ میلی‌متر و برای دشت ۷۱۳

میلی متر بیان شده است. میزان دمای سالانه ارتفاعات و دشت به ترتیب ۱۱/۱ و ۱۵/۹ درجه سانتی -
 گراد بیان شده است. میزان تبخیر سالانه ارتفاعات و دشت به ترتیب ۱۰۶۹/۴۶ و ۱۰۶۰/۳۴ میلی متر
 می باشد (جدول ۱-۱).

در این دوره آماری بیشترین مقدار بارندگی در آبان ماه و کمترین مقدار آن در تیر ماه مشاهده شده
 است. همچنین بیشترین دما در مرداد و کمترین دما در دی ماه رخ داده است. دریای خزر از سوی
 شمال و ارتفاعات البرز از سوی جنوب اقلیم منطقه را تحت تأثیر قرار داده، به طوری که هر چه از
 دریا به سمت ارتفاعات (۱۰۰-۳۰۰ متر) پیش رویم میزان بارندگی افزایش یافته و سپس در ارتفاع
 بیشتر از ۳۰۰ متر، کاهش مقدار بارندگی را خواهیم داشت. جهت تعیین اقلیم منطقه قائم شهر -
 جویبار از سیستم اقلیمی ضریب دمارتن و نمودار امبروترمیک (Embrothermic) استفاده شده است.
 جهت تعیین اقلیم، دمارتن (De Martonne) با توجه به میانگین دما و بارش سالانه معادله زیر را
 پیشنهاد می کند:

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

P متوسط بارندگی سالانه (میلی متر)، T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی گراد) و I ضریب خشکی
 که مقدار آن اقلیم منطقه را مشخص می کند. بر اساس فرمول دمارتن شش نوع آب و هوا با توجه به
 جدول ۱-۲ طبقه بندی شده است. میزان I محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه ۲۷/۵ می باشد که
 نشان دهنده اقلیم نیمه مرطوب در محدوده مطالعاتی قائم شهر - جویبار می باشد.

نمودار امبروترمیک (شکل ۱-۳) نشان دهنده دوره های تر و خشک در یک سال می باشد. بر اساس
 نمودار امبروترمیک دوره خشک از اواخر اردیبهشت شروع و تا اوایل شهریور ادامه یافته و بقیه ماه های
 سال جز دوره تر می باشد.

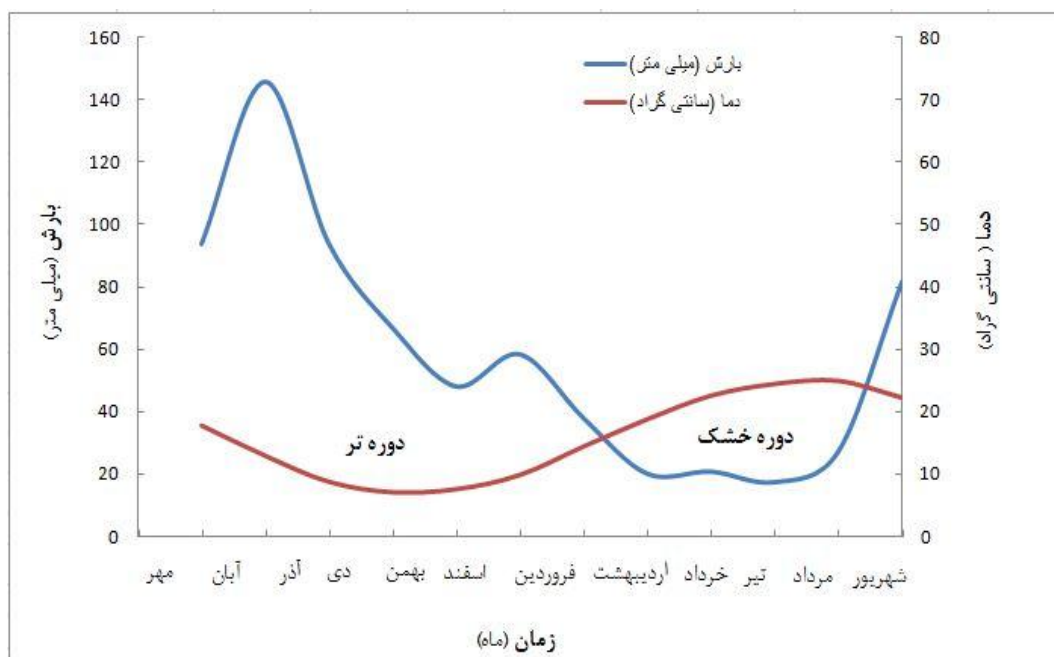
جدول ۱-۱- توزیع ماهانه باران، دما و تبخیر در یک دوره ۴۵ ساله (۱۳۵۰-۱۳۹۵) در محدوده مطالعاتی دشت قائم-

شهر - جویبار (آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۹۸)

زمان (ماه)	توزیع ماهانه باران (mm)	توزیع ماهانه دما (°C)	توزیع ماهانه تبخیر (mm)
مهر	۹۳/۹	۱۷/۸	۸۳/۹۳
آبان	۱۴۵/۹	۱۲/۹	۵۲/۸۰
آذر	۹۴	۸/۷	۳۸/۱۹
دی	۶۷	۷	۳۵/۰۵
بهمن	۴۸/۲	۷/۵	۳۴/۰۲
اسفند	۵۸/۵	۹/۸	۴۹/۵۷
فروردین	۳۸	۱۴/۴	۷۵/۷۱
اردیبهشت	۲۰/۲	۱۸/۸	۹۶/۳۱
خرداد	۲۰/۹	۲۲/۶	۱۵۰/۸۳
تیر	۱۷/۵	۲۴/۵	۱۵۸/۶۱
مرداد	۲۷/۳	۲۵	۱۵۹/۴۲
شهریور	۸۱/۸	۲۲/۳	۱۲۵/۹۱
سالانه	۷۱۳/۱	۱۵/۹۴	۱۰۶۰/۳۴

جدول ۲-۱- رده‌بندی اقلیمی دمارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه‌خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
تیمم‌مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵



شکل ۱-۳- نمودار آمبروترمیک (Embrothermic) منطقه مورد مطالعه برای دوره ۴۵ سال (۱۳۵۰ الی ۱۳۹۵)

۴-۱- زمین‌شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه قائم‌شهر - جویبار در زون البرز شمالی و مرکزی قرار دارد که نیمی از محدوده در زون چین خورده البرز واقع شده است. از ابتدا تا زمان ترشیری (Triassic) ضخامت بخش‌های شمالی نسبت به بخش جنوبی البرز عمیق‌تر سپس کم عمق‌تر شده است. دارای چین‌های ملایم با روند شمال غربی - جنوب شرقی و شمال شرقی - جنوب شرقی که در البرز مرکزی به هم می‌رسند. یافته‌های دیرینه‌شناسی گویای آن است که کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون شده البرز سازند کهر می- باشد.

۱-۴-۱- چینه‌شناسی منطقه

نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار در شکل ۱-۴ و نقشه زمین‌شناسی آبخوان آبرفتی در شکل ۱-۵ نشان داده شده است. تشکیلات زمین‌شناسی این منطقه مربوط به پرکامبرین، پالئوزوئیک، مزوزوئیک، سنوزوئیک و کواترنری می‌باشد. کل محدوده آبخوان آبرفتی توسط رسوبات کواترنری پوشانده شده است. بخش عمده رسوبات محدوده شامل آهک، ماسه و رس بوده که به‌عنوان مهمترین واحدهای تغذیه کننده آبخوان محسوب می‌شوند. سازندهای رخنمون‌یافته دوران اول تا چهارم در محدوده مورد مطالعه در ادامه شرح داده شده است.

پرکامبرین

۱- سازند کهر (PEK)

کهر قدیمی ترین سازند زمین‌شناسی در پرکامبرین شامل شیل، اسلیت، دیاباز و کمی دولومیت که در ارتفاعات سمنان و فیروزکوه که جز محدوده مطالعاتی می‌باشند، مشاهده شده و در زیر سازند سلطانیه قرار گرفته است. از نظر نفوذ پذیری آب ضعیف می‌باشد.

پالئوزوئیک

۲- سازند باروت (C-bt)

زمان سازند باروت کامبرین پائینی و لیتولوژی غالب آن شیل (شیل‌های میکادار) و دولومیت با میان لایه‌های کربناته که در بخش‌های بالایی کمتر و با تغییرات ضخامت لایه مشخص به همراه فسیل مشاهده شده و بر روی سازند سلطانیه قرار گرفته است.

۳- سازند زایگون (C-Z)

سن این سازند کامبرین پائینی و لیتولوژی غالب شیل به همراه ماسه‌سنگ‌های لالون و با تغییرات ضخامت زیاد همراه می‌باشد. واحدهای بخش بالایی این سازند بیانگر محیط رودخانه‌ای ماندری و دارای چینه‌بندی متقاطع می‌باشد.

۴- سازند لالون (Cl)

سن این سازند کامبرین پائینی بوده که بر روی سازند زایگون قرار گرفته و لیتولوژی آن شامل ماسه-سنگ، ماسه‌سنگ آركوزی با طبقه‌بندی مورب می‌باشد.

۵- سازند جیرود (D-C)

این سازند در دوره دوونین بالایی و کربونیفر زیرین معرفی شده، لیتولوژی آن سنگ آهک، سنگ آهک مارنی و شیل فسیل‌دار که مستقیماً بر روی کامبرین بالایی واقع شده است.

۶- سازند مبارک (Cm)

سازند مبارک در زمان کربونیفر زیرین نهشته شده و لیتولوژی آن شامل سنگ آهک که در لایه‌های بالایی شیل سیاه می‌باشد. سازند مبارک دارای پتانسیل هیدروکربنی که بخش زیرین آن غنی از مواد آلی و بخش بالایی آن می‌تواند سنگ مخزن خوبی باشد.

۷- سازند روته (Pr)

در اوایل پرمین دریا شروع به گسترش می‌کند که زمان ته‌نشینی رسوبات در تمام ایران یکسان نبوده و وجود رسوبات دولومیتی و تبخیری از نشانه‌های پیشروی و پسروی دریا در پرمین در ایران است. سن سازند روته، پرمین بوده که در زمان رسوب‌گذاری دریا بیشترین گسترش را داشته است و لیتولوژی آن سنگ آهک فوزولین‌دار و سنگ آهک دولومیتی می‌باشد. سازند روته به عنوان دومین

چرخه رسوبگذاری در البرز شناخته شده و از آهک آن برای سیمان سازی استفاده می شود. این سازند در ارتفاعات جنوبی محدوده مشاهده شده است. از نظر انحلال و نفوذ پذیری آب خوب می باشد.

مزوزوئیک

۸- سازند الیکا (TRe)

مهمترین تحولات زمین شناسی ایران در دوران دوم اتفاق افتاده است. لیتولوژی سازند الیکا سنگ آهک و دولومیت بوده که با محدوده سنی تریاس زیرین تا میانی در ارتفاعات محدوده مشاهده می شود. رخساره تریاس ایران، دریایی یا آهکی بوده و در تریاس بالایی پسروری دریا و خشکی زایی حاصل شده است.

۹- سازند شمشک (Js)

چرخه رسوبی گروه شمشک در البرز، مردابی - رودخانه ای در زمان ژوراسیک پایینی بین رخدادهای سیمیرین پیشین و میانی می باشد. تناوب شیل و ماسه سنگ زغال دار لیتولوژی این سازند بوده که در ارتفاعات محدوده مورد مطالعه دیده می شود.

۱۰- سازند دلیچای (Jd)

چرخه رسوبی سازند دلیچای، ردیف های دریایی شامل مارن و آهک می باشد. لیتولوژی این سازند سنگ آهک مارنی آمونیت دار بوده و در زمان ژوراسیک کامل ترین رسوبات ژوراسیک البرز را داراست، این سازند در ارتفاعات محدوده قائم شهر - جویبار رخنمون دارد. با شروع رسوب گذاری محیط رسوبی از قاره ای - مردابی به دریایی تبدیل و اولین واحد از نهشته های دریایی البرز در ژوراسیک در این سازند تشکیل شده است.

۱۱- سازند لار (Jl)

چرخه رسوبی سازند لار ردیف‌های دریایی شامل مارن و آهک می‌باشد. این سازند متعلق به ژوراسیک با لیتولوژی سنگ آهک و دولومیت بوده که در ارتفاعات محدوده مورد مطالعه رخنمون دارد.

۱۲- سازند تیزکوه (Klt)

با کوهزایی سیمیرین پسین در اوایل کرتاسه منطقه وسیعی از آب خارج و باعث گسترش شرایط قاره-ای شده است اما در شمال البرز شرایط دریایی برقرار بوده و نهشته‌های آهکی دریایی سازند تیزکوه رسوب می‌کنند و این کوهزایی تأثیری بر آن نداشته است. سن سازند تیزکوه کرتاسه پایینی و لیتولوژی آن سنگ آهک اوربیتولین‌دار بوده که در ارتفاعات منطقه مشاهده شده است.

سنوزوئیک

دوران سوم زمین‌شناسی در ایران به سه سیستم پالئوژن، نئوژن و کواترنری تقسیم می‌شود.

۱۳- سازند فجن (PEcf)

در البرز، رخساره‌های خشکی کنگلومرا همراه با گدازه‌های آتشفشانی متعلق به پالئوسن رسوبات قدیمی‌تر را می‌پوشاند. سن سازند فجن مربوط به پالئوسن تا ائوسن زیرین با لیتولوژی کنگلومرا و سنگ آهک ماسه‌ای بوده که در ارتفاعات البرز مشاهده می‌شود.

۱۴- سازند زیارت (EZ)

لیتولوژی سازند زیارت سنگ آهک نومولیت‌دار و آهک مارنی در محدوده زمانی پالئوسن - ائوسن می-باشد. سنگ‌های سازند زیارت با داشتن نومولیت شاخص است و بر روی سازند فجن و زیر سازند کرج قرار گرفته و به طور تدریجی با این سازندها ارتباط دارد.

۱۵- سازند کرج (EK)

لیتولوژی توف، شیل، سنگ آهک و داسیت در زمان ائوسن میانی در ارتفاعات منطقه رخنمون دارد. بخش مهم این سازند توف‌هایی هستند که به آن‌ها توف سبز البرز می‌گویند.

۱۶- سازند کند (Em) Kond

شیل، مارن و سنگ آهک حاوی فسیل در زمان ائوسن می‌باشد.

۱۷- کنگلومرا (Ngc)

کنگلومرای دانه درشت با لایه‌های سیلت و مارن و متعلق به زمان میوسن می‌باشد.

۱۸- (Mmsl)

لیتولوژی آن شامل مارن، ماسه‌سنگ آهکی، سنگ‌آهک ماسه‌ای و کنگلومرا بوده که در زمان میوسن تشکیل شده است.

۱۹- (Plcm)

کنگلومرا، مارن و مارن سیلتی مربوط به زمان پلیوسن بوده که در محدوده قائم‌شهر و سواد کوه برون-زد دارد.

سازندهای آبرفتی منطقه مورد مطالعه

۲۰- سازند کواترنری کاسپین (Q^c)

کل محدوده آبخوان آزاد آبرفتی قائم‌شهر - جویبار از سازند کاسپین تشکیل شده است. نواحی زراعتی شامل مخروط افکنه و پادگان‌های سیلابی، رودخانه‌های قدیمی و جوان، نهشته‌های خط ساحلی قدیمی‌تر و دشت‌های طغیان آبرفتی می‌باشد. به جز نوار شمالی آبخوان آبرفتی آزاد، بقیه آبخوان جزء

کاسپین قدیم می‌باشد. سازند کاسپین قدیم نوع رسوبات آن مارن (ماسه دانه ریز در رودخانه‌ها) می‌باشد. قسمت شمالی آبخوان آزاد و شهر جویبار سازند آن کاسپین جدید می‌باشد. نوع رسوبات آن رس، ماسه و آهک می‌باشد (شکل ۱-۵).

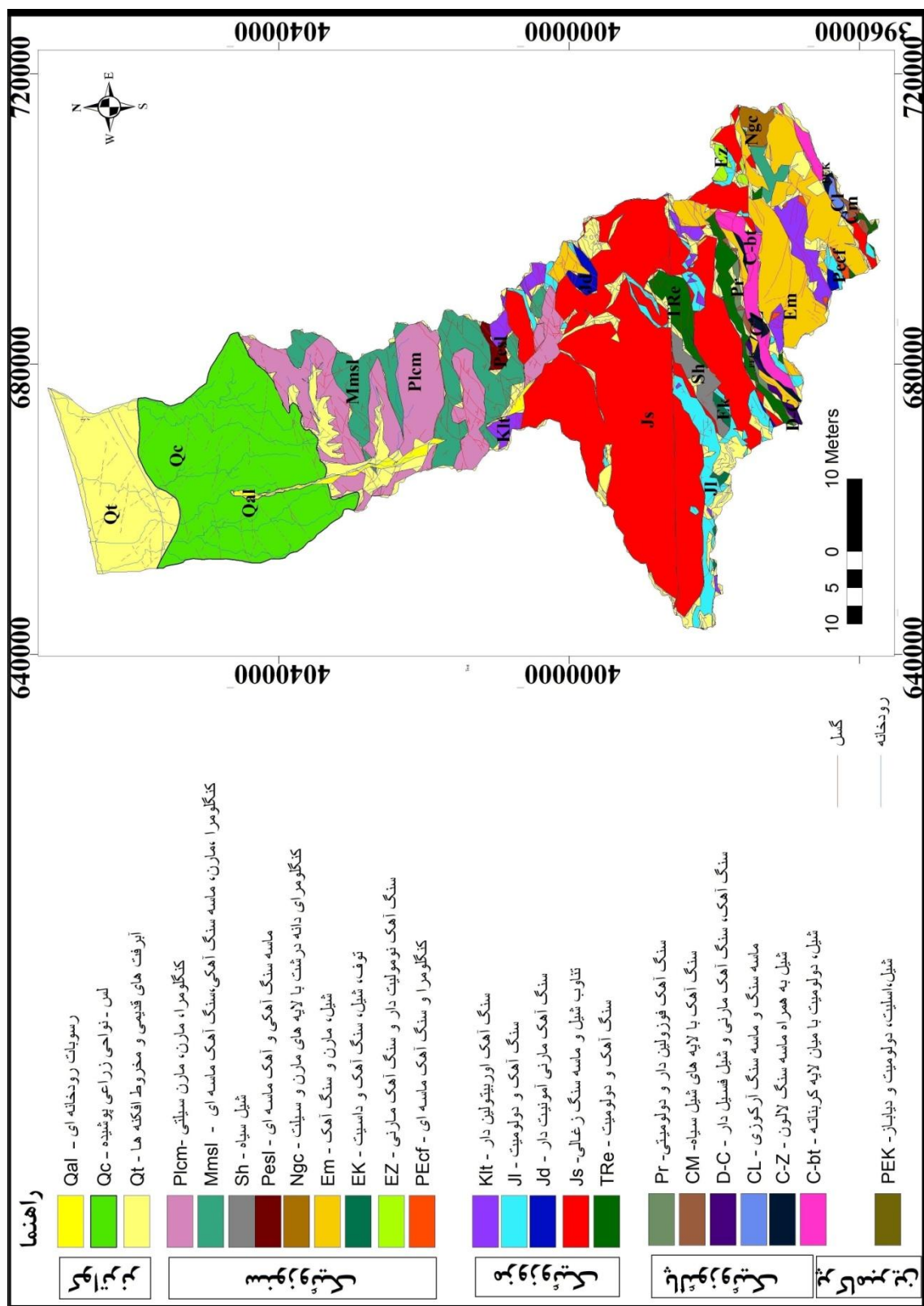
۲۱- رسوبات رودخانه‌ای (کواترنری) (Q^{al})

این نوع رسوبات آبرفت‌های سخت نشده عهد حاضر در بستر رودخانه‌های منطقه شامل گراول، ماسه، سیلت و رس می‌باشد.

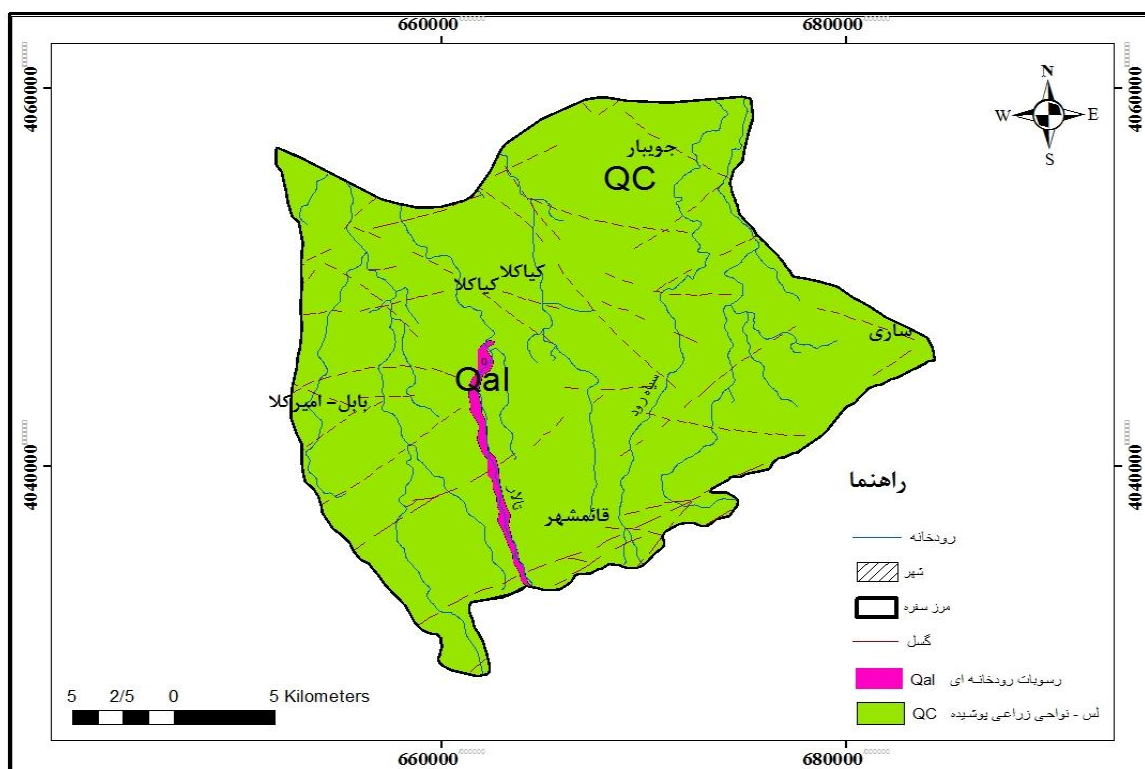
۱-۴-۲- زمین‌شناسی ساختاری منطقه

ساختارهای تکنونیک مهمی چون گسل خوردگی، چین‌خوردگی و درز و شکاف را می‌توانیم در رشته کوه‌های البرز مشاهده کنیم. گسل البرز (گسل مازندران) یکی از گسل‌های اصلی و مهم ایران در مرز البرز شمالی با دشت کاسپین قرار دارد و در زمان سیلورین (دوران پالئوزوئیک) تشکیل شده است. نبود رسوبات ائوسن در شمال، تفاوت رخساره‌های دریایی میوسن، فرونشینی کف حوضه دریای خزر و جداکننده البرز از حاشیه جنوبی، همه رخدادها به دلیل گسل البرز می‌باشد. گسل البرز از جنوب گنبد کاووس تا لاهیجان به طول ۵۵۰ کیلومتر در امتداد و به موازات ساحل مازندران کشیده شده است. گسل دارای حرکت چپ‌گرد و جداکننده زون گرگان - رشت از بقیه البرز است. در حال حاضر گسل البرز به شدت فعال است زیرا بسیاری از زمین‌لرزه‌های مازندران، در نتیجه جا به جایی و فعالیت این گسل است. گسل مازندران جداکننده تپه و ماهورها و برجستگی‌های جنوبی، متشکل از کنگلومراها و مارن‌های میوسن - کواترنری از دشت شمالی است. به سوی جنوب سامانه‌های گسل‌های پرشمار و کم و بیش موازی گسل البرز اغلب با جهت شیب متفاوت و نیز اختلاف جنس و مقاومت سنگ‌های تشکیل دهنده هر قطعه (بلوک)، ریخت‌شناسی فعلی منطقه را تشکیل داده است. در برخی نقاط الگو کوه و دره در چند نوبت تکرار شده است. بدین سان، ریخت‌شناسی آشکارا، از روند ساخت‌های چین‌ها

و گسل‌هایی با راستای تقریباً شرقی - غربی پیروی می‌نماید. نکته قابل توجه وجود رودخانه‌ها با مسیر تقریبی عمود بر راستای ساختمان‌هاست که به سوی شمال و شمال غربی جریان دارند. در جنوب گسل بزرگ شمال البرز، سازند زغال‌دار شمشک و نهشته‌های به نسبت نرم گستره وسیعی را تشکیل داده است و از زمان‌های دور سوادکوه نامیده شده است. همچنین گسل منگل (نام منگل از روستا منگل که در مسیر قائم‌شهر به شیرگاه وجود دارد، گرفته شد) را می‌توانیم مشاهده کنیم. گسل منگل باعث افزایش ضخامت سازند الیکا و تکرار سازندها گردیده است. همچنین گسل‌های فرعی و احتمالی زیادی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. چین‌های موجود در البرز غالباً دارای محوری با روند شرقی - غربی و به موازات امتداد سطوح گسل‌های منطقه واقع شده است.



شکل ۴-۱ - نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی قائم شهر - چوببار



شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جوبار

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جوبار از شمال توسط ساحل دریای خزر و در قسمت جنوبی توسط ارتفاعات البرز مرکزی احاطه شده است، رود تالار از دامنه شمالی البرز به سمت دشت جریان دارد و رودخانه‌های دیگری مثل سیاهرود تنها در دشت جریان دارد، و همه این رودها به دریا خزر منتهی می‌شود. فرسایش آبی در حال تخریب لایه‌های زمین‌شناسی بوده و جنس لایه‌ها در شکل‌گیری پدیده‌های ژئومورفولوژی موجود نقش اساسی دارند. بالاترین نقطه ارتفاعی این محدوده ۳۹۲۹ متر و پایین‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۶- متر از سطح آزاد دریا در خروجی حوضه قرار دارد.

شکل ناهمواری‌های استان مازندران به دو گونه جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود. امتداد و جهت رشته‌کوه‌های البرز به صورت دیواری مرتفع در مسافتی طولانی، خط ساحلی و جلگه‌ای کنار دریای

مازندران را محصور کرده است. به گونه‌ای که شیب زمین از ارتفاعات به سمت دشت و دریا کاهش می‌یابد. در محل تلاقی کوهپایه شمالی البرز و دشت به علت فرسایش و تراکم آبرفت، قسمتی از ناهمواری‌های قدیمی به وسیله رسوبات جدیدتر پوشیده شده است. رشته کوه‌های البرز که بر اثر کوه‌زایی آلپی دوره ترشیاری تشکیل شده است، جلگه ساحلی استان مازندران را از قسمت داخلی ایران جدا نموده است. در دوره کواترنری سطح آب دریای مازندران ده‌ها متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد بوده و تا کوهپایه البرز گسترش داشته است. پس از آن به علت عقب‌نشینی دریای خزر، فرسایش شدید آبی و تراکم آبرفت رودها اراضی وسیع و همواری در ساحل دریای خزر بوجود آورده است. عواملی از قبیل میزان آب رودها، وسعت حوزه رودها، شیب بستر رودها، مقاومت سنگ‌ها و عمق دریا در پیدایش و گسترش دشت موثر بوده است.



شکل ۱-۶- ژئومورفولوژی محدوده مطالعاتی قائم شهر - جویبار

۱-۶- هیدرولوژی منطقه

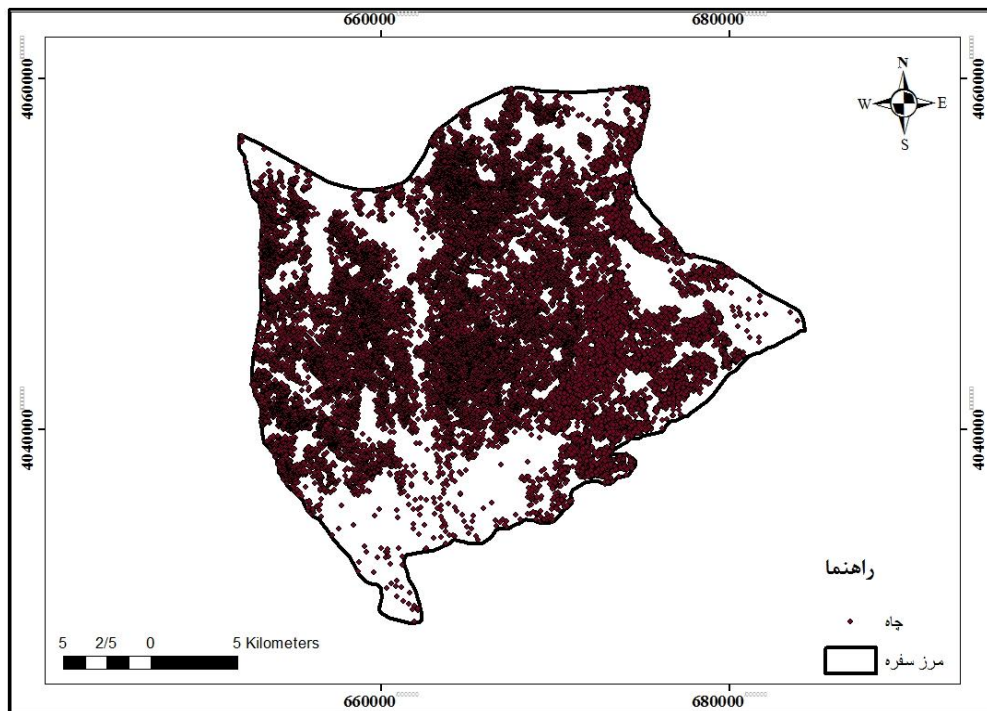
محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار شامل حوضه آبریز رودخانه‌های تالار، سیاه‌رود و تعداد مسیل مانند سیاررود و چپک‌رود می‌باشد. یکی از کانون‌های اصلی و دائمی تغذیه آبخوان، رودخانه تالار و سیاه‌رود می‌باشد. رواناب‌های حاصل از بارش و چشمه‌ها آب رودخانه‌ها را تأمین می‌کنند. همچنین این رودخانه‌ها در مسیر جریان از ارتفاعات به سمت دشت و دریا، آب برای مصارف کشاورزی را تا حدودی تأمین می‌کنند، سد البرز (سد لفور) در مسیر رودخانه تالار، در روستای لفور، شهر شیرگاه ایجاد شده که آب را برای مصارف شرب و کشاورزی ذخیره می‌نماید. رودخانه تالار بعد از عبور از منطقه سوادکوه، وارد قسمت غربی شهر قائم‌شهر شده و پس از عبور از منطقه کیاکلا در قسمت غربی عرب‌خیل، روستای می‌رود به‌نمیر به دریا می‌پیوندد. رودخانه سیاه‌رود از جمله رودهای فرعی منتهی به رودخانه سفیدرود بوده که از رشته‌کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرد و بعد از عبور از قسمت شرقی قائم‌شهر و جویبار در لاریم به دریا منتهی می‌شود. مواد رسوبی در آب رودخانه در طول مسیر انحلال می‌یابند و زمانی که سرعت رودخانه در دشت کاهش یافته، با نفوذ آب به لایه زیرین، آبخوان را تغذیه می‌کند. در نتیجه در کیفیت و کمیت آبخوان اثر می‌گذارد. دشت قائم‌شهر - جویبار با رسوب‌گذاری رودخانه‌های اصلی مانند تالار در غرب و سیاه‌رود در شرق ایجاد گردیده است. چون این رودخانه‌ها از بلندی‌های کوه‌های البرز با شیب تند سرچشمه می‌گیرند و دارای سیلاب‌های کم و بیش بزرگی هستند مقدار مواد رسوبی انتقالی توسط این رودخانه‌ها زیاد بوده و دشت کم و بیش مستطیلی شکلی بوجود آورده‌اند. درازای این دشت در راستای شمالی - جنوبی و حدود ۳۰ کیلومتر و پهنای آن حدود ۲۵ کیلومتر می‌باشد.

۱-۷- هیدروژئولوژی منطقه

دشت قائم‌شهر - جویبار دارای آبخوان تحت فشار با وسعت ۳۷۶ کیلومترمربع، که توسط آبخوان آزاد احاطه شده است. سفره محبوس در اراضی میان دشتی گستره قابل توجهی از دشت را فرا گرفته است و تنها در اراضی پایاب دشتی در شمال و جنوب دشت این سفره گسترش ندارد. با توجه به عدم حفر چاه‌های بهره‌برداری به تفکیک لایه‌های آبدار موجود در دشت، کلیه لایه‌های آبدار با هم ارتباط هیدرولیکی داشته و لایه‌های مذکور به‌صورت یک سیستم هیدروژئولوژی مرکب عمل می‌نمایند.

شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در دشت کامل می‌باشد، ولی شبکه چاه‌های پیژومتری ناقص بوده و با توجه به عدم انجام عملیات آماربرداری به تفکیک سفره آزاد و لایه‌های محبوس امکان تهیه بیلان آب زیرزمینی به تفکیک لایه‌های آبدار در این دشت وجود ندارد. در محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار گستره آبخوان آبرفتی متأثر از جبهه قوی آب شیرین رودخانه‌های تالار و سیاه‌رود تا بخش‌های شمالی کشیده شده است. با این وجود ناحیه وسیعی از پهنه شمالی دشت فاقد آبخوان آبرفتی قابل بهره‌برداری (حاوی آب شیرین) می‌باشد. زیرا رودخانه تالار پیش از ورود به دشت از دره کم و بیش طولانی زیرآب و با شیب کم گذشته و آبرفت‌های دانه درشت همراه آن در این دره ته‌نشین شده است و آبرفت‌های دانه ریزتر به دشت انتقال و توان فرسایشی رودخانه و سایر مسیل‌ها و رودخانه‌های دشت کافی نبوده تا بتوانند ته‌نشست‌های دریایی نوار ساحلی را فرسایش دهند و آب رودخانه به لایه‌های زیرین نفوذ یابد. مواد دانه درشت مثل گراول و ماسه درشت آبدهی ویژه بالایی دارند و در منطقه ساحلی مشاهده نشده، به همین دلیل آبخوان اصلی این دشت تا نوار ساحلی گسترش پیدا نمی‌کند. از آنجایی که این منطقه در گذشته دریا بوده و سپس با پسروی دریا، ترتیب رسوبگذاری از ذرات دانه-درشت به دانه‌ریز در قسمت سطحی بوده، آبرفت در ناحیه جنوبی دشت در بخش‌های سطحی ریزدانه بوده و با افزایش عمق درشت دانه می‌شود.

بر اساس آمار آب منطقه‌ای مازندران تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی در محدوده قائم‌شهر - جویبار به منظور تأمین آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب بدین‌گونه می‌باشد، در آبخوان آبرفتی تعداد ۲۶۶۷۹ حلقه چاه (شکل ۱-۳)، ۲۵ دهنه چشمه و ۳ رشته قنات با مجموع برداشت و تخلیه سالانه ۲۱۰/۶۳ میلیون متر مکعب شناسایی شده است، که میزان جریان ورودی برابر ۴۲/۴۹ میلیون متر مکعب در سال و جریان خروجی آب زیرزمینی برابر ۲ میلیون متر مکعب در سال بیان شده است، (آب زیرزمینی وارد سفره حاوی آب شور واقع در شمال دشت می‌گردد).



شکل ۱-۷- موقعیت چاه‌ها در دشت قائم‌شهر - جویبار

فصل دوم

تئوری تحقیق و مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

یکی از موضوعات مهم و بسیار پیچیده در مطالعات زمین‌شناسی، کیفیت و مناسب بودن آب زیرزمینی می‌باشد زیرا عمده فعالیت‌های آب‌شناسی در جهت تأمین آب برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت است (Subramani & Partner, 2005).

داده‌های کیفی آب‌های زیرزمینی راهنمای بسیار خوبی در مورد تاریخچه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی است و نشان دهنده وضعیت تغذیه، تخلیه و ذخایر آنها می‌باشند؛ در نتیجه، کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده در شرب و آبیاری وابستگی زیادی به مسیر جریان آب، نوع و میزان نمک‌های محلول دارد. منشأ این مواد از انحلال یا هوازدگی سنگ‌ها و خاک است که می‌تواند از محلول شدن ته‌نشین‌هایی مانند کربنات‌ها، سولفات‌ها، کلرایدها و دیگر کانی‌های موجود به وجود آیند Domniko (Goler & Partner, 2004 , & Partner, 1990).

کیفیت آب‌های زیرزمینی به عوامل مختلفی بستگی دارد. به‌طور کلی کیفیت آب‌های زیرزمینی توسط عوامل طبیعی و انسانی کنترل می‌شود. عوامل طبیعی شامل سرعت جریان آب زیرزمینی، واکنش بین آب با سنگ و کیفیت آب تغذیه‌ای و همچنین عوامل انسان زاد شامل کشاورزی، صنعت و شهرسازی می‌باشد (Chan, 2001). مقدار کل نمک‌های محلول از انحلال سنگ‌ها می‌باشد، به همین دلیل با حرکت از منطقه تغذیه به سمت منطقه تخلیه میزان نمک‌های محلول نیز افزایش می‌یابد. استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی علاوه بر کمیت بر کیفیت آن نیز اثرات نامطلوبی دارد (Todd & Mays, 2005). به منظور شناسایی اثرات عوامل انسان زاد بر کیفیت آب زیرزمینی تعیین کیفیت پایه آب زیرزمینی ضروری می‌باشد.

۲-۲- تکامل ژئوشیمیایی

فرایند تکامل هیدروشیمی آب زیرزمینی از زمان تغذیه به محیط آبخوان تا خروج آن در نواحی تخلیه بسیار پیچیده می‌باشد و در طی این مسیر واکنش‌های مختلفی مانند انحلال و رسوب‌گذاری فازهای مختلف، اختلاط آب‌هایی با کیفیت‌های مختلف، تبادل کاتیونی، تبخیر و غیره بر روی آن‌ها اثر می‌گذارند (برزگر و همکاران، ۱۳۹۴).

حرکت آب زیرزمینی در جهت شیب آبخوان و تماس آن با رسوبات مارنی سبب آزاد شدن سدیم و خروج کلسیم و منیزیم از آب می‌شود. افزایش تدریجی رسوبات هالیتی در مسیر جریان آب در روند تکاملی آنیون‌های آبخوان از بی‌کربناته به سولفات و سپس کلروره مشهود است. بر این اساس ورود سدیم به آب زیرزمینی در اثر انحلال نهشته‌های هالیتی و تماس آن با رسوبات مارنی آبرفت سبب جذب سدیم و ورود کلسیم به آب زیرزمینی و تشکیل رخساره کلرید کلسیم و فوق اشباع شدن آب زیرزمینی نسبت به کلسیت می‌شود (Langmuir, 1997) و در نتیجه رسوب آن رخساره هیدروشیمیایی سولفات سدیم تشکیل می‌شود (عزیزی، اصغری مقدم و ناظمی، ۱۳۹۶).

در بررسی کیفیت منابع آب زیر زمینی دشت عباس استان خوزستان، کیفیت آب زیر زمینی در بخش وسیعی از دشت نامطلوب است. آنیون و کاتیون غالب به ترتیب سولفات، سدیم و کلسیم می‌باشد. نمونه‌های آب زیرزمینی دشت عباس نشان دهنده تکامل رخساره هیدروژئوشیمیایی، سولفات - کلسیک - منیزیک، کلروره سدیک - کلسیک و کلروره - سدیک می‌باشد. علی رغم آن‌که در مسیر تکاملی نسبت غلظت یون کلراید افزایش می‌یابد، ولی نسبت غلظت یون سولفات تقریباً حالت کاهشی دارد. کاهش نسبت غلظت سولفات به معنای کاهش غلظت مطلق سولفات در مسیر تکاملی نمی‌باشد، بلکه این امر نشانگر آن است که نرخ افزایش غلظت یون کلراید بیش از نرخ افزایش یون سولفات می‌باشد. با بررسی نمایه اشباع ژئوپس نمونه‌های آب زیرزمینی دشت عباس مشخص گردید که در مسیر

تکامل هیدروژئوشیمیایی آبخوان، آب زیرزمینی نسبت به ژئوپس به حالت اشباع رسیده است (کلانتری و علیجانی، ۱۳۸۷)

در بررسی تکامل ژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی در EL Eulma Aquifer, East Algeria نمونه‌ها به سه دسته تقسیم شد. دسته اول با میانگین شوری کم و با افزایش بر هم کنش آب و سنگ، نمونه‌های آب گروه دو و سه شورتر و ترکیب به سمت بیکربنات کلسیک و کلرو سدیک تغییر می‌یابد. واکنش‌های مسئول تحول هیدروشیمی در منطقه در سه دسته ۱- انحلال مواد معدنی و تبخیری ۲- واکنش مواد معدنی، کربنات، کوارتز و کائولینیت ۳- تبادل یونی قرار می‌گیرند (Lazhar Belkhiri & Partners, 2012).

در بررسی منشأ و تکامل ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی شمال غربی چین، فرایند ژئوشیمیایی مسئول ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. انحلال انیدریت، هالیت، کلسیت و دولومیت و تبادل کاتیونی در تکامل آب‌های زیرزمینی نقش مهمی دارند. همچنین با استفاده از نمودار گیبس، نقش کامل هوازدگی سنگ در تکامل ژئوشیمیایی آب زیرزمینی تأیید شده است (Liu & Song & Yang, 2015).

با بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت سیدان - فاروق، کیفیت آب در جهت جریان آبخوان کاهش می‌یابد. با بررسی سازندهای زمین‌شناسی کیفیت آب در مجاورت سازندهای تغذیه کننده دشت که بیشتر کربناته است مناسب می‌باشد و به طرف خروجی دشت به دلیل رسوبات رسی و ماری از کیفیت آن کاسته می‌شود. تیپ غالب دشت، بی‌کربنات کلسیک است. بر اساس نمودار گیبس، منشأ اصلی یون‌ها، واکنش آب و سنگ می‌باشد، تبخیر، تبخیر و رسوبگذاری، سنگ منشأ و بارندگی مهمترین عواملی هستند که می‌توانند شیمی آب را کنترل کنند. نمودارهای ژئوشیمیایی نشان دهنده تأثیر انحلال رسوبات رسی - ماری، فرایند تبادل یونی معکوس و فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب زیر زمینی است (قره محمودلو و همکاران، ۱۳۹۷).

در بررسی فعالیت‌های انسانی و فرایندهای هیدروژئوشیمی در ارتباط با تخریب کیفیت آب زیرزمینی در حوضه یونچنگ در شمال چین، ترکیبات اصلی آنالیز و ایزوتوپ‌های پایدار محیطی مورد مطالعه قرار گرفت. رخسارهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی نشان می‌دهد که آب از نوع بی‌کربنات و کلرید جایگزین سولفات که منطقه را در بر گرفته بود، شد، و به‌طور چشم‌گیری در سفره آب زیرزمینی کم عمق و نیمه عمیق گسترش یافت. همچنین انحلال تبخیری‌ها (هالیت و گچ)، تبادل یونی، فرآیند تبخیر و فعالیت‌های انسانی باعث تخریب کیفیت آب زیرزمینی منطقه شدند (Xubo & partners, 2020).

۲-۳- کیفیت پایه آب زیرزمینی

طیفی از غلظت‌های عناصر، ایزوتوپ و یا ترکیبات شیمیایی محلول که از شرایط طبیعی، زمین شناسی، بیولوژیکی یا اتمسفری و بدون دخالت فعالیت‌های انسان منشأ پیدا کرده باشند، به عنوان کیفیت پایه آب زیرزمینی (Groundwater baseline quality) معرفی می‌گردد. مهم ترین عواملی که کیفیت پایه آب‌های زیرزمینی را کنترل می‌کنند شامل بارندگی، نوع خاک، زون غیراشباع، فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی، واکنش‌های رسوب - انحلال، واکنش‌های احیاء، واکنش‌های تبادل یونی و سرعت حرکت آب زیرزمینی می‌باشد. کیفیت طبیعی آب‌های زیرزمینی بسیار متغیر بوده و به عوامل مختلفی وابسته است که نشان دهنده شیمی آب تغذیه شده و ژئوشیمی خاک، سرعت حرکت آب و سنگ‌هایی که آب با آن‌ها در تماس بوده است، می‌باشد (Bloomfield et al. 2013).

الف - بارندگی

بارندگی سبب تغذیه آبخوان و رقیق شدن یون‌های موجود در آبخوان می‌شود. از سوی دیگر بارندگی عناصر و آلودگی‌های موجود در جو را در خود حل می‌کند و همچنین در زمان عبور از زون غیراشباع کانی‌های موجود در خاک را حل و به همراه خود در آبخوان نفوذ می‌دهد و باعث افزایش غلظت یون‌ها در آبخوان و آلودگی می‌شود.

بارندگی‌ها اصولاً از تبخیر آب اقیانوس‌ها نشأت می‌گیرند و ترکیب آن‌ها عمدتاً حاوی یون‌های Na و Cl به همراه نسبت بالایی از (Mg/Ca) می‌باشد. آب باران به دلیل حضور CO₂ موجود در هوا کمی حالت اسیدی دارد که عمل واکنش بین سنگ و آب را آسان می‌کند. آب باران بسیار رقیق می‌باشد و عناصر حل شده در باران از انحلال گازهای اتمسفری و ذرات جامد موجود در جو که به ابروسل معروفند، نشأت گرفته است. TDS آب باران بین ۴ تا ۱۷ میلی گرم بر لیتر متغیر می‌باشد و مقادیر بیش تر از ۱۰ میلی گرم بر لیتر نتیجه آلودگی هوا است (Langmuir, 1977).

نفوذ آب باران از اتمسفر که حاوی دی‌اکسید کربن است باعث افزایش قدرت انحلالی آب زیرزمینی شده، در نتیجه کانی‌های سیلیکاته سنگ‌های آذرین به آب افزوده می‌شود (Todd & Mays, 2005). بارش‌هایی که به سطح زمین می‌رسد حاوی مقادیر کمی از مواد معدنی محلول می‌باشند. اما در روی زمین، آب جاری شده، با مواد معدنی، خاک و سنگ‌ها واکنش می‌دهد. مقدار و نوع مواد معدنی محلول به ترکیب شیمیایی و ساختار فیزیکی سنگ‌ها و همچنین غلظت یون هیدروژن و پتانسیل اکسایش آب بستگی دارد (Back & Hanshaw, 1965).

با مطالعه و بررسی خصوصیات هیدروشیمی سفره آب زیرزمینی منطقه تنکابن مشخص شد که علی‌رغم 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 خزر، منابع آب زیرزمینی آلوده نیست. زیرا بر اثر بارندگی زیاد و نرخ کم

رواناب، نرخ تغذیه سالیانه به سفره آب زیرزمینی بالا بوده و از طرف دیگر زمان ماندگاری آب به دلیل دانه درشت بودن رسوبات پوشاننده سفره کوتاه است، در نتیجه غلظت عناصر محلول در آب کمتر از حد مجاز می‌باشد (کلانتریان و کرمی، ۱۳۸۸).

ب- نوع خاک

شیمی آب زیرزمینی به شدت وابسته به آب خروجی از زون خاک است. تاثیر اصلی خاک تولید CO_2 ناشی از فرآیندهای بیولوژیکی می‌باشد. غلظت CO_2 در خاک ممکن است ۱۰ تا ۱۰۰ برابر CO_2 موجود در اتمسفر باشد. نتیجه اصلی این فرآیند تولید اسید کربنیک می‌باشد که هوازدهی کانی‌های سیلیکاته و کربناته را کنترل می‌کند (Edmunds & Shand, 2008).

هنگام عبور آب از خاک، نمک‌ها از طریق فرایند انحلال محصولات هوازده و فرسایش یافته ناشی از بارش و جریان آب سطحی، به آب زیرزمینی اضافه می‌شوند. آب‌های مازاد ناشی از آبیاری که به صورت عمقی نفوذ کرده‌اند، می‌توانند مقادیر قابل توجهی از نمک‌ها را وارد آب زیرزمینی نمایند. فاکتورهای حاکم بر افزایش غلظت نمک‌ها شامل نفوذپذیری خاک، تأسیسات زهکشی، میزان آب مورد استفاده، نوع محصول و اقلیم می‌باشند (Todd & Mays, 2005).

ج- زون غیراشباع

اغلب آب‌های زیرزمینی از منطقه خاک تغذیه می‌شوند. در این منطقه فشار جزئی گاز دی اکسید کربن از اتمسفر بیشتر است. لذا آب‌هایی که اخیراً آب زیرزمینی را تغذیه نموده‌اند معمولاً غلظت کربن غیر آلی بالایی دارند. میزان عناصر فرعی و کمیاب در آب‌های زیرزمینی طبیعی به میزان سهولت در دسترس بودن این عناصر در حالت محلول یا در حالت جذب سطحی و شرایط اکسایش - کاهش آب در آبخوان وابسته است (Graham & Partner, 1996). مقادیر زیادی از عناصر کمیاب

می‌تواند از منابع و فعالیت‌های انسانی وارد اتمسفر شود. لذا تغذیه توسط بارش، حجم قابل توجهی از این عناصر را وارد آب زیرزمینی می‌نماید (Todd & Mays, 2005).

فرآیندهای مویینگی باعث بالا آمدن آب شده و آب تبخیر می‌شود در نتیجه غلظت مواد محلول افزایش می‌یابد. در اعماق بیشتر از چند متر رطوبت با نرخ $0/01$ تا 1 متر در سال برای محیط متخلخل و نرخ بیشتر برای سنگ‌های درز و شکاف دار که دارای تخلخل دوگانه می‌باشند به سطح ایستابی منطقه اشباع زهکشی می‌شود. مواد در آب از قبیل شرایط زمانی تغذیه و آب و هوایی را در خود نگه می‌دارند. بنابراین تغییر کاربری زمین و دوره‌های تر و خشک توسط نوسانات کلر ثبت می‌شود، زیرا کلر از جمله یون‌هایی است که وارد واکنش‌های شیمیایی نمی‌شود (Edmunds & Shand, 2008).

ح- فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی در آب زیرزمینی

شیمی آب زیرزمینی به شدت به نوع سنگ‌هایی که در مسیر حرکت آب قرار دارند، بستگی دارد. ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی توسط فاکتورهای زیادی کنترل می‌شود که شامل ترکیب شیمیایی باران و آب‌های سطحی، ساختارهای زمین‌شناسی آبخوان و فرایندهای ژئوشیمیایی زیرسطحی در آبخوان و زمان ماندگاری آب می‌باشد. تغییرات زمانی در منشأ و ترکیب آب تغذیه‌کننده، فاکتورهای انسانی و هیدرولوژیکی می‌تواند باعث تغییرات پرریودیک در کیفیت آب زیرزمینی شود (آقازاده و اصغری مقدم، ۱۳۸۷).

در پژوهش انجام گرفته توسط فخری و همکاران (۱۳۹۲) با عنوان اثر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت مرند تأثیر کانی‌های موجود در سازندهای زمین‌شناسی منطقه از جمله سازندهای میوسن و پلیوسن بر افزایش آنیون‌ها و کاتیون‌های آب مشخص گردید. نتایج نمودارهای پایپر نشان داد تیپ آب براساس غلظت آنیون‌ها به طور عمده کلروه و بی‌کربنات و براساس غلظت کاتیونی سدیک می‌باشد. باقری و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی تأثیر سازندها و ساختارهای

زمین‌شناسی منطقه سراب بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دریافتند که زمین‌شناسی مهم‌ترین عامل در تعیین ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی این منطقه است. آب‌های ورودی به منطقه به علت عبور از تشکیلات مارنی، ژئپسی و نمکی میوسن موجود در منطقه کیفیت نامطلوبی دارند. همچنین در قسمت خروجی دشت رسوبات دانه ریز می‌باشند که باعث افزایش سطح تماس با مواد تشکیل دهنده آبخوان و شور شدن آب خروجی می‌شوند.

بررسی‌های انجام شده در دشت شاهرود نشان داد که هدایت الکتریکی نمونه های آب به سمت جنوب به دلیل وجود رخنمون‌های مارنی افزایش می‌یابد که باعث تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی این مناطق شده است. در مناطق میانی آبخوان به دلیل تغذیه و جریان آب از مخروط افکنه، کیفیت آب-های زیرزمینی بهتر بوده و هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد (کلاتگی و همکاران، ۱۳۹۳).

ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان (شرق آذربایجان شرقی) شوری بالای آب زیرزمینی این منطقه را نشان داد. با توجه به روش‌های هیدروشیمیایی مورد استفاده در این تحقیق، مهم‌ترین عامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، واکنش بین آب و مواد تشکیل دهنده سفره آب‌دار است. شاخص‌های اشباع بیانگر این موضوع است که نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به کانی‌های کلسیت، دولومیت و آراگونیت فوق اشباع و نسبت به ژئپس، انیدریت و هالیت تحت اشباع می‌باشد (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۳).

د- واکنش رسوب- انحلال

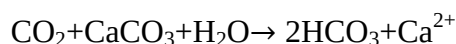
واکنش‌های آب - سنگ که در آب‌های زیرزمینی جوان غالب می‌باشند عموماً سریع رخ می‌دهند و تعادل در طی چند ماه یا چند سال رخ می‌دهد. این آب‌ها در صورتی که به لایه‌های تبخیری برخورد نمایند کیفیت خوبی دارند. آب‌های فسیلی یا سازندهای قدیمی در ارتباط با مخازن نفتی بسیار شور می‌باشند و تیپ این گونه آب‌ها عمدتاً کلروره سدیک می‌باشد (Mazor, 2004).

سنگ‌های رسوبی نسبت به سنگ‌های آذرین قابلیت انحلال بیشتری دارند. به دلیل قابلیت انحلال بالا و فراوانی آن‌ها در پوسته زمین، این سنگ‌ها بخش اصلی از ترکیبات محلول در آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. کاتیون‌ها و آنیون‌های معمول در آب زیرزمینی مشتمل بر سدیم، کلسیم، بیکربنات و سولفات می‌باشند. در مناطق آهکی، یون‌های کلسیم و بی‌کربنات توسط انحلال به آب زیرزمینی اضافه می‌شوند (Todd & Mays, 2005).

با حرکت آب زیرزمینی به سمت پایین دست جریان در یک آبخوان، انحلال کانی‌ها سبب افزایش TDS می‌شود. تأثیر این موضوع در سنگ‌های رسوبی، به دلیل وجود کانی‌های با قابلیت انحلال متوسط تا نسبتاً بالا، مثل ژئپس، انیدریت و هالیت، بسیار قابل توجه است. در سنگ‌های کربناتی، به دلیل کاهش CO₂ در طول مسیر، احتمالاً انحلال کاهش می‌یابد (Hounslow, 1995).

تمام واکنش‌های زیر از نوع هیدرولیزی می‌باشد و با مصرف CO₂، میزان pH محیط را تغییر می‌دهند. باز یا بسته بودن سیستم آب زیرزمینی نسبت به CO₂ در تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی بسیار موثر است (Edmunds & Shand, 2008).

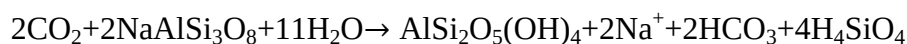
انحلال همگن کلسیت



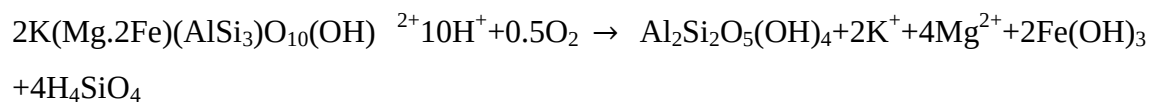
انحلال ناهمگن کلسیت ناخالص



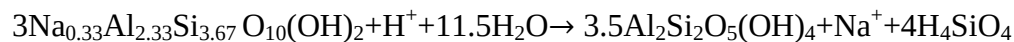
هوازدگی کانی‌های اولیه سنگ (فلدسپار) برای آزادسازی عناصر موجود و تشکیل خاک رس



هوازده‌گی اولیه کانی‌های سنگ (بیوتیت) برای آزادسازی عناصر محلول و تشکیل رس‌ها



هوازده‌گی رس غنی از کاتیون و تشکیل رس فقیر از کاتیون



ز- کنترل کننده‌های واکنش‌های احیاء

واکنش‌های کاهش در تعیین و توصیف تغییرات خصوصیات آب‌های زیرزمینی مهم می‌باشد. آب‌های زیرزمینی در عمق‌های کم حاوی اکسیژن محلول هستند و مقدار آن (به‌طور میانگین ۸ میلی‌گرم بر لیتر) کمی از اکسیژن اتمسفر کمتر است. زمانی که آب زیرزمینی در جهت شیب حرکت می‌کند، اکسیژن محلول توسط فرایندهای واسطه میکروبی یا واکنش‌های غیرآلی مصرف می‌شود که منجر به شرایط بی‌هوازی می‌شود.

ن- سرعت حرکت آب زیرزمینی

سرعت آب زیرزمینی بر کیفیت آب و میزان املاح آن بسیار موثر است. هرگاه سرعت حرکت آب زیرزمینی بالا باشد، زمان تماس آن با محیط اطراف کم خواهد بود و عناصر کمتری را می‌تواند در خود حل کند. آبخوان‌های آزاد کم عمق دارای آب‌های زیرزمینی با سرعت بالا می‌باشند. زمانی که سرعت حرکت آب زیرزمینی پایین باشد، مانند سنگ‌هایی که دارای هدایت هیدرولیکی پایین هستند، زمان ماندگاری بالا خواهد بود و کانی‌های موجود در سنگ در تعادل با آب خواهند بود و آبخوان‌های عمیق دارای چنین سیستمی هستند. در این سیستم‌ها کیفیت آب زیرزمینی به شدت به ترکیب کانی‌شناسی سنگ بستگی دارد. همچنین ریزدانه شدن رسوبات در آبخوان یکی از عواملی است که

می‌تواند سرعت آب را کاهش داده، زمان ماندگاری آب در آبخوان را افزایش داده و باعث غنی شدن یون‌ها در آب زیرزمینی می‌شود.

نوع و غلظت نمک‌ها به محیط، حرکت و منشأ آب زیرزمینی بستگی دارد. به دلیل رخنمون بیشتر مواد قابل حل در طبقات زمین، معمولاً غلظت ترکیبات محلول در آب زیرزمینی بیشتر از آب سطحی می‌باشد. نمک‌های محلول در آب زیرزمینی ابتدا از انحلال مواد سنگی منشأ می‌گیرند. بی‌کربنات‌ها که معمولاً اولین آنیون در آب زیرزمینی می‌باشند، از دی اکسید کربن آزاد شده توسط تخریب مواد آلی در خاک، حاصل می‌شوند. شوری با سطح ویژه مواد آبخوان، انحلال پذیری مواد معدنی و زمان تماس تغییر می‌کند. حداکثر این مقادیر در مناطقی که حرکت آب زیرزمینی کند است، مشاهده می‌شود (Todd & Mays, 2005).

مسیر طی شده آب برای تغذیه آبخوان هر اندازه بیشتر باشد و سرعت حرکت آب هر اندازه کندتر باشد، املاح بیشتری را در خود حل می‌کند و وارد منابع آب زیرزمینی می‌کند.

۲-۴- عوامل انسانی اثر گذار بر کیفیت آب زیرزمینی

۲-۴-۱- فعالیت‌های کشاورزی

فعالیت‌های کشاورزی بیشترین آلودگی را در آب زیرزمینی ایجاد می‌کنند. با رشد جوامع انسانی فعالیت‌های کشاورزی نیز در حال افزایش می‌باشد و باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود که این آلودگی از طریق کود و سموم محصولات کشاورزی، فضولات حیوانی، مواد آلی و معدنی در خاک هنگام نفوذ آب به لایه‌های زیرین وارد آب زیرزمینی می‌شود.

زمین‌های کشاورزی مهمترین منبع آلودگی غیر نقطه‌ای آب زیرزمینی می‌باشد. رابطه مستقیم هدایت الکتریکی با نیترات و فسفات در چاه‌های کم‌عمق نشان دهنده تأثیر آب برگشتی کشاورزی در بخش فوقانی آبخوان بوده، در حالی که در چاه‌های عمیق‌تر رابطه معناداری بین آن‌ها وجود ندارد. افزایش غلظت نیترات و فسفات در بخش فوقانی بیانگر تأثیر فعالیت‌های کشاورزی در آلودگی آبخوان می‌باشد (قناعتیان، ۱۳۹۱).

به عقیده بوهلکه (Bohlke, 2002) عبارت "آلاینده (Contamination) کشاورزی" به مواد شیمیایی اشاره دارد که غلظت آن‌ها در آب‌های زیرزمینی زمانی که کشاورزی صورت می‌گیرد، نسبت به زمانی که فعالیت‌های کشاورزی صورت نمی‌گیرد بالاتر باشد، اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی نرخ و ترکیب تغذیه آب‌های زیرزمینی و بیوژئوشیمی آبخوان می‌باشد. اثرات مستقیم شامل انحلال و حمل و نقل مقادیر بیش از حد کود و مواد مرتبط با تغییرات هیدرولوژیکی، آبیاری و زهکشی و برخی از اثرات غیرمستقیم شامل تغییرات در واکنش آب - سنگ در خاک و سفره‌های آب ناشی از افزایش غلظت اکسید محلول می‌باشد.

افت سطح آب زیرزمینی و نفوذ پساب‌های کشاورزی به زمین از مهمترین مشکلات موجود در نواحی کشاورزی است که با زوال کیفیت آب و تأثیر بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی می‌تواند باعث متروکه شدن مزارع شود (Halil, 1980).

کلسیم، منیزیم و سدیم، کاتیون‌های مهم در آب مورد استفاده در کشاورزی هستند و اغلب از یون‌های دیگر در تعیین خطر از هم پاشیدگی خاک صرف‌نظر می‌شود. نسبت جذب سدیم برای پیش‌بینی مشکلات نفوذپذیری آب در خاک استفاده می‌شود. در هر صورت، پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی بر اساس شاخص ویلکوکس و با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق مناسب برای مصارف کشاورزی را مشخص می‌کند.

در بررسی منطقه‌ای در چین منبع اصلی آلودگی‌های غیرنقطه‌ای مواد شیمیایی، کودها و نمک‌های شسته شده کشاورزی و زیست محیطی از طریق ریشه گیاهان به آبخوان‌های کم عمق منتقل می‌شوند و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند (Feng et al. 2005).

دو منبع اصلی برای آلودگی آب‌های زیرزمینی شناسایی شده که اولی مربوط به تخلیه سطحی آلودگی در آب‌های زیرزمینی مانند نشت توسط رودخانه بوده که دارای ویژگی‌های آلودگی نقطه‌ای می‌باشد و دیگری در نتیجه فعالیت‌های کشاورزی است که آلودگی غیرنقطه‌ای نامیده می‌شود (Liu et al. 2005).

در بررسی اثرات کشاورزی بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه‌ای در چین مشخص شد که آب آبیاری کشاورزی باعث آلودگی آب زیرزمینی شده است. همچنین تبخیر و تعرق آب آبیاری به خصوص در آب‌های زیرزمینی کم عمق باعث افزایش کلراید شده است. در نتیجه کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه بسیار ضعیف است. همچنین توازن بین آب دریاچه موجود در منطقه و TDS نشان می‌دهد که مقداری از تخلیه به آب زیرزمینی باعث شوری آب زیرزمینی شده است (Zhu et al. 2014).

نیتрат از شایع‌ترین و عمده‌ترین آلاینده‌های غیرنقطه‌ای منابع آبی است. یکی از منابع اصلی تولید آن فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای نیتروژنه است. آلودگی زیاد آب زیرزمینی به نیترات ناشی از فعالیت‌های شدید کشاورزی به‌ویژه استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و آبشویی آن‌ها در زمین‌های کشاورزی و باغات است (فخری و همکاران، ۱۳۹۴).

مهم‌ترین آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی شامل موارد زیر می‌باشد:

الف- نیترات

افزایش نیترات در آب زیرزمینی تحت تأثیر اقلیم و فعالیت‌های انسانی است. فعالیت‌های کشاورزی توأم با مصرف بی‌رویه سموم، کودهای حیوانی و شیمیایی و روش‌های غیرعلمی آبیاری، نوع

ساختارهای زمین‌شناسی هر منطقه چاه‌های فاضلاب خانگی، دفع غیربهداشتی مواد زاید شهری و صنعتی می‌باشد. میزان غلظت نیتрат در آب‌های زیرزمینی معمولاً بین ۰/۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. براساس سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر میزان نیترات در آب زیرزمینی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر قابل قبول ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و براساس موسسه استاندارد آمریکا (USEPA) ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

نیترات به شکل اولیه نیتروژن حل شده در آب‌های طبیعی وجود دارد و یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌کننده‌ها در آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی جهان است. غلظت بالای نیترات در آب‌های زیرزمینی اثرات بهداشتی زیادی بر آب آشامیدنی و سلامتی انسان می‌گذارد و می‌تواند به گرم شدن جهانی کمک کند. استفاده از کود فراوان، دام‌ها، کانیایی شدن خاک، تثبیت نیتروژن و رسوب اتمسفری منابع اولیه نیتروژن از طریق کشاورزی افزایش هستند. در اثر کاربرد کودهای نیتروژنی در اواخر سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۷۰ میزان محصولات کشاورزی افزایش پیدا کرده است. بین سال‌های ۱۹۴۵ و ۱۹۸۵ استفاده از کود نیتروژنی حدود ۲۰ برابر افزایش یافت. مطالعات اخیر توسط سازمان بهداشت جهانی به غلظت بالاتر نیترات در آب آشامیدنی اشاره کرده‌اند. تجزیه گیاهی و ضایعات حیوانی، شسته شدن زائد جامد، زباله خانگی، پساب‌های صنعتی (صنایع مانند کود نیتروژنی، اسید نیتریک و غیره)، کود مورد استفاده در کشاورزی، رواناب برگشتی آبیاری، شسته شدن نیتروژن اتمسفر توسط باران و استفاده از پساب‌ها برای گیاهان منابع اصلی نیترات در آب‌های زیرزمینی و سطحی است (Welch et al, 2011). در بررسی تکامل شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی کوروکاوآ در ژاپن، آب‌های زیرزمینی از نوع کربنات کلسیم و شیمی آب تحت تاثیر توپوگرافی قرار گرفته است در منطقه بالادست به دلیل استفاده کود شیمیایی در فعالیتهای کشاورزی میزان نیترات زیاد و پایین دست رقیق شدگی نیترات بیان شده است (Tsuji-mura & Partner, 2009).

ب- فسفات

فسفر جزء اصلی فسفات است و درحقیقت فسفات، اکسید فسفر است. فسفر به خودی خود برای انسان مضر نیست، اما اگر به آب وارد شود سبب بد بو و بد مزه شدن آن و رشد جلبک‌ها و گیاهان آبی می‌شود تا جایی که می‌تواند سبب به وجود آمدن یوتریفیکاسیون شود. فسفر بعد از نیتروژن، مهم ترین عنصر مورد نیاز گیاهان و میکروارگانیسم‌ها است. این عنصر نقش مهمی در بهبود کیفیت و کمیت دانه‌ها در کشاورزی از جمله کلزا دارد. این عنصر در خاک به دو شکل معدنی و آلی یافت می‌شود. کمبود غلظت فسفات‌های قابل جذب خاک‌های زراعی در کشور باعث شده است، که برای رفع کمبود فسفر مورد نیاز گیاهان، این عنصر به صورت کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه شود. قابلیت جذب فسفر بیشتر از نیترات است، به همین دلیل آلودگی فسفر در آب زیرزمینی کمتر از نیترات است و بیشتر در مناطقی که فعالیت کشاورزی به شدت صورت می‌گیرد و سطح آب زیرزمینی بالا باشد ممکن است مشاهده شود. براساس استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) حداکثر میزان قابل قبول فسفات در آب آشامیدنی $0/2$ میلی‌گرم بر لیتر است. مطالعات صورت گرفته توسط کلانتریان و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی آلودگی سفره آب زیرزمینی تنکابن نسبت به نیترات و فسفات نشان داد که استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی مختلف در فعالیت کشاورزی منجر به تغییر کیفیت آب و بالا رفتن مقادیر نیترات و فسفات بیش از حد مطلوب شده است مقدار کلسیم و منیزیم موجود در آب نیز بالا است و باعث سخت شدن آب‌های منطقه شده است. بالا بودن این عناصر را می‌توان به آلودگی ناشی از مصرف کودهای آهکی در منطقه و نیز به نشت از فاضلاب‌های شهری نسبت داد.

بررسی‌های انجام گرفته توسط اهنزی و همکاران (۱۳۹۲) بر روی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت مجن به نیترات و فسفات نشان می‌داد که غلظت نیترات در ۳۵ درصد نمونه‌ها بالاتر از استاندارد

سازمان بهداشت جهانی و در سایر نمونه‌ها پایین‌تر از این استاندارد است. همچنین غلظت فسفات در همه‌ی نمونه‌ها از مقادیر مجاز سازمان بهداشت جهانی کمتر است.

ج- آفت‌کش‌ها

آفت‌کش‌ها برای کنترل از میکروارگانیسم‌هایی که زیان‌آور شناخته می‌شوند، به کار می‌روند. به عنوان مثال آن‌ها می‌توانند پشه‌هایی که ناقل بیماری‌های مرگباری چون ویروس نیل غربی، تب زرد و مالاریا هستند را از بین ببرند. همچنین می‌توانند زنبورها و مورچه‌هایی که عامل بروز حساسیت هستند، نیز از بین ببرند. در واقع به منظور نابودی آفت‌ها به کار می‌روند. بعضی از این آفت‌ها که مورد علاقه انسان‌ها نیستند، حشرات، علف‌های هرز و میکروب‌هایی هستند که گیاهان را از بین می‌برند. بسیاری از آفت‌کش‌ها، سمی هستند و علاوه بر این که آفت‌ها را از بین می‌برند به انسان‌ها نیز صدمه می‌زنند. بسیاری از آفت‌کش‌ها که برای نابودی آفت‌ها استفاده می‌شوند، برای سلامتی انسان ضرر دارند. ورود آن‌ها به دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، موجب آلوده شدن منابع آبی می‌شود. گاهی ورود آفت‌کش‌ها به منابع آبی علاوه بر آلودگی سبب از بین رفتن گونه‌های حساس و قوی‌تر شدن گونه‌های باقی مانده می‌شوند. بارش باران اسیدی و از بین رفتن جانداران آبی به دلیل افزایش میزان اسید موجود در آب، از دیگر عوارض استفاده از آفت‌کش‌ها است. همچنین روانه کردن آفت‌کش‌ها در آب برای جانوران، به ویژه برای دوزیستان بسیار خطرناک است.

در تحقیقات انجام شده در هلند (Hoogeveen & Visser, 2010) مشخص شد که آب‌های زیرزمینی عمیق کمتر در معرض خطر حشره کش‌ها قرار دارند. ولی برای چشمه‌ها و آب‌های زیرزمینی کم عمق خطرناک محسوب می‌شوند. البته فرایندهای فیزیکی و شیمیایی صورت گرفته در طول انتقال از زون اشباع و غیراشباع می‌تواند در رقیق‌سازی و کم خطر کردن حشره کش‌ها مفید باشد.

تحقیقات انجام شده در حوضه کشاورزی لرما (Lerma) در شمال شرق اروپا (Lorente et al. 2015) آلودگی به علف کش‌ها را نشان می‌دهد که به علت استفاده از آفت‌کش‌ها در کشاورزی می‌باشد. استفاده از این آفت‌کش‌ها باعث از بین رفتن گونه‌های حساس و جایگزینی توسط گونه‌های مقاوم شده است.

د - نمک‌ها و عناصر کمیاب

در مناطق خشک به دلیل کمبود بارش، آبشویی نمک‌ها و عناصر کمیاب به مرور زمان به خوبی رخ نمی‌دهد و آبیاری در این مناطق سبب آبشویی این مواد از زون ریشه و حرکت آن به سوی آب زیرزمینی می‌شود. نمک‌های قابل انحلال بیشتر شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، کلرید، سولفات و کربنات و بی‌کربنات می‌باشد. غلظت نیترات و پتاسیم در مقایسه با دیگر عناصر در کل کمتر است. عناصر کمیاب شامل آرسنیک، بور، کادمیوم، مس، مولیبدن، نیکل، سلنیوم و استرانسیوم می‌باشد (قناعتیان، ۱۳۹۱).

ذ - آبیاری غیراصولی

استفاده از فاضلاب‌های شهری و روستایی برای آبیاری زمین‌های کشاورزی به ویژه در مناطقی که آب‌های سطحی و زیرزمینی کافی وجود ندارد، تهدیدی برای آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود. آبیاری می‌تواند یک یا چند ترکیب را از خاک بشوید و آن‌ها را وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی کند. آبیاری غیراصولی در مزارع کشاورزی می‌تواند یک یا چند فلز را از خاک بشوید و آن‌ها را به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد کند و سبب آلودگی این آب‌ها شود در نتیجه این آب‌ها را برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی نامناسب سازد. آبیاری همراه با اثر فاضلاب‌ها می‌تواند سبب بالا رفتن غلظت

فلزات سنگین در آب و خاک شود. نتیجه دیگر آبیاری در جاهایی که زهکشی ضعیف است، شور شدن خاک‌ها است که این شوری سبب کاهش حاصل خیزی خاک‌ها می‌شود (رستمی زرین آبادی، ۱۳۹۰). در مطالعه‌ای به‌منظور شناسایی آلودگی ناشی از آب آبیاری در مصر ۳۶ نمونه برداشت شد تا سطح آلودگی بررسی گردد. نتایج نشان داد که ترکیباتی از جمله نیترات، نیتريت، آمونیاک، فسفات و سولفید سطح بالایی از آلودگی را نشان می‌دهند (Abed- Shafy et al. 2008).

تحقیقات انجام شده توسط لنهان و بریستوو (Lenahan & Bristow, 2010) نشان می‌دهد که سولفات می‌تواند تحرک فسفات را افزایش داده و باعث کاهش تنوع زیستی در زمین‌های مرطوب شود. تحرک سولفات نیز توسط نیترات صورت می‌گیرد. در واقع نیترات تحرک سولفات را افزایش می‌دهد و سولفات سبب افزایش تحرک فسفات شده و فسفات باعث کاهش تنوع زیستی می‌شود.

۲-۴-۲- اثر برداشت بیش از حد مجاز بر روی کیفیت آب زیرزمینی

آبدهی مجاز یا برداشت قابل اطمینان عبارت از مقدار آبی که سالانه می‌توان از یک حوضه آب زیرزمینی یا آبخوان برداشت کرد، بدون آن که نتیجه نامطلوبی به بار آورد. آثار نامطلوب استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی ممکن است دیر یا زود به صورت پایین رفتن تراز آب زیرزمینی و در نتیجه افزایش هزینه بالا آوردن آب، بیشتر کردن عمق چاه‌ها، نفوذ آب شور دریا، فرونشست سطح زمین، ترک خوردن خاک و... شود (صداقت، ۱۳۸۷). بررسی نفوذ آب شور خلیج فارس در آبخوان ساحلی عسلویه نشان داد که بر اثر بهره برداری بی رویه از چاه‌های غیرمجاز، این آبخوان در معرض آلودگی نفوذ آب شور به وسیله آب دریا قرار دارد که در صورت عدم کنترل برداشت آب صدمات جبران ناپذیری به این آبخوان وارد می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص می‌شود، سکانس تکامل شیمیایی آب زیرزمینی دشت عسلویه، در ارتباط با انحلال کامل ژئوس

(مقادیر زیاد کانی‌های کلریدی قابل انحلال از سازندهای گچساران، آغاچاری و میشان) در منطقه و نفوذ آب شور خلیج فارس می‌باشد. تیپ اصلی آب زیرزمینی کلرید- سدیک است. تخلیه بیش از میزان تغذیه طبیعی یا مصنوعی باعث از بین رفتن کیفیت آب می‌شود (سجادی و همکاران، ۱۳۸۹).

استفاده بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های ارومیه و کهریز وقوع خشکسالی از دهه ۷۰ به بعد باعث افت سطح آب زیرزمینی شده است. مجموع تخلیه و برداشت از آبخوان کهریز بیش از مقدار مجاز می‌باشد و باعث نفوذ آب‌های شور از سمت دریاچه به سمت آبخوان‌های این مناطق گردیده و علاوه بر کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی این مناطق باعث از بین رفتن بعضی از زمین‌های کشاورزی در اطراف دریاچه ارومیه گردیده است (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۳).

در بررسی اثرات برداشت زیاد و افت سطح ایستابی بر کیفیت آب در دشت آذرشهر مشخص شد که برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی منطقه باعث افت شدید سطح ایستابی و افزایش شوری آب و عوارض کم آبی در دشت شده است. با استفاده از نقشه‌های هم ارزش هدایت الکتریکی، کلر و سولفات ملاحظه می‌شود که میزان این پارامترها با گذشت زمان افزایش یافته و کیفیت آب کاهش یافته است (هرائی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۴-۳- صنعت

صنعت در حال حاضر یک منبع بالقوه نیتروژن به آب‌های زیرزمینی می‌باشد. ترکیبات نیتروژنی به طور گسترده در فرایندهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله برخی از نمونه‌های مصارف صنعتی نیتروژن، پلاستیک، فلز، مواد خام و برای صنعت نساجی می‌باشد. ترکیبات نیتروژن غالب مورد استفاده در صنعت آمونیاک، اسید نیتریک، اوره و نترات آمونیوم می‌باشد. آلودگی نترات ممکن است از دفع و یا استفاده از این ترکیبات باشد (Wakida & Lerner, 2005).

۲-۴-۴- ضایعات حیوانی

در حومه شهرها در کشورهای درحال توسعه، برخی از حیوانات وحشی برای اهداف مختلف و یا برای تجارت نگهداری می‌شوند. یکی از منابع غلظت بالای نیترات در آب‌های زیرزمینی کم عمق مدفوع و ادرار حیوانات می‌باشد. این نوع از آلودگی‌ها می‌تواند توسط کانال‌های آب، رودخانه و تغذیه مستقیم وارد آب‌های زیرزمینی شود (Wakida & Lerner, 2005).

فصل سوم

روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

در این فصل روش بررسی خصوصیات و تکامل شیمیایی آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار به‌طور مختصر بیان می‌شود. به‌طور کلی در انجام این تحقیق اقدامات زیر صورت گرفته است:

(۱) جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های موجود دشت قائم‌شهر - جویبار در رابطه با کیفیت آب‌های زیرزمینی و اطلاعات کمی پیزومترها از آب منطقه‌ای استان مازندران

(۲) تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

(۳) بازدید اولیه از منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری از چاه‌های موجود جهت آنالیز شیمیایی

(۴) مطالعات آزمایشگاهی و اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی

(۵) بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان و تهیه نقشه‌های مختلف کیفی

(۶) بررسی تغییرات مکانی EC، pH، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

(۷) بررسی تکامل شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار

در ادامه مراحل انجام تحقیق با جزئیات بیشتر ارائه می‌گردد.

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

در دشت قائم‌شهر - جویبار تعداد ۳۰ حلقه پیزومتر وجود دارد که ارتفاع سطح آب زیرزمینی در آنها هر ماه اندازه‌گیری می‌گردد. با مراجعه به آب منطقه‌ای استان مازندران و دریافت آمار مربوط به پیزومترها از این اطلاعات به منظور ترسیم نقشه هم‌پتانسیل و تعیین جهت جریان استفاده گردید.

همچنین جهت تعیین خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان سالیانه در طی ماه‌های اردیبهشت و مهر از ۳۴ حلقه چاه در دشت که به‌عنوان چاه انتخابی تعیین شده است، نمونه‌برداری صورت می‌گیرد.

۳-۳- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه

در مطالعات مربوط به هیدروژئوشیمی بررسی زمین‌شناسی منطقه ضروری می‌باشد. ویژگی‌های سنگ‌ها و رسوبات مختلف به ویژه نهشته‌های آبرفتی از نظر امکان تشکیل منابع آب زیرزمینی و تأثیر آن‌ها بر کیفیت شیمیایی آب اهمیت دارد. لذا نقشه زمین‌شناسی محدوده آبخوان با استفاده از اطلاعات موجود در نرم‌افزار Arc GIS تهیه گردیده است.

۳-۴- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از چاه‌های بهره‌برداری

در خرداد ماه ۱۳۹۸ از ۴۰ حلقه چاه موجود در آبخوان قائم‌شهر - جویبار با پراکندگی مناسب (شکل ۳-۱) بازدید و همزمان نمونه‌برداری صورت گرفت (شکل ۳-۲). برای نمونه برداری جهت آنالیز شیمیایی از بطری‌های ۱/۵ لیتری پلاستیکی استفاده شد.

در هنگام نمونه‌برداری نکات لازم شامل موارد زیر رعایت گردید:

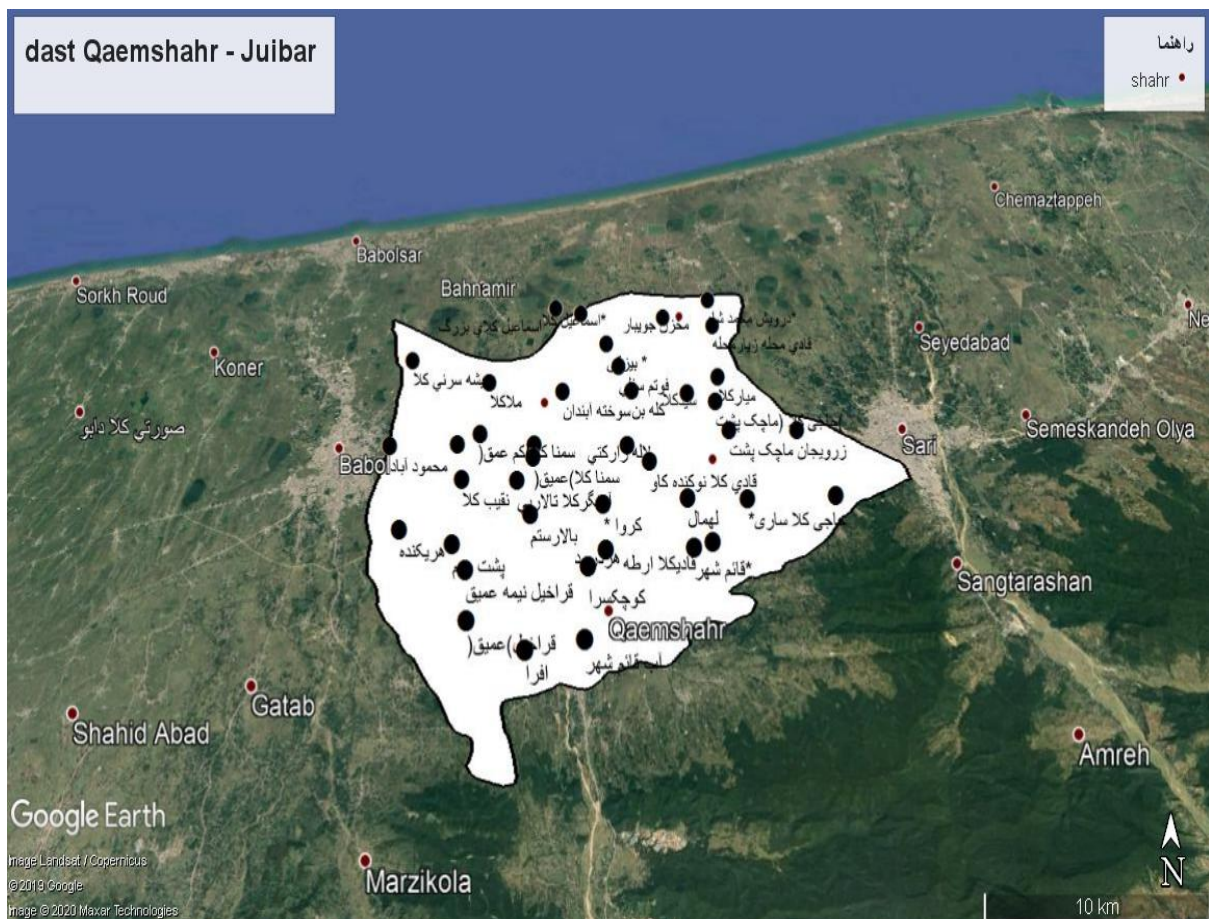
- نمونه‌برداری از چاه‌هایی انجام شد که حداقل از چند ساعت قبل در حال بهره‌برداری بودند.

- هر بطری قبل از نمونه‌برداری توسط آب همان چاه شستشو داده شد.

- نمونه‌ها در مکان خنک نگهداری شد و در زمان کوتاه به آزمایشگاه منتقل گردید.

- برچسب‌هایی برای شناسایی نمونه‌ها بر روی بطری‌ها قرار گرفت و مختصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS تعیین شد.

- نمونه‌ها در کوتاهترین زمان ممکن پس از عملیات نمونه‌برداری، جهت آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل گردید.



شکل ۳-۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار



شکل ۳-۲- بازدید و نمونه برداری از چاه های بهره برداری دشت قائم شهر - جویبار

۳-۵- پارامترهای اندازه گیری شده:

۱) هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی آب قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان برق را نشان می دهد. هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر قابل حمل (پرتابل) مدل AQUA LYTIC SD320 CON اندازه گیری گردید. واحد هدایت الکتریکی میکروموس بر سانتی متر است که امروزه به جای آن واحد معادل آن میکروزیمنس بر سانتی متر به کار برده می شود. EC نشان دهنده غلظت نمک های محلول در آب می باشد. هر چه غلظت نمک های محلول در آب بیشتر باشد، هدایت الکتریکی عدد بزرگتری را نشان می دهد.

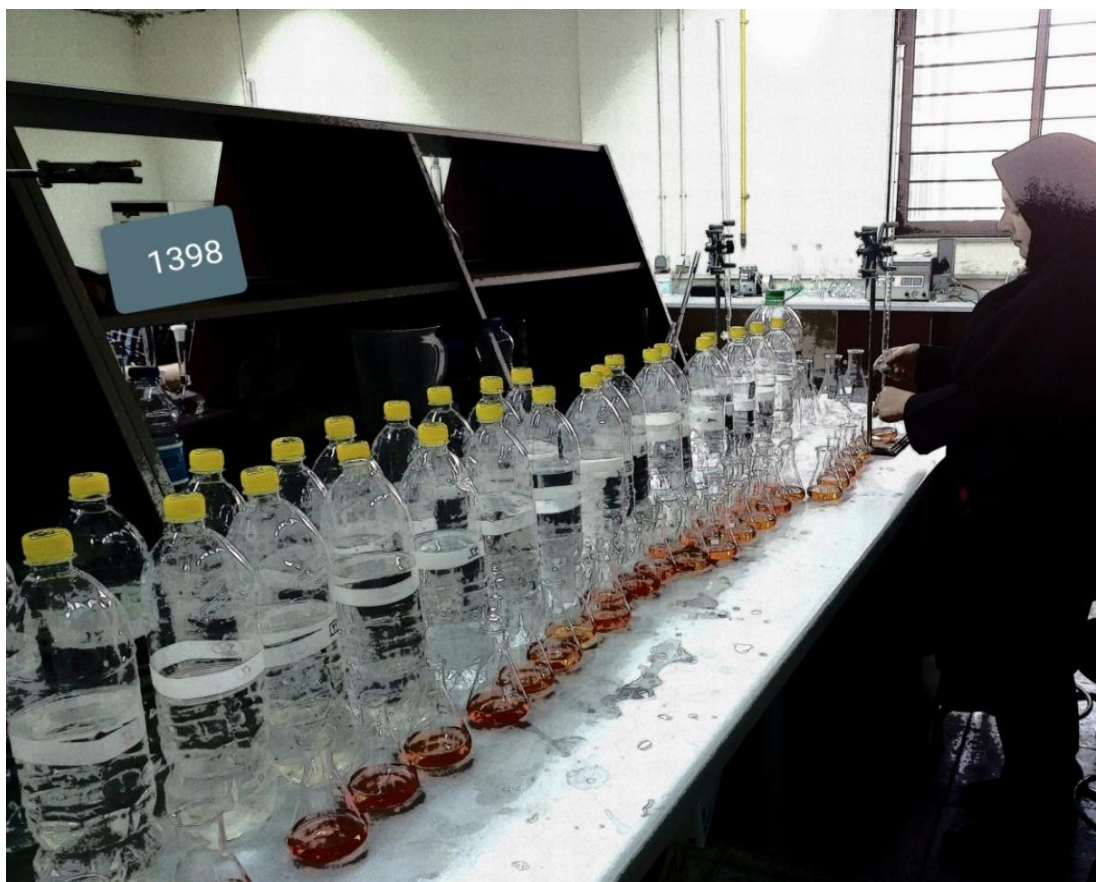
pH (۲)

پارامتر pH معرف غلظت یون هیدروژن در آب بوده که میزان اسیدی یا قلیایی بودن آب را نشان می‌دهد. pH بین ۰ تا ۱۴ متغیر بوده و نقش فعالی در فرایندهای شیمیایی آب دارد. pH کمتر از ۷ نشان دهنده محیط اسیدی و بیشتر از ۷ بیانگر محیط قلیایی می‌باشد. در این تحقیق pH نمونه‌ها توسط دستگاه pH - meter مدل AQUA LYTIC SD300 اندازه‌گیری گردید.

(۳) کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی

آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در آب شامل بی‌کربنات، سولفات، کلر، سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم می‌باشد. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه‌های برداشت‌شده در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شده است (شکل ۳-۳). آنیون‌های کلر و بی‌کربنات توسط روش تیتراسیون، آنیون سولفات توسط دستگاه سولفات سنج و کاتیون‌ها توسط دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) اندازه‌گیری گردید.

تیتراسیون بی‌کربنات: ۲ قطره از معرف متیل اورانژ که به رنگ زرد می‌باشد به ۲۵ cc از نمونه اضافه شده، نمونه را کمی تکان داده تا معرف با کل نمونه مخلوط و رنگ محلول کامل به زرد تغییر یابد، سپس اسید سولفوریک قطره قطره به محلول اضافه شده تا زمانی که محلول رنگ نارنجی به خود گیرد که در این صورت واکنش کامل شده است. مقدار اسیدی که به محلول اضافه شده معرف غلظت بی‌کربنات نمونه بر حسب epm می‌باشد.



شکل ۳-۳- اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود

تیتراسیون کلر: جهت تعیین کلر در نمونه‌های آب، معرف کرومات پتاسیم که به رنگ زرد می‌باشد به نمونه اضافه شده و سپس نیترات نقره قطره قطره به محلول اضافه می‌گردد تا زمانی که محلول به- رنگ آجری درآید. مقدار نیترات نقره استفاده‌شده معرف مقدار کلر نمونه برحسب epm می‌باشد.

اندازه‌گیری سولفات: جهت تعیین میزان سولفات موجود در نمونه، 10 CC نمونه در استوانه دستگاه سولفات‌سنج اضافه می‌گردد زمانی که دستگاه عدد صفر را به نمایش می‌گذارد نمونه از دستگاه خارج و باریم کلراید (0.143 گرم) به محلول اضافه می‌گردد. ظرف محتوی نمونه به آرامی تکان داده می‌شود به‌طوری‌که انحلال ذرات باریم کلراید در نمونه کامل شود. آن‌گاه استوانه محتوی نمونه در

دستگاه سولفات سنج قرار داده شده (در این زمان باید دستگاه عدد صفر را نشان دهد)، که پس از پنج دقیقه دستگاه مقدار سولفات نمونه را بر حسب ppm نمایش می‌دهد.

۳-۶- بررسی یون‌های فرعی

آنیون‌های فرعی شامل نیتрат، فسفات و فلوئور در آزمایشگاه توسط دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) اندازه‌گیری شده است.

۳-۷- تهیه نقشه‌های مختلف کیفی و بررسی خصوصیات

هیدروژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی

- از داده‌های اندازه‌گیری شده جهت ترسیم نقشه‌های مختلف کیفی از قبیل نقشه‌های هدایت الکتریکی، pH و یون‌ها در نرم‌افزار Arc GIS 10.4 استفاده گردید.

- نمودارهای کیفی از قبیل استیف، پایپر و شولر به منظور مقایسه سریع تعداد زیاد نمونه و تعیین تیپ آب و نیز بررسی سیر تکاملی هیدروژئوشیمیایی با استفاده از نرم‌افزار AQQA ترسیم گردید.

- جهت تعیین ضرایب اشباع از نرم‌افزار PHREEQC استفاده گردید.

- ارتباط بین یون‌ها و فرایند غالب در هیدروژئوشیمی منطقه با استفاده از نرم‌افزار اکسل تعیین شد.

فصل ۴

بررسی تکامل شیمیایی آبخوان آبرفتی قائم-

شهر - جویبار

۴-۱- مقدمه

در این فصل خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار با استفاده از داده‌های کیفی برداشت شده از چاه‌های بهره‌برداری مورد بررسی قرار می‌گیرد. کل محدوده دشت توسط سازند کاسپین متشکل از رس، آهک، ماسه و رسوبات رودخانه‌ای پوشیده شده است. بنابراین خصوصیات کیفی آبخوان می‌تواند متأثر از زمین‌شناسی منطقه باشد. از سوی دیگر فعالیت‌های کشاورزی در منطقه رایج بوده و مجاورت با دریا و نفوذ آب شور آبخوان ساحلی که به نوبه خود می‌تواند سبب تغییر در خصوصیات کیفی آبخوان گردد. در این فصل نتایج اندازه‌گیری پارامترهای هیدروژئوشیمیایی از طریق نمودارها و شکل‌های مختلف بررسی شده و تکامل شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار مورد بحث قرار گرفته است.

۴-۲- هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار

با توجه به نقش پارامترهای کمی در کیفیت منابع آب زیرزمینی، ابتدا نقشه هم‌پتانسیل آبخوان قائم‌شهر - جویبار رسم شده و جهت جریان آب زیرزمینی، محل‌های تغذیه و تخلیه مشخص می‌گردد. به این منظور از داده‌های سطح ایستابی ۳۰ حلقه چاه پیزومتری موجود در دشت (جدول ۴-۱) استفاده شده و نقشه هم‌پتانسیل مربوط به شهریور ماه ۱۳۹۶ در شکل ۴-۱ ترسیم شده است. تراز سطح آب زیرزمینی از جنوب به سمت شمال کاهش یافته است، به طوری که بیشترین تراز سطح آب زیرزمینی در جنوب آبخوان برابر ۳۶ متر می‌باشد و کمترین تراز سطح آب در شمال آبخوان برابر ۲۱- متر می‌باشد. مطابق این نقشه جهت کلی جریان آب زیرزمینی از سمت جنوب شرقی به سمت شمال غربی آبخوان می‌باشد. منطقه تغذیه دشت به طور عمده مربوط به ارتفاعات سوادکوه و قائم‌شهر می‌باشد.

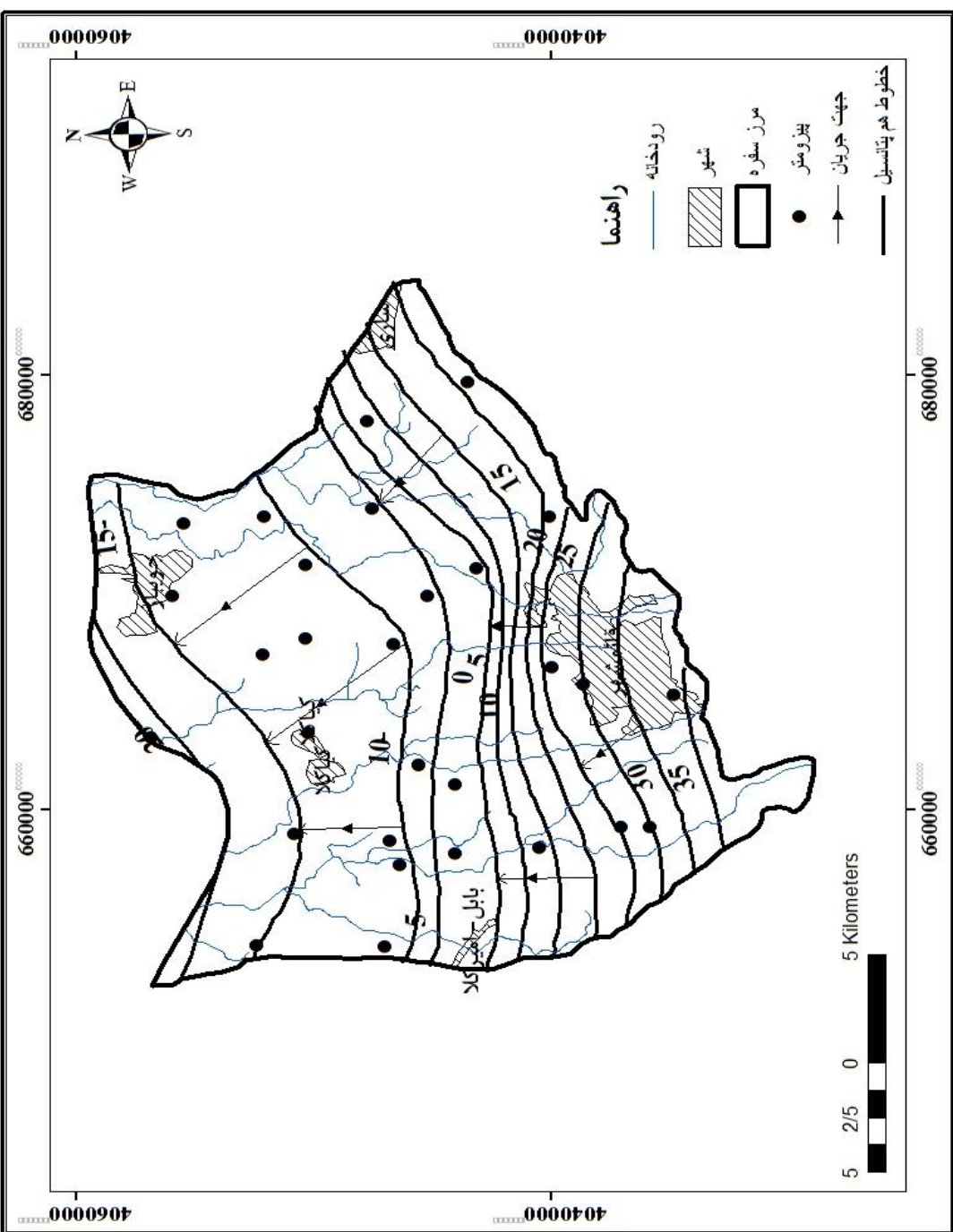
تخلیه آب زیرزمینی توسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در دشت و جریان آب زیرزمینی به خارج از آبخوان صورت می‌گیرد.

با استفاده از نقشه هم‌پتانسیل، اختلاف ارتفاع خطوط هم‌پتانسیل (ΔH) بر فاصله بین آن‌ها (ΔL) تقسیم شد و شیب (گرادیان) هیدرولیکی (i) محاسبه گردید. شیب هیدرولیکی در جنوب آبخوان حدود $3/3$ در هزار و در شمال حدود $1/5$ در هزار محاسبه گردید.

$$i = \Delta H / \Delta L$$

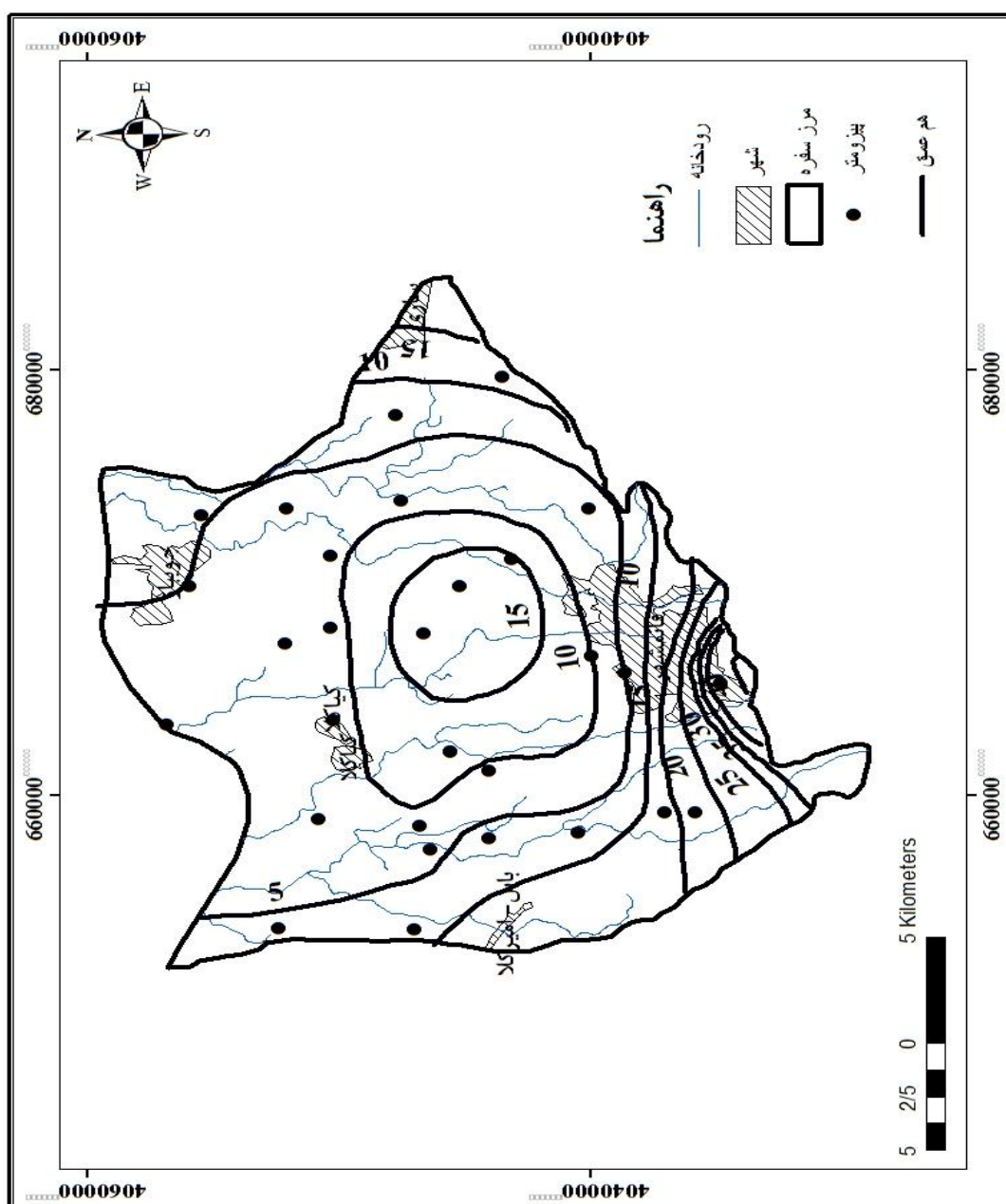
جدول ۴-۱- عمق و ارتفاع سطح ایستابی در شهریور ماه ۱۳۹۶ در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار

۱	نام پیزومتر	UTM X	UTM Y	ارتفاع نقطه نشانه (متر)	عمق سطح آب (متر)	ارتفاع سطح ایستابی از سطح مینا (متر)
۲	عمیق محمود آباد بابل	653703	4047043	-5.29	8.03	-13.32
۳	بیشه سرنی کلا	653761	4052459	-12.85	2.67	-15.52
۴	مودنی گله	657432	4046414	-5.72	6.1	-11.82
۵	عمیق نقیب کلا	657954	4044102	-0.37	3.2	-3.57
۶	پشت سیم	658217	4040562	9.66	7.3	2.36
۷	عمیق اگر تیج کلا	658579	4046857	-5.6	9.15	-14.75
۸	ملاکلا	658890	4050856	-9.01	6.1	-15.11
۹	عمیق قراخیل	659193	4037115	32.56	13	19.56
۱۰	قراخیل	659214	4035881	41.31	18.7	22.61
۱۱	آهنگر کلا تالارپی	661146	4044112	7.28	9.28	-1.99
۱۲	عمیق سمنا کلا	662025	4045628	1.95	8.5	-6.55
۱۳	سمناکلا	662030	4045643	1.76	10.1	-8.33
۱۴	اسماعیل کلای بزرگ	663321	4056923	-15.83	5.3	-21.13
۱۵	عمیق سوخته آبنندان	663536	4050288	-8.03	5.4	-13.43
۱۶	امور آب قائم شهر	665263	4034891	71.35	37	34.35
۱۷	کوچک سرا	665781	4038720	43.47	6.8	36.67
۱۸	عمیق هردورود	666540	4040025	32.02	10	22.02
۱۹	فونم سفلی	667127	4052189	-8.3	5.1	-13.40
۲۰	عمیق لاله زار کتی	667603	4046702	1.67	16.2	-14.53
۲۱	عمیق کله بن	667861	4050414	-5.43	8.5	-13.93
۲۲	قادی کلا نوکنده کاو	669847	4045248	8.77	6.3	2.47
۲۳	مخزن جویبار	669857	4056008	-8.09	4.65	-12.74
۲۴	عمیق لهمال	671120	4043185	12.85	15.4	-2.55
۲۵	سیدکلا	671285	4050421	-1.6	9.4	-11.00
۲۶	قادی محله	673150	4055541	-9.07	4.9	-13.97
۲۷	قادی کلا ارطه	673476	4040110	23.99	9.3	14.69
۲۸	عمیق مبارکلا	673499	4052128	-6.35	5.28	-11.63
۲۹	ماچک پشت	673844	4047580	-0.48	5.1	-5.58
۳۰	عمیق زرويجان	677901	4047796	6.5	3.72	2.78
۳۱	رودپشت	679689	4043590	31.79	13.16	18.63



شکل ۴-۱ موقعیت پیزومترها و نقشه هم پتانسیل آبخوان آبرفتی دشت قائم شهر - جویبار در شهریور ۱۳۹۶

جهت بررسی تغییرات عمق آب زیرزمینی، نقشه هم‌عمق آبخوان در شکل ۲-۴ ترسیم شده است. عمق آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جویبار از حدود ۳۵ متر در جنوب به کمتر از ۵ متر در شمال آبخوان کاهش می‌یابد. کاهش سطح آب زیرزمینی در شمال آبخوان که بیانگر نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین می‌باشد، می‌تواند سبب بروز پدیده تبخیر از آب زیرزمینی در این بخش از آبخوان گردد.



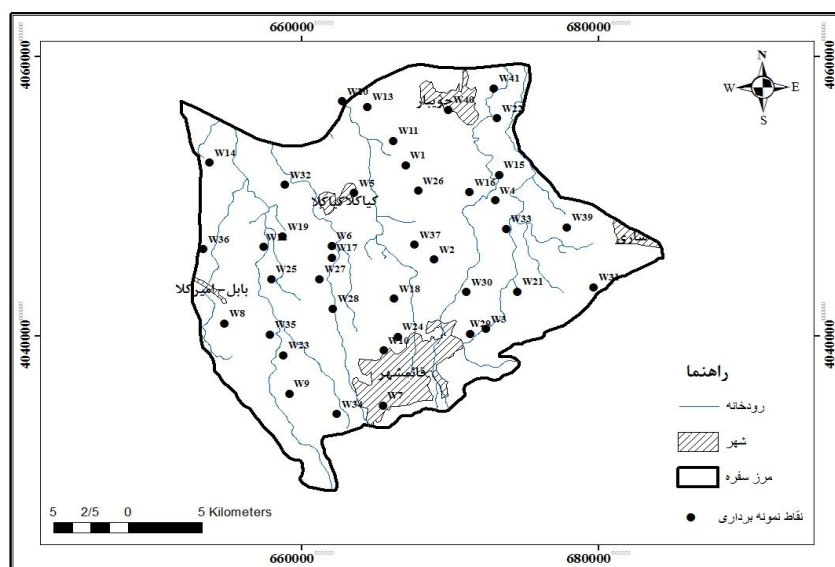
شکل ۲-۴. نقشه هم‌عمق آبخوان آبرفتی دشت قائمشهر - جویبار در شهریور ۱۳۹۶

۳-۴- بررسی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم -

شهر - جویبار

کیفیت آب زیرزمینی حاصل تمامی فرایندهایی است که از زمان تشکیل و تراکم آب در اتمسفر، تا زمانی که توسط چاه، قنات و یا چشمه از زیرزمین خارج می‌شود، بر روی آن عمل کرده است. این فاصله زمانی متغیر بوده و ممکن است کمتر از یک روز یا صدها سال طول بکشد (ندری ۱۳۹۵). در سفره‌های بزرگ در اثر حرکت آب در سفره، ترکیب ژئوشیمیایی از بی‌کربناته به سولفات سپس کلروره تغییر می‌یابد. به‌منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار از نتایج آنالیز آب زیرزمینی در ۴۰ حلقه چاه نمونه‌برداری در خرداد ماه سال ۱۳۹۸ استفاده شده است. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل ۳-۴ و نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده در جدول ۲-۴ نشان داده شده است.

پارامترهای اندازه‌گیری شامل پارامتر pH، EC و یون‌های اصلی (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}) و یون‌های فرعی (HCO_3^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , F^-) می‌باشد.



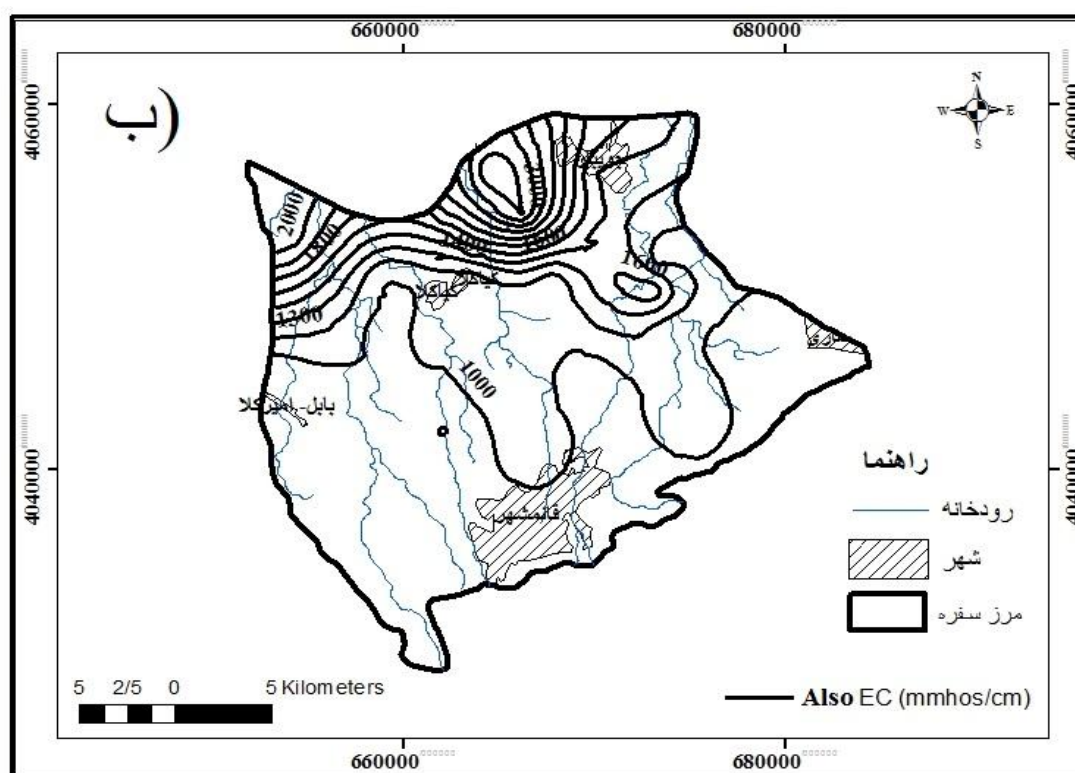
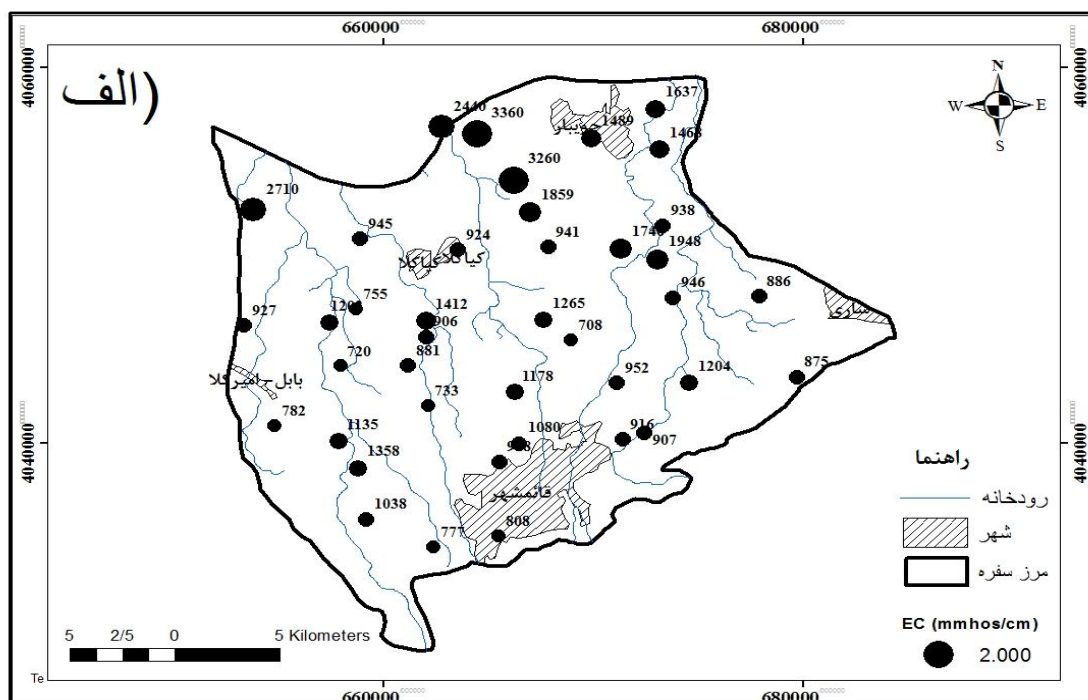
شکل ۳-۴- موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار

جدول ۴-۲- مقادیر پارامترهای کیفی در نمونه‌های برداشت شده از آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار

نام نمونه	مختصات جغرافیایی		EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)							آنیون‌های فرعی (mg/l)		
	UTM X	UTM Y			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻
W1	667012	4052256	1859	7.29	5.39	0.05	6	10	8.5	7.1	3.37	5	-	0.2
W2	668935	4045506	708	7.23	2.54	0.05	2.8	1.91	4	1.8	1.2	1	-	0.2
W3	672430	4040540	907	7.38	1.36	0.02	4.4	3	5.5	2.5	1.6	1	-	1
W4	673054	4049747	1948	7.36	11.04	0.05	3.7	5	7.1	10.4	1.94	1	-	0.4
W5	663540	4050280	924	7.31	1.26	0.03	5.75	2.87	5	2.6	1.85	4	2	1
W6	662031	4046484	1412	7.23	3.6	0.11	6.7	4.5	7.5	4	2.75	24	4.5	0.3
W7	665480	4035058	808	7.45	1.06	0.03	4.3	2.25	4.9	1.9	1.52	2	-	0.2
W8	654805	4040930	782	7.63	1.43	0.03	3.9	2.45	3.2	2.3	1.5	5.6	5	1
W9	659175	4035912	1038	7.45	1.47	0.03	6.3	3.16	4.9	3.6	1.94	2	13	-
W10	665517	4039008	968	7.31	1.34	0.05	4.75	3.41	5.4	2.2	1.87	13	0.1	0.5
W11	6662200	4054000	3260	7.5	18.08	0.27	6.34	13.5	6	23.2	3.54	7	-	0.8
W12	657422	4046420	1202	7.32	2.97	0.11	5.56	3.86	6	3.6	2.64	7	-	0.7
W13	664443	4056436	3360	7.51	27.21	0.66	5.7	10.91	5	32.4	2.66	26	3.6	4
W14	653802	4052438	2710	7.24	13.56	0.05	7	5.2	6.5	13.2	2.62	2	-	1
W15	673299	4051572	938	7.92	2.93	0.03	2.95	2.33	4.5	4.1	1.25	1	-	0.7
W16	671318	4050324	1746	7.3	3.63	0.05	5.35	9.1	6	9.9	1.68	7	4.3	0.3
W17	662023	4045640	906	7.75	1.26	0.03	4.6	2.58	4	2.2	2.4	4.5	9.2	1
W18	666249	4042706	1178	7.32	1.66	0.12	6.35	3.41	5.5	2.7	2.87	1.8	7	0.2
W19	658710	4047150	755	7.8	2.73	0.03	2.62	1.83	4.4	2.4	0.85	2.2	-	1
W20	662752	4056847	2440	7.68	16.17	0.03	3.3	4.75	8	12.5	3.23	2.4	-	1
W21	674564	4043205	1204	7.3	2.95	0.02	5.97	3.25	3.3	7.5	1.39	7.6	7	-
W22	673163	4055613	1468	7.34	3.47	0.18	3.8	7.91	6	5.5	2.19	-	-	-
W23	658793	4038666	1358	7.11	1.6	0.03	9	4.08	5.5	3.8	3.54	1	10	-
W24	666474	4039971	1080	7.25	1.58	0.03	6.02	3.08	5.5	3.1	2.08	2	13	-
W25	657954	4044114	720	7.88	1.65	0.03	3.35	2.12	4	2.5	1.2	1	-	1
W26	667852	4050427	941	7.56	1.26	0.02	5	2.7	4.9	2.5	1.77	6.7	-	1
W27	661186	4044112	881	7.72	1.3	0.04	5.45	2.66	3.5	3.1	2.25	12	2	-
W28	662120	4041994	733	7.96	1.65	0.03	3.25	2.08	3.5	2.9	1.06	3	-	-
W29	671380	4040195	916	7.26	1.6	0.03	4.72	3	4.1	3.8	1.37	6	-	-
W30	671116	4043185	952	7.34	1.86	0.03	5.05	2.5	4.5	4.3	1.54	2	-	1
W31	679680	4043520	875	7.45	1.06	0.01	5.1	2.16	4.7	2.3	1.42	5.4	-	0.5
W32	658889	4050851	945	7.69	1.36	0.04	5.33	3.02	4.8	2.8	1.68	6.2	-	0.3
W33	673780	4047710	946	7.42	1.65	0.02	4.6	2.79	5.5	3	1.56	4	-	0.7
W34	662393	4034456	777	7.5	1.1	0.02	3.92	2.69	4.5	2.2	1.25	5	-	1
W35	657885	4040126	1135	7.22	2.28	0.05	5.8	4.41	5.5	3	2.87	1	-	0.5
W36	653368	4046246	927	7.27	1.95	0.02	4.75	3.33	5	3	1.66	-	-	0.2
W37	667609	4046564	1265	7.54	6.73	0.03	3.4	2.16	5.5	4.5	2.43	-	-	-
W39	677894	4047805	886	7.84	1.13	0.02	5.25	2.33	3.5	2.5	2.25	1	-	1
W40	669907	4056220	1489	7.29	2.3	0.05	5.95	9.16	6.4	5.4	3.02	-	-	-
W41	672956	4057769	1637	7.49	5.91	0.02	4.15	5.58	3.5	11.7	1.92	-	-	-

۴-۳-۱- هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity, EC) رسانایی الکتریکی یک محلول را تعیین می‌کند. هر چه غلظت نمک‌های محلول در آب افزایش یابد، هدایت الکتریکی آب افزایش می‌یابد. عوامل مختلفی بر میزان قابلیت هدایت الکتریکی اثر می‌گذارند که از آن جمله می‌توان به لیتولوژی و خصوصیات سنگ شناسی منطقه، میزان بارش منطقه، میزان شیب منطقه، خصوصیات آب تغذیه‌ای و سرعت حرکت آب‌های زیرزمینی اشاره نمود (Todd & Mays, 2005). شکل (۴-۴) تغییرات مکانی و نقشه هم‌ارزش هدایت الکتریکی آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی از ۷۰۸ تا ۳۳۶۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. میانگین هدایت الکتریکی آبخوان ۱۲۷۴ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به اینکه مسیر حرکت آب زیرزمینی از جنوب دشت به سمت شمال می‌باشد، مقادیر هدایت الکتریکی در منطقه جنوبی کم بوده و با حرکت آب زیرزمینی به سمت شمال دشت و محل تخلیه آبخوان جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. همچنین برداشت زیاد آب از آبخوان در مجاورت دریا باعث هجوم احتمالی آب شور به آبخوان شده است و میزان هدایت الکتریکی در بخش شمالی آبخوان افزایش یافته است. نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نیز احتمالاً باعث تبخیر شده و یکی از دلایل افزایش EC در این منطقه می‌باشد. قسمت جنوبی دشت به دلیل اینکه محل جریان ورودی و تغذیه آبخوان می‌باشد، دارای کمترین هدایت الکتریکی می‌باشد. تغذیه آبخوان در بخش جنوبی از ارتفاعات البرز بالاتر از شهرهای سوادکوه و قائم‌شهر صورت می‌گیرد. در قسمت‌هایی از بخش مرکزی آبخوان میزان هدایت الکتریکی افزایش یافته است. احتمالاً آب برگشتی کشاورزی به دلیل شدت فعالیت‌های کشاورزی در این بخش - ها و تغذیه احتمالی از ورود فاضلاب به آبخوان سبب افزایش هدایت الکتریکی در این منطقه از آبخوان شده است.



شکل ۴-۴- تغییرات مکانی هدایت الکتریکی (الف) و نقشه هم هدایت الکتریکی (ب) آبخوان آبرفتی دشت قائم شهر - جویبار

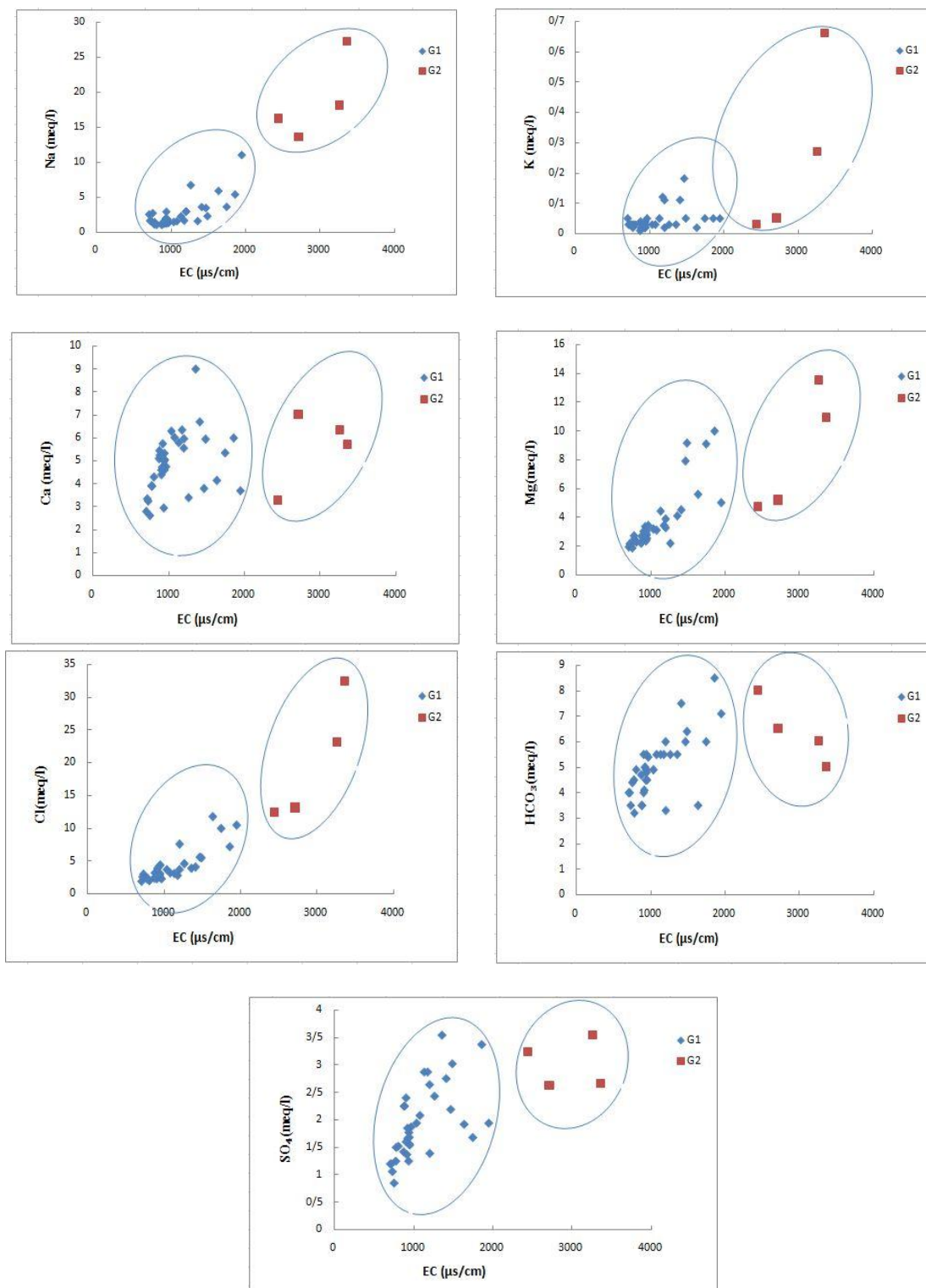
برای تعیین ارتباط هدایت الکتریکی با سایر یون‌ها نمودار تغییرات یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بی کربنات، سولفات و کلر در برابر هدایت الکتریکی رسم شده است (شکل ۴-۵). با توجه به تغییرات مکانی هدایت الکتریکی که قبلاً بحث گردید، علاوه بر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی، فرایند نفوذ آب شور آبخوان ساحلی و تبخیر احتمالاً در تغییرات شیمی آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار موثر بوده است. بر این اساس نمونه‌های آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت قائم-شهر - جویبار به دو گروه تقسیم شده است:

گروه یک (G1): که در برگیرنده نمونه‌های با هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی-متر می‌باشد. این نمونه‌ها با توجه به فاصله بیشتر از دریا و عمق بیشتر سطح آب زیرزمینی کمتر تحت تأثیر نفوذ آبخوان ساحلی و تبخیر قرار گرفته‌اند و عمدتاً رفتار شیمیایی آن‌ها متأثر از فرایندهای هیدروژئوشیمیایی غالب در آبخوان می‌باشد.

گروه دو (G2): دربردارنده نمونه‌های با هدایت الکتریکی بیشتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی-متر بوده که به دلیل برداشت‌های بی‌رویه آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی تحت تأثیر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی قرار گرفته است. همچنین احتمالاً فرایند تبخیر به جهت کاهش عمق سطح ایستابی در شوری منابع آب زیرزمینی در این منطقه تأثیرگذار بوده است.

متوسط مقادیر یون‌ها و هدایت الکتریکی در هر یک از گروه‌ها و نسبت تغییرات آن‌ها در جدول (۴-۳) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط هدایت الکتریکی در گروه دو ۳۰۳۵ میکروموس بر سانتی-متر بوده که بیشتر از دوبرابر متوسط هدایت الکتریکی نمونه‌های گروه اول (۱۲۰۹ میکروموس بر سانتی-متر) می‌باشد. در بین یون‌های مورد بررسی یون‌های سدیم، کلر و پتاسیم بیشترین افزایش را در گروه دوم نشان می‌دهد که این موضوع تأثیر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی در نواحی ساحلی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی را اثبات می‌نماید. توزیع نمونه‌های مربوط به گروه‌های یک و دو (شکل ۴-۶) نیز بیانگر قرارگیری نمونه‌های گروه دوم در مجاورت مرز شمالی آبخوان بوده

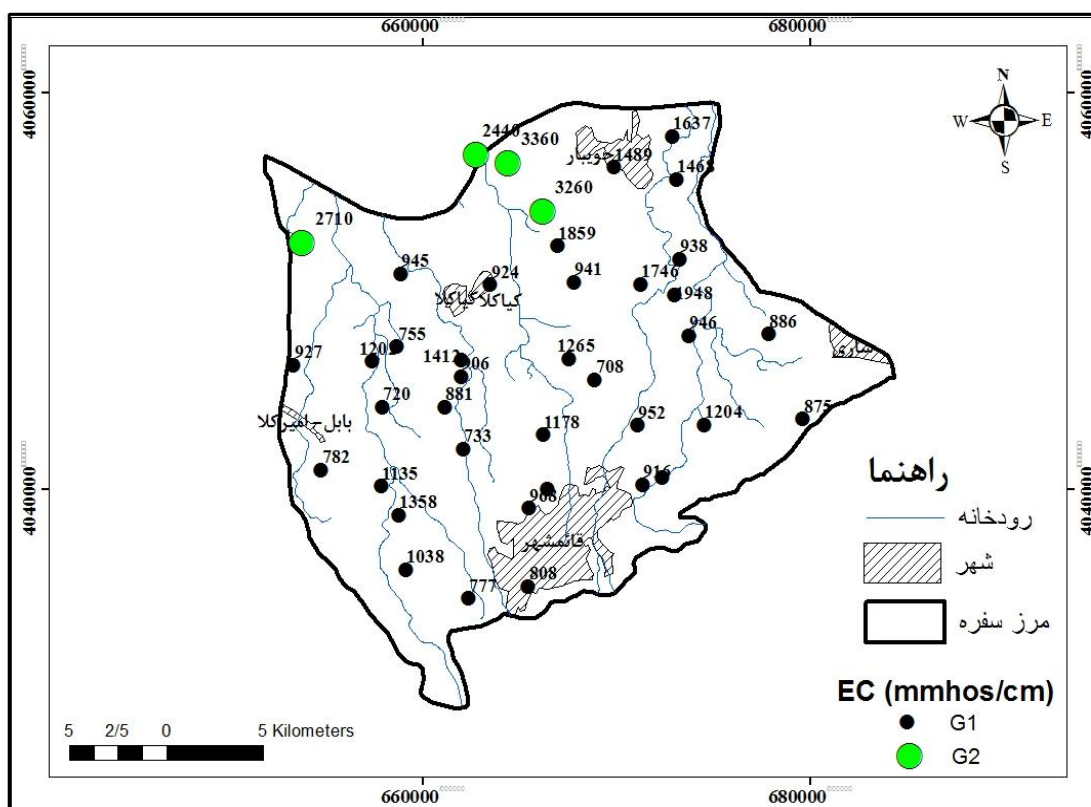
که تأییدی بر تأثیر نفوذ آب‌های شور ساحلی در کیفیت آب زیرزمینی در مناطق شمالی آبخوان می- باشد.



شکل ۴-۵- ارتباط بین یون‌ها و هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار

جدول ۳-۴- نسبت بین یون‌ها و هدایت الکتریکی در نمونه‌های گروه یک ($EC < 2000 \mu s/cm$) و نمونه‌های گروه دو ($EC > 2000 \mu s/cm$) در آبخوان آب‌رفتی قائم‌شهر - جویبار

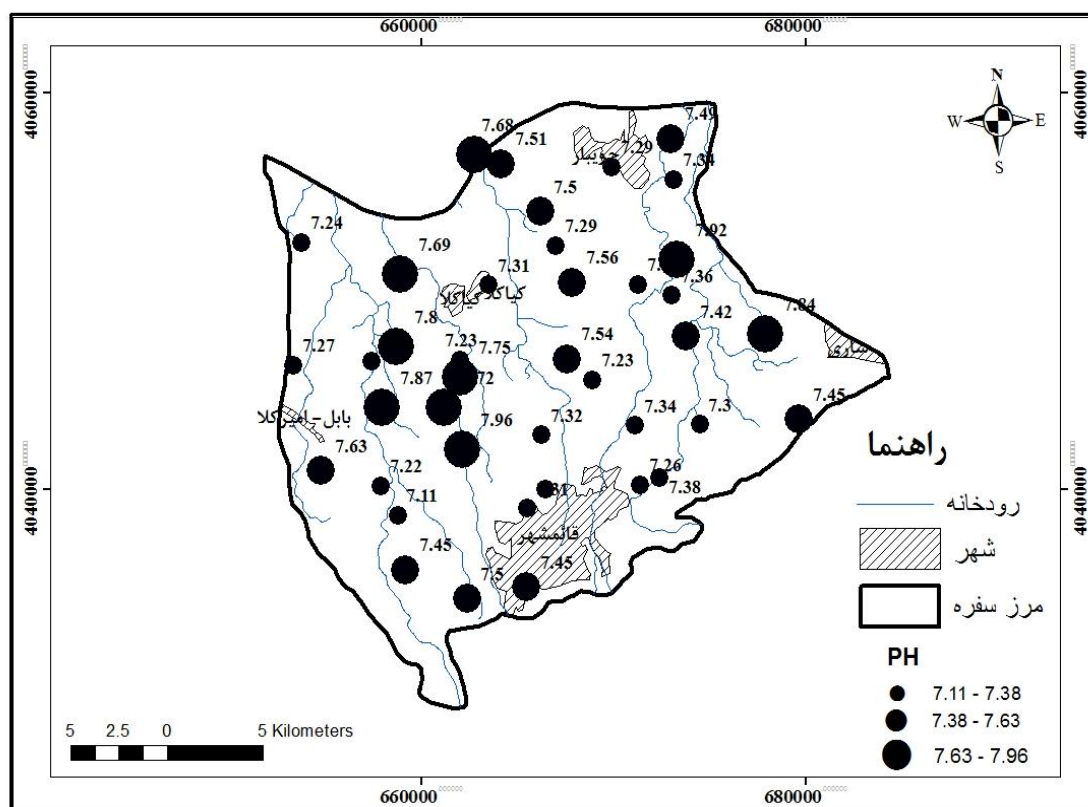
نسبت پارامترها در گروه دو به گروه یک (G_2/G_1)	گروه دو (G_2)	گروه یک (G_1)	پارامتر
2.5	3035	1209.5	EC
5.55	20.38	3.67	Na
3.25	22.8	7	Cl
1.54	2.64	1.71	SO ₄
2.06	6.5	3.15	HCO ₃
14.2	0.35	0.02	K
1.57	6.35	4.02	Ca
2	8.05	4.01	Mg



شکل ۴-۶- موقعیت نمونه‌های مربوط به گروه یک (G_1) و دو (G_2) در آبخوان آب‌رفتی دشت قائم‌شهر - جویبار

۴-۳-۲ pH

پارامتر pH یک کمیت لگاریتمی است. که میزان اسیدی یا بازی بودن محلول را مشخص می‌کند. pH برابر منفی لگاریتم مبنای ۱۰ غلظت مولی یون هیدروژن فعال در محلول است. بر اساس استاندارد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقدار مطلوب pH برای مصارف شرب بین ۷/۵ تا ۸ و حداکثر مجاز pH برای آب شرب ۹/۲ است. آب‌های طبیعی معمولاً دارای pH بین ۶ تا ۹ می‌باشند. عوامل موثر بر میزان pH میزان دی‌اکسید کربن محلول در آب، مقدار آنیون‌های بی‌کربنات و کربنات و درجه حرارت آب می‌باشد. در آبخوان قائمشهر - جویبار مقادیر pH از ۷ تا ۸ تغییر می‌کند. کمترین مقدار pH مربوط به نمونه W23 به مقدار ۷/۱۱ و بیشترین مقدار مربوط به نمونه W28 به میزان ۷/۹۶ بوده و میانگین pH آب‌های زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت قائمشهر - جویبار حدود ۷/۴۱ است. نقشه تغییرات pH در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که نمونه‌های واقع در شرق آبخوان از مقادیر بالاتر pH برخوردار می‌باشند. با توجه به مسیر رودخانه‌های اصلی و جهت جریان آب زیرزمینی که قبلاً بحث گردید، احتمالاً تفاوت در منشأ تغذیه آبخوان آبرفتی، دلیل تغییرات و افزایش میزان pH در بخش غربی آبخوان می‌باشد. نمونه‌های واقع در بخش‌های جنوب و جنوب شرقی آبخوان pH کمتری داشته و مقادیر pH آن‌ها به جز چند نمونه اکثراً کمتر از ۷/۳ می‌باشد. با توجه به فعالیت‌های کشاورزی که در این بخش از آبخوان رایج بوده و با شدت زیادی انجام می‌شود، به نظر می‌رسد تغذیه آبخوان با آب برگشتی کشاورزی سبب کاهش pH شده باشد. همچنین در این بخش از آبخوان منطقه شهری قائمشهر واقع شده است که با توجه به عمق کم سطح آب زیرزمینی، آبخوان در این بخش می‌تواند تحت تأثیر فاضلاب شهری قرار گرفته باشد. آب‌های برگشتی کشاورزی به دلیل پدیده نیتریفیکیشن و فاضلاب شهری به دلیل وجود مواد آلی سبب کاهش مقدار pH در منابع آب زیرزمینی می‌شوند.



شکل ۴-۷- نقشه تغییرات میزان pH در آبخوان آبرفتی قائمشهر - جوبار

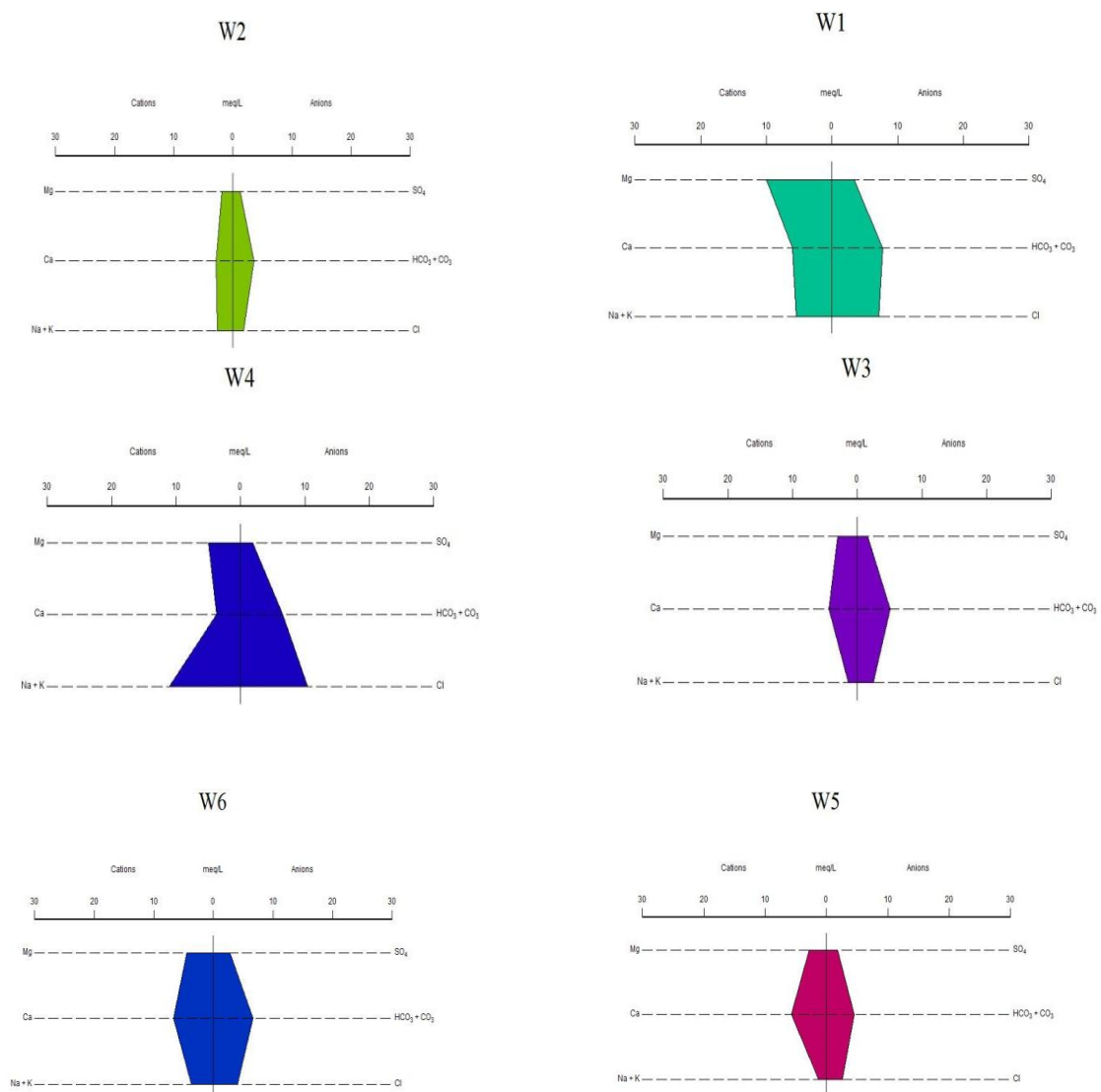
۳-۳-۴- نمودارهای کیفی آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جوبار

برای تفسیر داده‌های شیمیایی آبخوان آبرفتی دشت قائمشهر - جوبار و تعیین تیپ آب از نمودارهای استیف، شولر و پایپر استفاده شده است.

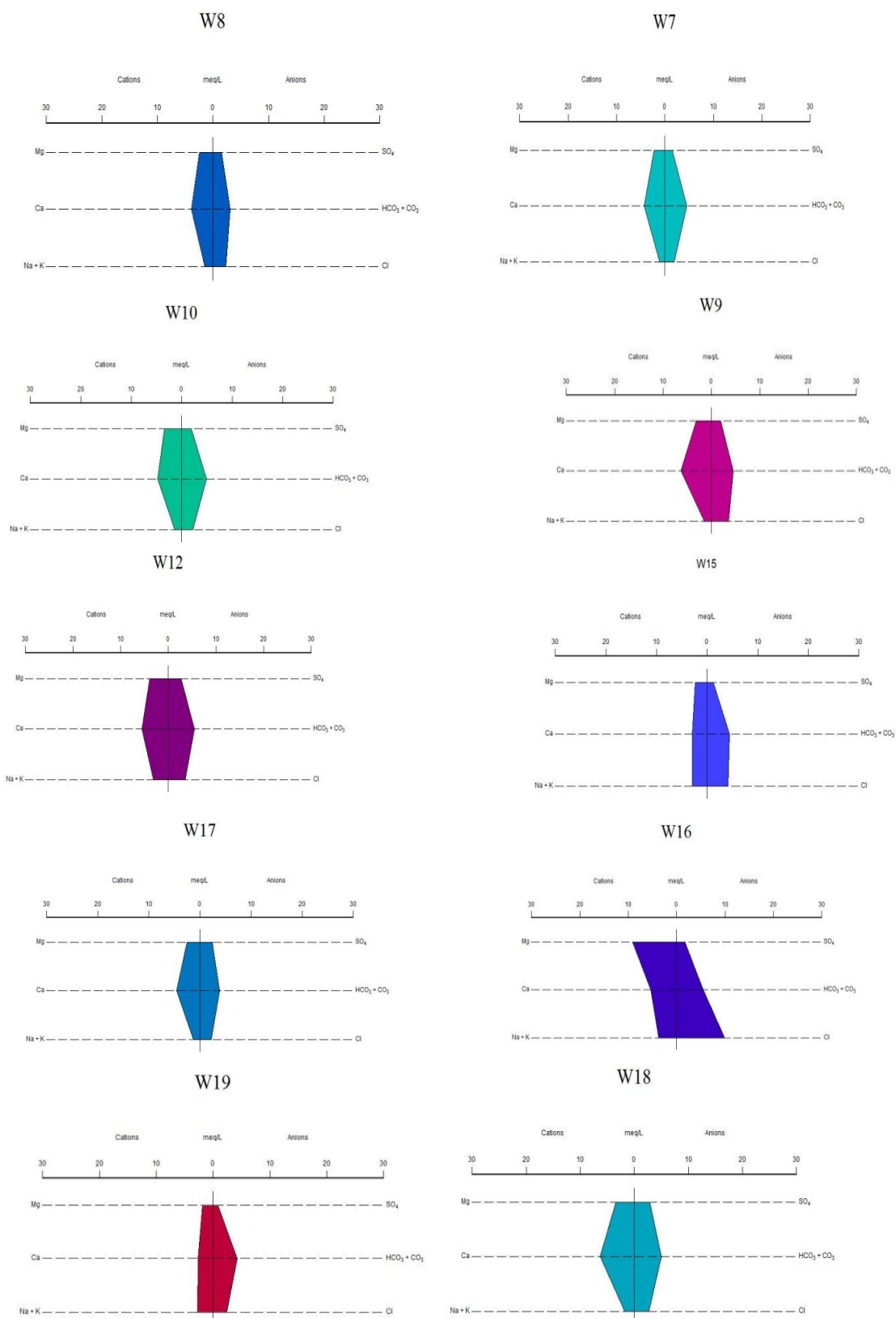
الف - نمودار استیف

نمودار استیف دارای چهار محور افقی و موازی بوده که در دو طرف یک محور صفر عمودی گسترش یافته‌اند. به صورت کلاسیک، جفت‌های یونی شامل سدیم - کلراید، کلسیم - بی‌کربنات، منیزیم - سولفات و آهن - کربنات بوده که معمولاً آخری خط آن کوچک است یا وجود ندارد. این نمودار برای یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی والان بر لیتر رسم می‌گردد و اندازه شکل چند ضلعی رسم‌شده

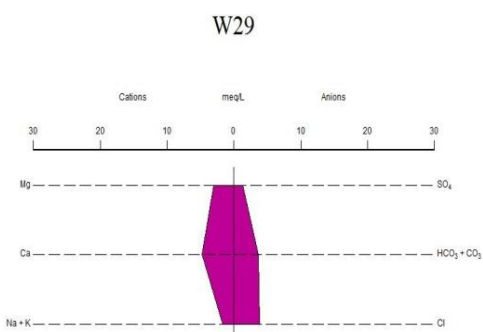
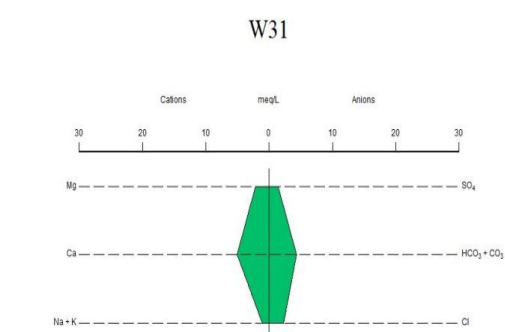
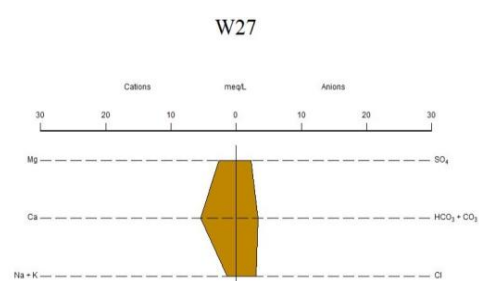
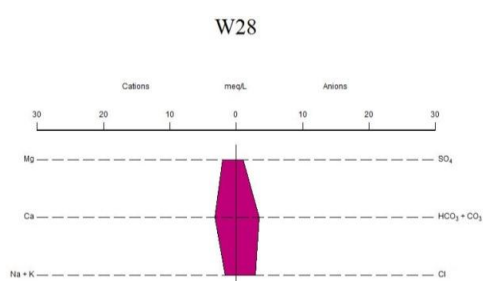
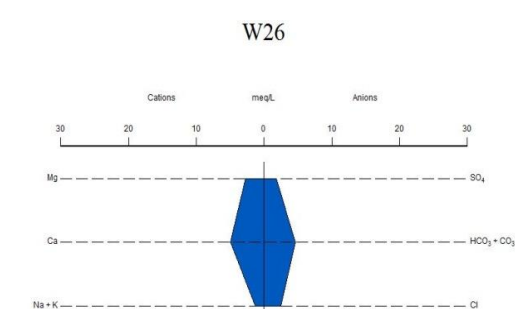
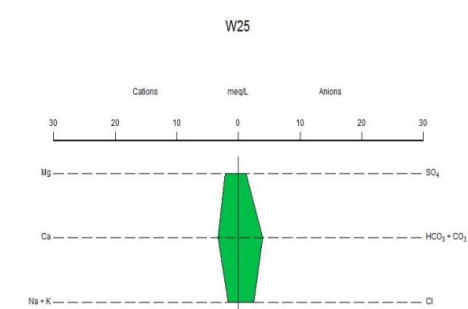
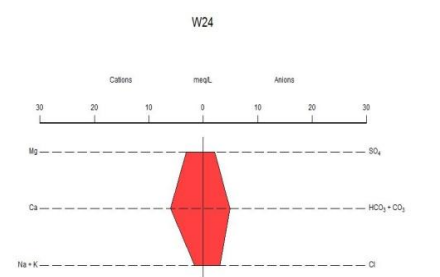
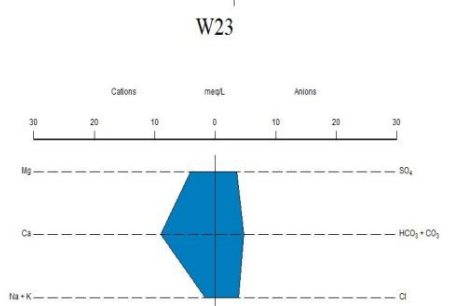
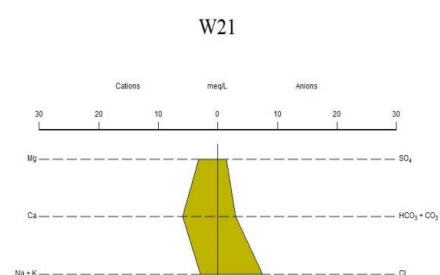
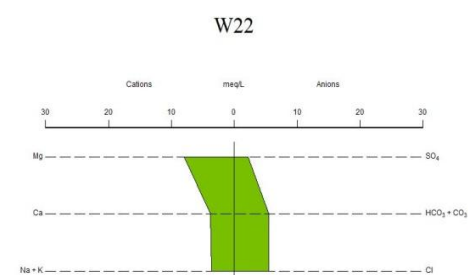
نشان‌دهنده کیفیت کلی آب است. همان طور که در شکل (۴-۸ و ۴-۹) نشان داده شده است، بیشتر نمونه‌های گروه اول شکل مشابهی داشته و غلبه نسبی یون‌های بی‌کربنات و کلسیم که نشان‌دهنده منشأ آهکی آن‌ها می‌باشد، دیده می‌شود. در نمونه‌های گروه دوم مربوط به شمال آبخوان، غلبه یون-های سدیم و کلر مشهود بوده که بیانگر تأثیر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی در این بخش از آبخوان می‌باشد. میانگین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در گروه دو نسبت به نمونه‌های گروه یک بیشتر بوده و بنابراین اندازه چند ضلعی‌ها در نمونه‌های گروه دو بزرگتر می‌باشد



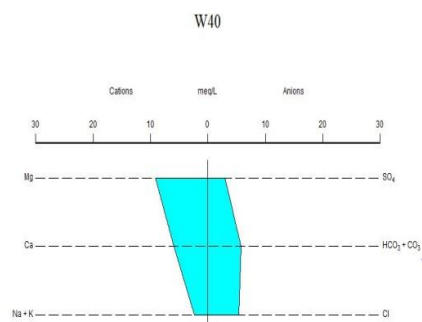
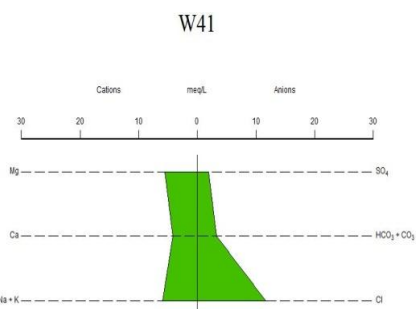
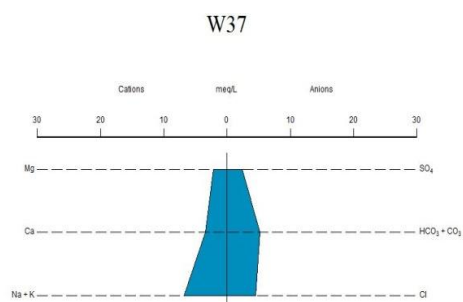
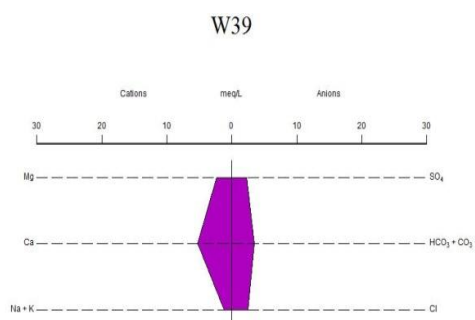
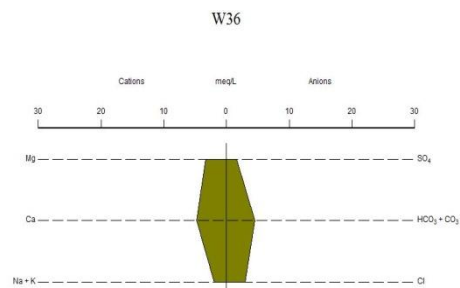
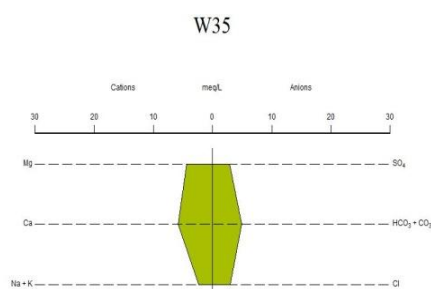
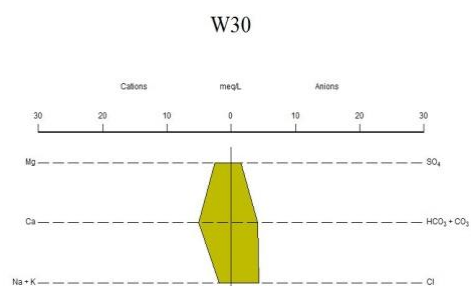
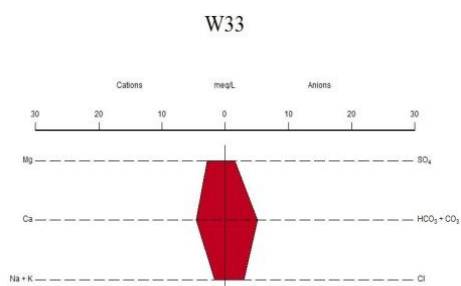
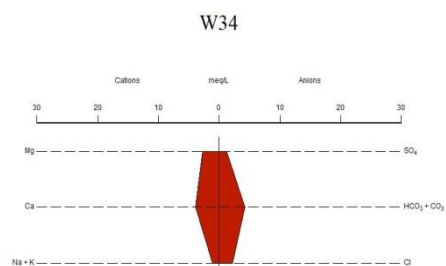
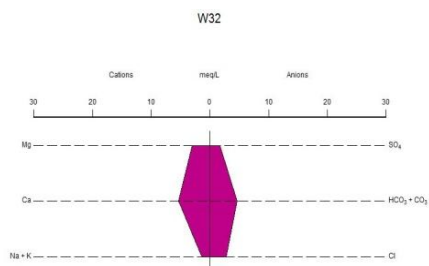
شکل ۴-۸ - نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه یک)



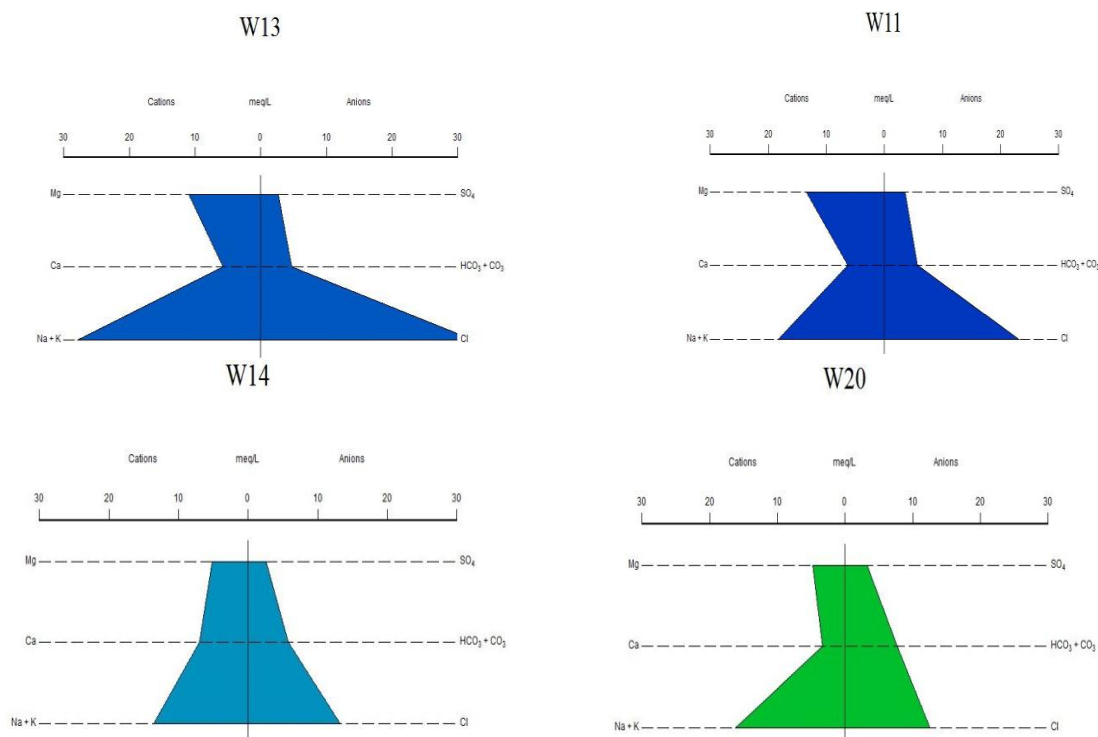
شکل ۴-۸ (ادامه) - نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه یک)



شکل ۴-۸ (ادامه)- نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه یک)



شکل ۸-۴ (ادامه) - نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائمشهر - جویبار (گروه یک)

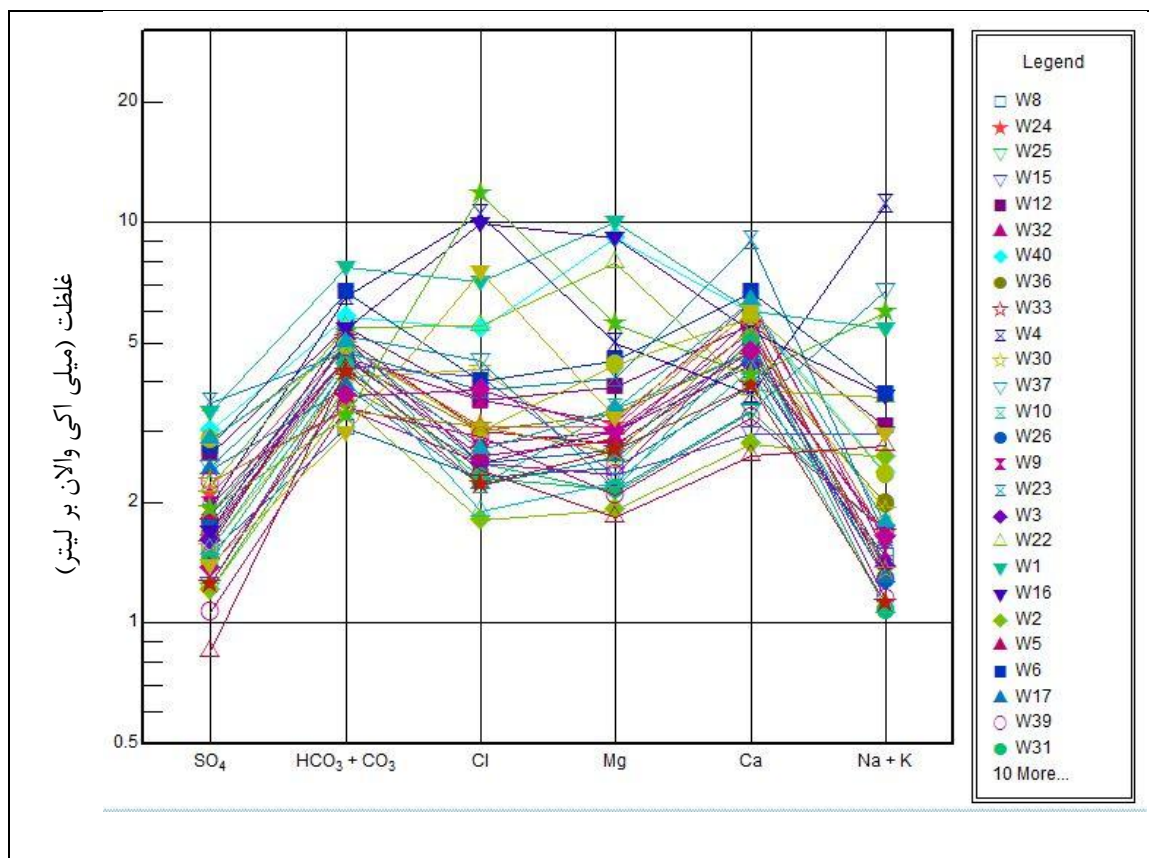


شکل ۴-۹- نمودار استیف نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه دو)

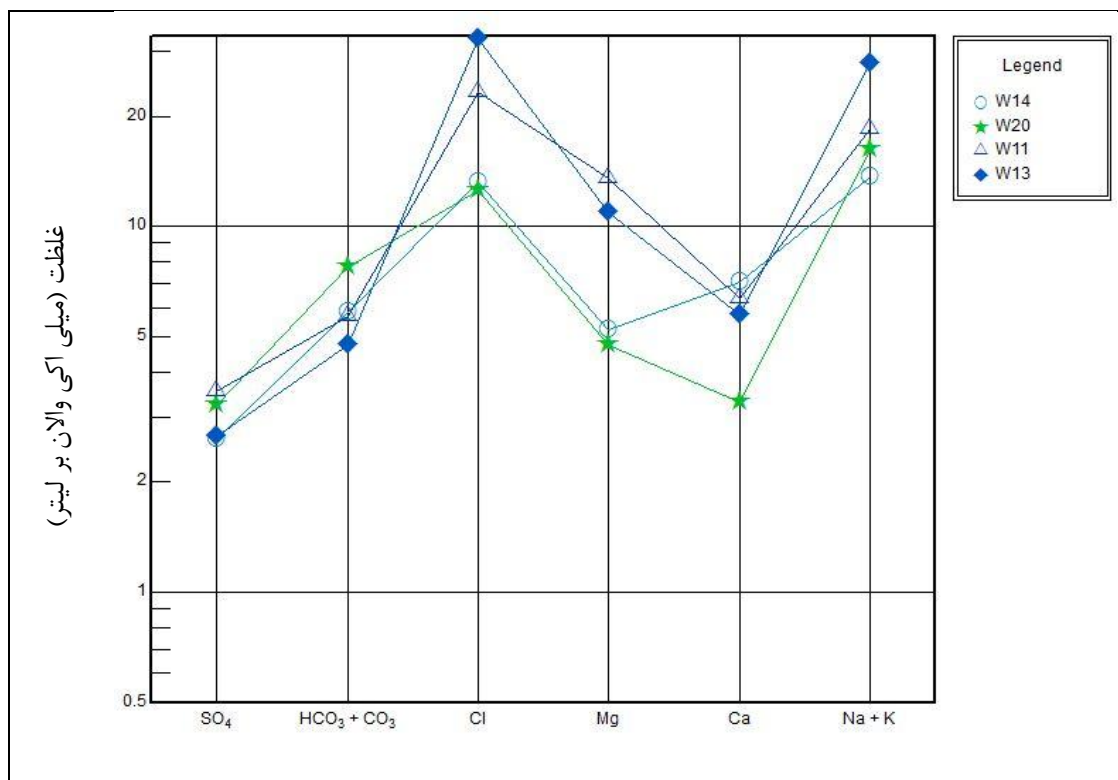
ب- نمودار شولر

نمودار شولر از نظر سرعت عمل، سهولت مقایسه و نشان دادن تعداد زیادی نمونه به صورت یکجا مناسب می‌باشد. یون‌های اصلی کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر و بی‌کربنات بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر در محور افقی نمودار قرار دارند و محور عمودی لگاریتمی می‌باشد. نمودار شولر مربوط به نمونه‌های آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه در شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نشان داده شده است. مطابق دیاگرام شولر اغلب نمونه‌های گروه یک (G_1)، به صورت خطوط موازی هم ترسیم شده که این موضوع نشان‌دهنده نسبت‌های یونی یکسان در این نمونه‌ها بوده و تأییدی بر مشابه بودن فرایندهای شیمیایی حاکم بر کیفیت آبخوان در بخش‌های مختلف می‌باشد. تعدادی از نمونه‌های گروه یک از روند عمومی تبعیت نمی‌کند، که این موضوع تأثیر سایر فرایندها بر کیفیت آن‌ها را نشان می‌دهد. در

مجموع غلبه نسبی بی‌کربنات و کلسیم و بنابراین منشأ آهکی در گروه یک مشاهده می‌شود. تمامی نمونه‌های گروه دو (G₂) روند مشابه داشته و بنابراین نسبت‌های یونی یکسانی دارند. غلبه یون‌های کلر و سدیم در این گروه نشان‌دهنده، تأثیر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی در کیفیت این منابع می‌باشد.



شکل ۴-۱۰- نمودار شولر و بررسی نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه یک)

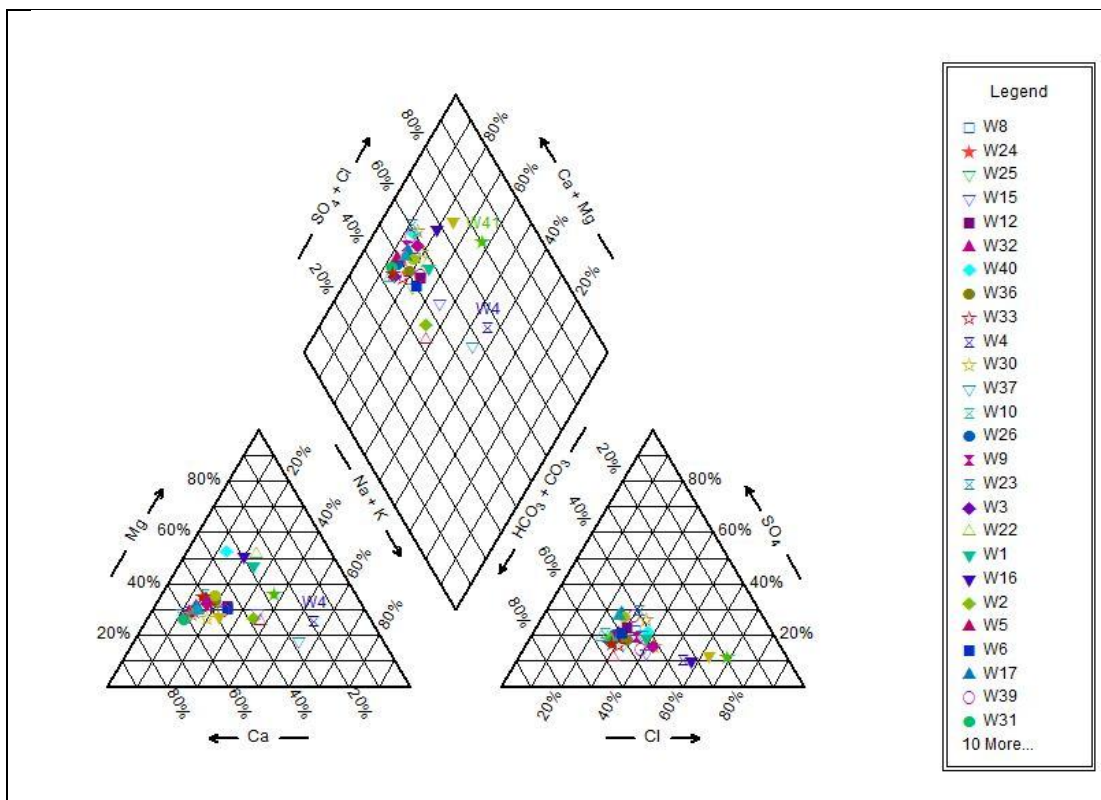


شکل ۴-۱۱- نمودار شولر و بررسی نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائمشهر - جویبار (گروه دو)

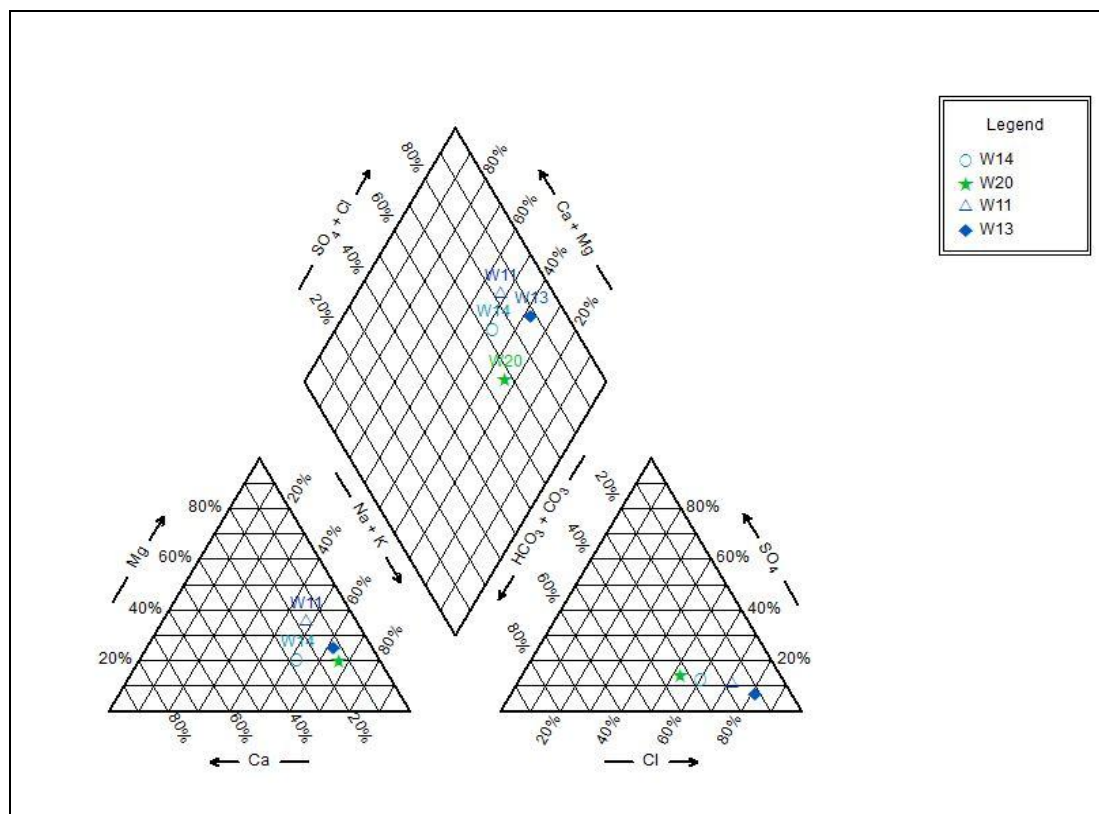
ج- نمودار پایپر

دیاگرام پایپر، ترکیبی از مثلث‌های کاتیونی و آنیونی است که روی یک قاعده مشترک قرار گرفته‌اند. یک لوزی بین این دو مثلث قرار گرفته که برای رسم دوباره آنالیزها استفاده می‌شود. درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها را در میدان‌های مثلثی و موقعیت ترکیبی آن‌ها را در میدان لوزی شکل پیاده می‌کنند. در نمودار پایپر می‌توان تعداد زیادی نمونه را نشان داد. این نمودار از نظر تعبیر و تفسیر نتایج هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب سودمند است. نمودار پایپر مربوط به نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان قائمشهر - جویبار در شکل‌های (۴-۱۲ و ۴-۱۳) نشان داده شده است. در گروه یک نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان قائمشهر - جویبار، نقاط در بخش سمت چپ نمودار قرار گرفته که نشان دهنده غلبه نسبی کاتیون کلسیم و آنیون بی‌کربنات و بنابراین تیپ بی‌کربناته - کلسیک می‌باشد. این موضوع با توجه به منشأ تغذیه آبخوان از سازندهای کربناته ارتفاعات دامنه شمالی البرز

قابل توجه می‌باشد. نمونه‌های گروه دوم در سمت راست نمودار در قسمت شورابه‌ها قرار گرفته‌اند و تیپ آب کلروره - سدیک آن‌ها ناشی از نفوذ آب شور آبخوان ساحلی می‌باشد. تعدادی از نمونه‌های گروه یک در فاصله نزدیکتر به نمونه‌های گروه دو قرار می‌گیرند که این موضوع اختلاط (mixing) بین نمونه‌های گروه یک و دو را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲ نمودار پایپر و موقعیت نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه یک)



شکل ۴-۱۳- نمودار پایپر و موقعیت نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار (گروه دو)

۴-۳-۴- تغییرات مکانی یون‌های اصلی

با توجه به غلبه نسبی کاتیون کلسیم و آنیون بی‌کربنات در آبخوان قائم‌شهر - جویبار، تغییرات مکانی آن‌ها در ادامه به صورت مجزا بحث شده است. همچنین به‌منظور بررسی ارتباط تغییرات این یون‌ها با یون‌های دیگر تغییرات مکانی سایر یون‌ها نیز در ادامه ارائه می‌گردد.

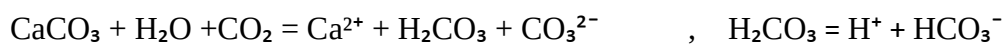
الف - تغییرات مکانی کاتیون کلسیم

سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر غلظت مطلوب کلسیم را ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (معادل ۳/۷۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و حداکثر غلظت مجاز برای شرب را ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر (معادل ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) اعلام نموده است. منبع کلسیم در آب زیرزمینی انحلال سنگ‌های آهکی، دولومیتی

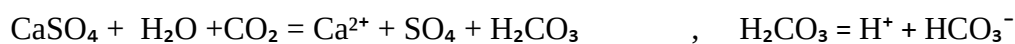
و سنگ گچ می‌باشد. میزان کلسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه از ۲/۶۲ تا ۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بوده و میانگین غلظت آن ۵/۱۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. همان‌طور که شکل ۴-۱۴ نشان می‌دهد، میزان کلسیم در نمونه‌های برداشت شده از مناطق ساحلی و مجاور رودخانه‌ها بیشتر می‌باشد. این افزایش کلسیم ناشی از سازند گچ‌دار و مارنی الیگومیوسن در منطقه و ورود کلسیم به آبخوان در اثر انحلال آهک و ژئوپس، انحلال صدف کلسیتی جانوران دریایی دوره کواترنر در رسوبات، تبادل یونی معکوس (کلسیم موجود در خاک رس جانشین سدیم موجود در آب شور شده، سدیم به کانی‌های رسی متصل و میزان کلسیم در آب افزایش می‌یابد) و همچنین ورود املاح از منطقه تغذیه به منطقه میانی و خروجی آبخوان و واکنش شیمیایی در مسیر می‌باشد.

واکنش‌های احتمالی افزایش یون کلسیم در منابع آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار به شرح زیر می‌باشد:

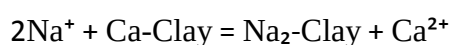
۱- انحلال کربنات کلسیم و تولید یون کلسیم، کربنات و بی‌کربنات (بی‌کربنات در اثر ادامه انحلال اسید کربنیک ایجاد می‌شود).

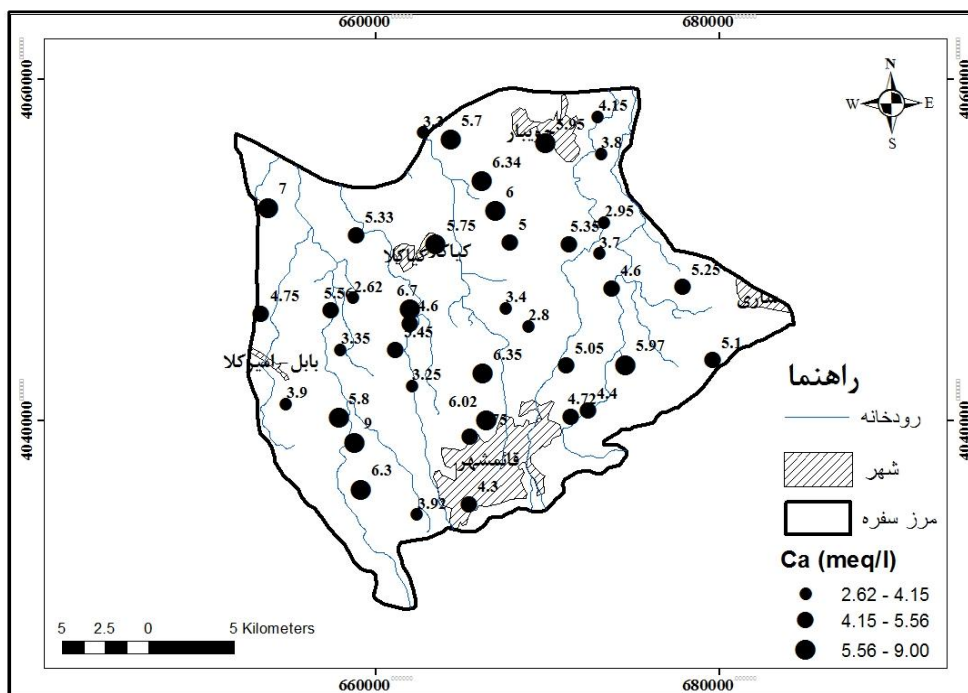


۲- انحلال ژئوپس، تولید یون کلسیم، سولفات و بی‌کربنات



۳- تبادل یونی معکوس و تولید یون کلسیم: انجام این فرآیند مستلزم حضور رس‌هایی با کلسیم قابل تبادل و آب‌هایی با مقدار سدیم بیشتر از رس‌ها بوده که احتمالاً با نفوذ آب شور آبخوان ساحلی اتفاق می‌افتد و تبادل یونی معکوس ایجاد شده، سبب افزایش کلسیم در این مناطق می‌شود.





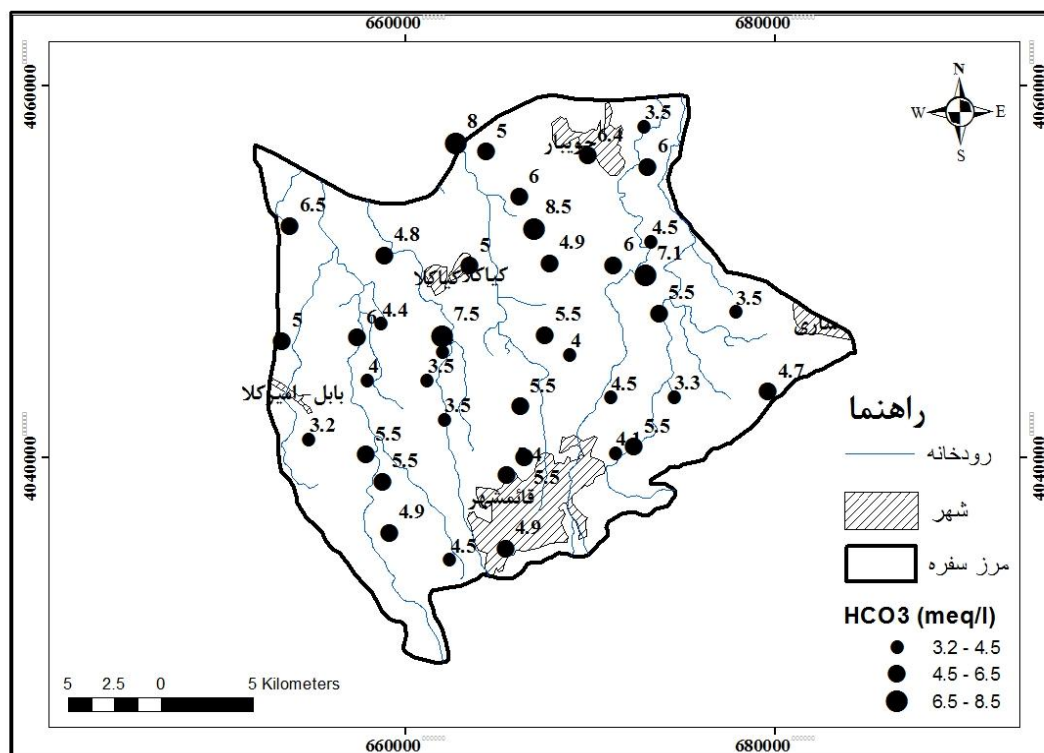
شکل ۴-۱۴- نقشه تغییرات یون کلسیم در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر- جویبار

ب - تغییرات مکانی آنیون بی‌کربنات

منابع گونه‌های کربناته شامل CO_2 اتمسفر، احیاء سولفات و انحلال کلسیت و دولومیت می‌باشد. کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها عامل قلیایی در آب‌ها می‌باشند. شکل (۴-۱۵) تغییرات مکانی یون بی‌کربنات در آبخوان را نشان می‌دهد. میزان غلظت بی‌کربنات در آبخوان بین $\frac{3}{2}$ تا $\frac{8}{5}$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بوده و میانگین غلظت آن $\frac{4}{82}$ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. تغییرات مکانی آنیون بی‌کربنات مشابه کلسیم بوده و غلظت آن در قسمت میانی و شمال آبخوان بیشتر می‌باشد.

فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از سموم و کود یکی دیگر از عوامل افزایش یون کلسیم و بی‌کربنات می‌باشد. در هنگام بارندگی و آبیاری گیاهان (آبیاری غیراصولی) یون‌های موجود در خاک از جمله کلسیم و بی‌کربنات به همراه آب به لایه‌های زیرین زمین نفوذ می‌کند و به آبخوان انتقال می‌یابد. همچنین در مناطقی با فعالیت‌های کشاورزی زیاد به مرور زمان خاک مرغوبیت خود را از دست می‌-

دهد و برای ایجاد خاک حاصلخیز با پاشیدن آهک در زمین‌های کشاورزی خاک مناسب برای رشد گیاه بوجود می‌آورند. آهک مورد استفاده برای بهبود حاصلخیزی خاک در آب آبیاری حل شده، بخشی از یون بی‌کربنات و کلسیم توسط گیاه مصرف و قسمتی دیگر به آبخوان نفوذ می‌کند.



شکل ۴-۱۵- تغییرات مکانی یون بی‌کربنات در آبخوان قائم‌شهر - جویبار

ج - تغییرات مکانی سایر یون‌ها

تغییرات مکانی سایر یون‌های موجود در منابع آب زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار در شکل ۴-۱۶ ارائه شده است. تغییرات مکانی یون کلر، سدیم و پتاسیم تقریباً مشابه می‌باشد. از نظر مکانی میزان یون‌های کلر، سدیم و پتاسیم در مناطق جنوبی و میانی آبخوان کم بوده و در بخش شمالی آبخوان افزایش یافته است. همانطور که قبلاً نیز بیان گردید، دلیل آن نفوذ آب شور آبخوان ساحلی می‌باشد.

میزان آنیون سولفات در قسمت مرکزی و شمال آبخوان بیشتر از قسمت جنوبی می‌باشد. دلیل احتمالی آن انحلال ژئوپس در اثر حرکت آب در سفره در مسیر جریان آب زیرزمینی و افزایش املاح به سمت شمال می‌باشد. افزایش فعالیت کشاورزی به خصوص کشت برنج در منطقه و استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی، از دیگر دلایل افزایش احتمالی عناصر سولفات و منیزیم در منابع آب زیرزمینی می‌باشد.



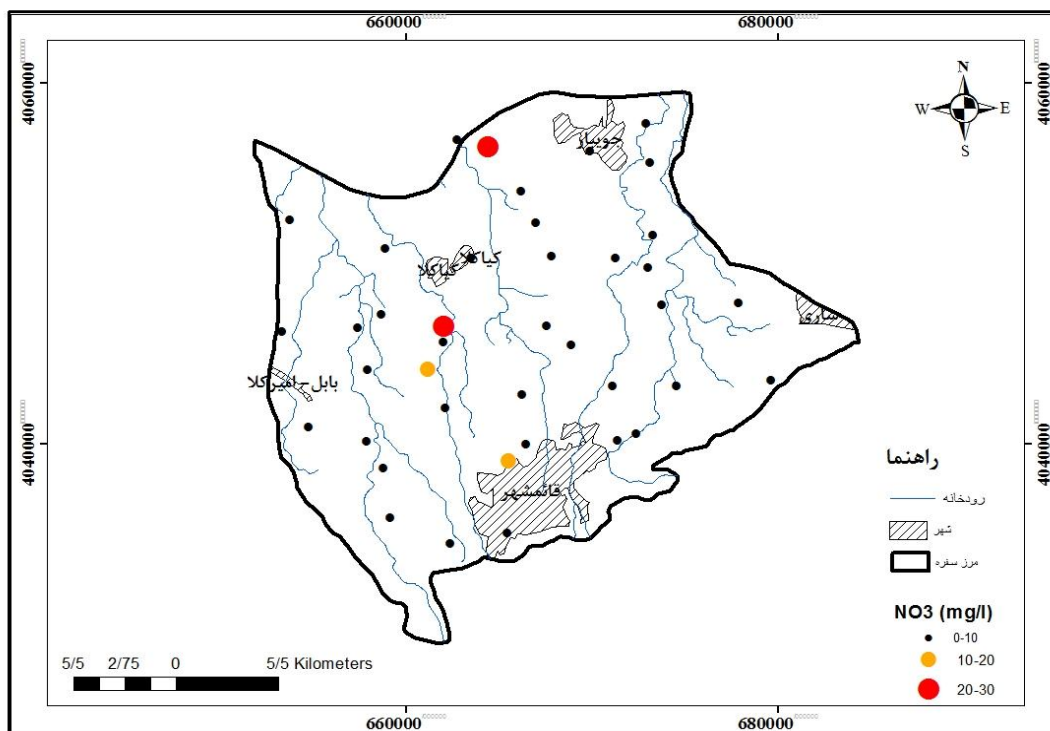
شکل ۴-۱۶- تغییرات مکانی یون‌های کلر، سدیم، پتاسیم، منیزیم و سولفات در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار

۴-۳-۵- بررسی تغییرات مکانی نیتрат آب‌های زیرزمینی دشت قائم‌شهر -

جویبار

نیترات یکی از مهم‌ترین آنیون‌های موجود در آب زیرزمینی است که تحت تاثیر فعالیت کشاورزی و نفوذ فاضلاب قرار می‌گیرد. این یون جزء ترکیبات معدنی نیتروژن است و آخرین مرحله اکسیداسیون آمونیاک و نیتروژن حاصله از مواد آلی به شمار می‌آید. در نمونه‌های مورد مطالعه غلظت نیترات از ۱ تا ۲۶ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌یابد و میانگین غلظت این یون ۵/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر است. بیشترین مقدار نیترات به میزان ۲۶ میلی‌گرم در لیتر مربوط به نمونه W13 و کمترین آن به میزان ۱ میلی‌گرم در لیتر در تعدادی از نمونه‌ها مشاهده می‌شود (جدول ۴-۳).

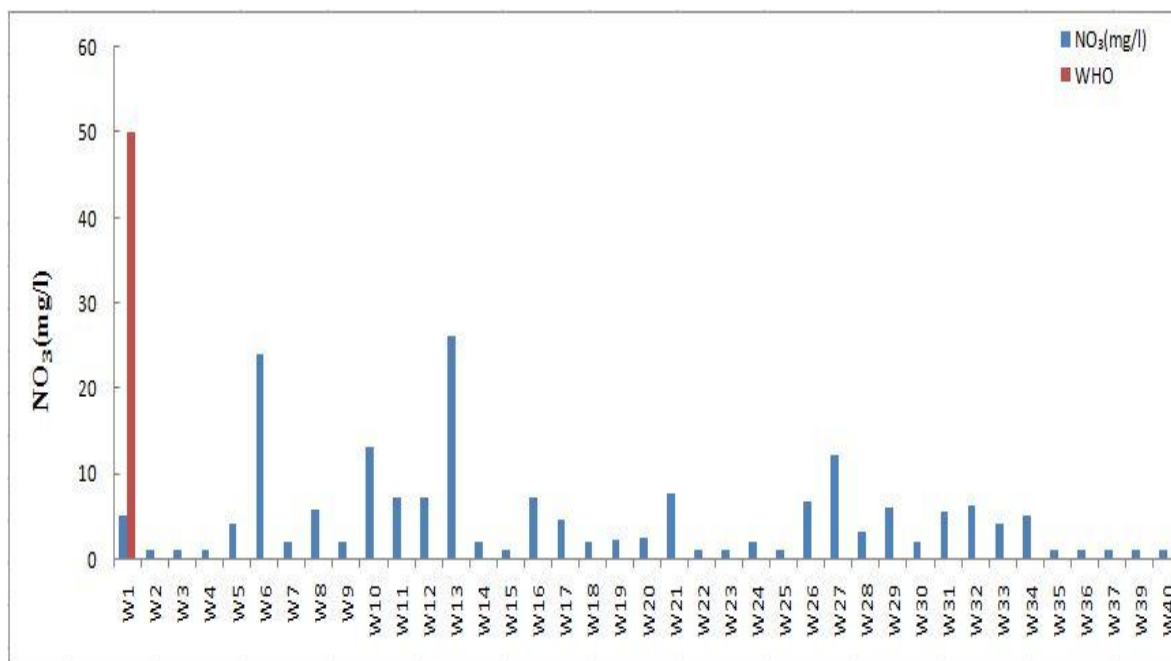
شکل (۴-۱۷) تغییرات مکانی یون نیترات را نشان می‌دهد. غلظت بیش از ۱۰ mg/l یا بیشتر نیترات را می‌توان به عنوان یک نشانه احتمالی از آلودگی به کودها، فاضلاب‌های شهری و سیستم‌های زیرزمینی فاضلاب دانست (Hounslow, 1995). غلظت نیترات در بیشتر نمونه‌های برداشت شده از آبخوان قائم‌شهر - جویبار کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد، عامل افزایش نیترات در تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های منطقه، عمق کم چاه‌ها، فعالیت زیاد کشت برنج و تبخیر در محدوده آبخوان می‌باشد. نیتروژن آلی که در اثر فعالیت کشاورزی و فاضلاب به خاک نفوذ می‌کند، تحت تأثیر میکروارگانیسم‌ها به یون آمونیوم تبدیل شده و به مرور طی پدیده نیتریفیکیشن بخشی از یون آمونیوم ابتدا به نیتريت و سپس به نیترات تبدیل می‌شود. لایه سطحی خاک قادر به حفظ و نگهداری این دو ترکیب نبوده و در نتیجه نیتريت و نیترات به آب‌های زیرزمینی راه می‌یابند. در نتیجه در چاه‌های کم عمق غلظت نیترات زیاد می‌باشد.



شکل ۴-۱۷- تغییرات غلظت یون نیتрат در آب‌های زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار

استانداردهای مختلفی در مورد غلظت مجاز یون نیترات در آب زیرزمینی وجود دارد. اتحادیه اروپا حد مطلوب یون نیترات را 25 (mg/l) و حداکثر مجاز 50 (mg/l) بیان کرده است. سازمان بهداشت جهانی حد استاندارد غلظت نیترات را 50 میلی‌گرم بر لیتر و موسسه تحقیقات ایران حداکثر نیترات در آب آشامیدنی را 45 میلی‌گرم بر لیتر اعلام کرده است. تمام نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان ابرفتی قائم-شهر - جویبار از نظر غلظت نیترات حد استاندارد آب آشامیدنی را دارا می‌باشد (شکل ۴-۱۸).

اگر غلظت نیترات در آب زیرزمینی منطقه‌ای بیش از 10 میلی‌گرم بر لیتر باشد، نشان دهنده آلودگی در اثر فعالیت‌های انسانی است. غلظت نیترات 4 مورد از نمونه‌ها از 40 نمونه جمع‌آوری شده، بیشتر از 10 میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. که احتمالاً در اثر فعالیت‌های کشاورزی آلوده شدند. استفاده از کودهای نیتروژن سبب اسیدی شدن خاک و افزایش نیترات می‌شود.



شکل ۴-۱۸- نمودار تغییرات یون نیترات و مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)

۴-۵- بررسی تغییرات مکانی یون فسفات آب‌های زیرزمینی دشت

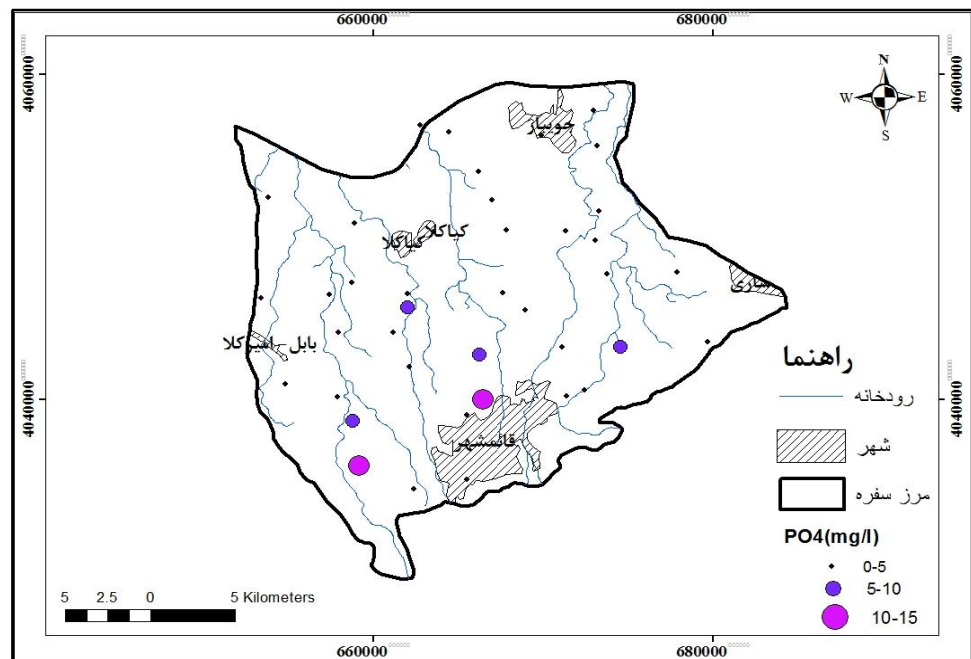
قائم‌شهر - جویبار

فسفر جزء اصلی فسفات (PO_4) است و درحقیقت فسفات، اکسید فسفر است. فسفر به خودی خود برای انسان مضر نیست، اما اگر به آب وارد شود سبب بدبو و بدمزه شدن آن و رشد جلبک‌ها و گیاهان آبی می‌شود تا جایی که می‌تواند سبب مغذی شدن (یوتریفیکاسیون) منابع آبی شود. فسفر بعد از نیتروژن، مهم‌ترین عنصر مورد نیاز

گیاهان و میکروارگانیسم‌ها است. این عنصر نقش مهمی در بهبود کیفیت و کمیت دانه‌ها در کشاورزی دارد. این عنصر در خاک به دو شکل معدنی و آلی یافت می‌شود. کمبود غلظت فسفات قابل جذب در خاک‌های زراعی باعث شده است که برای رفع کمبود فسفر مورد نیاز گیاهان، این عنصر به صورت کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه شود. قابلیت جذب فسفر بیشتر از نیترات است، به همین

دلیل آلودگی فسفر در آب زیرزمینی کمتر از نترات است و بیشتر در مناطقی که فعالیت کشاورزی به شدت صورت می گیرد و سطح آب زیرزمینی بالا باشد، ممکن است مشاهده شود. براساس استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) حداکثر میزان قابل قبول فسفات در آب آشامیدنی 0.2 میلی گرم بر لیتر است (ندری - ۱۳۹۵).

با توجه به شکل ۴-۱۹ میزان فسفات در حاشیه جنوبی آبخوان به دلیل توسعه کشت برنج در بخش وسیعی از اراضی منطقه و استفاده احتمالی از کودهای فسفاته بیشتر می باشد. در نمونه های مورد مطالعه غلظت فسفات بین 0.1 تا 13 میلی گرم بر لیتر متغیر بوده و میانگین غلظت آن 6.2 میلی گرم بر لیتر است. بیشترین مقدار فسفات مربوط به نمونه W9, W24 و کمترین مقدار مربوط به نمونه W10 می باشد.



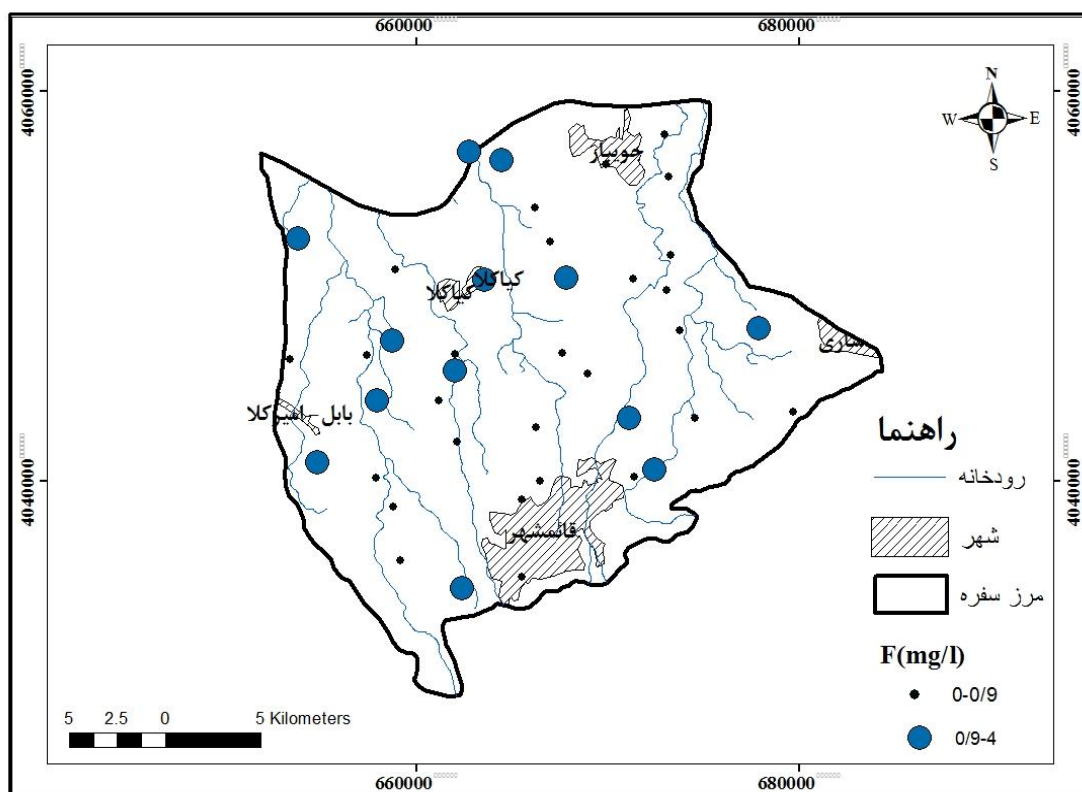
شکل ۴-۱۹- بررسی تغییرات مکانی یون فسفات آب زیرزمینی دشت قائم شهر - جویبار

۴-۶- بررسی تغییرات مکانی یون فلوئور آب های زیرزمینی دشت

قائم شهر - جویبار

فلوئور (F) به مقدار کم و بیش در اغلب منابع آبی موجود است. استاندارد میزان فلوئور در آب آشامیدنی ۲ میلی گرم در لیتر می باشد. این ماده از نظر سلامتی دندان مورد ارزیابی قرار می گیرد. گاهی مقدار فلوئور در آب های زیرزمینی به حدود ۱۰ mg/l می رسد که به مراتب از آب های سطحی بیشتر است. علت وجود فلوئور در آب های زیرزمینی فراوانی آن در پوسته ی زمین است. فلوئور از انحلال فلوریت، آپاتیت، آمفیبول ها و میکاها در آب های زیرزمینی به وجود می آید. جذب فلوئور توسط کاتولینیت می باشد. در pH برابر ۶ مقدار جذب فلوئور حداکثر و در pH زیر ۴ و بالای ۷/۵ جذب ناچیز است و واجذب آن صورت می گیرد. در نتیجه آب های قلیایی دارای مقدار فلوئور بالایی هستند. اکثر آب های شیرین کمتر از یک میلی گرم در لیتر فلوئور دارند (Hounslow , 1995).

در شکل ۴-۲۰ تغییرات مکانی غلظت یون فلوئور در آبخوان قائم شهر - جویبار نشان داده شده است. مقدار یون F در مسیر جریان آب زیرزمینی به سمت شمال افزایش می یابد. غلظت یون فلوئور بین ۰/۲ تا ۴ میلی گرم بر لیتر متغیر بوده و میانگین آن ۰/۷۸ میلی گرم بر لیتر می باشد. در اغلب نمونه ها میزان فلوئور کمتر از یک میلی گرم در لیتر می باشد.



شکل ۴-۲- تغییرات مکانی غلظت یون فلوئور آب زیرزمینی دشت قائم شهر - جویبار

۴-۷- تعیین منشأ یون ها و شناخت فرایندهای موثر بر تکامل ژئوشیمیایی آبخوان قائم شهر - جویبار

۴-۷-۱- بررسی منشأ یون های اصلی در آبخوان

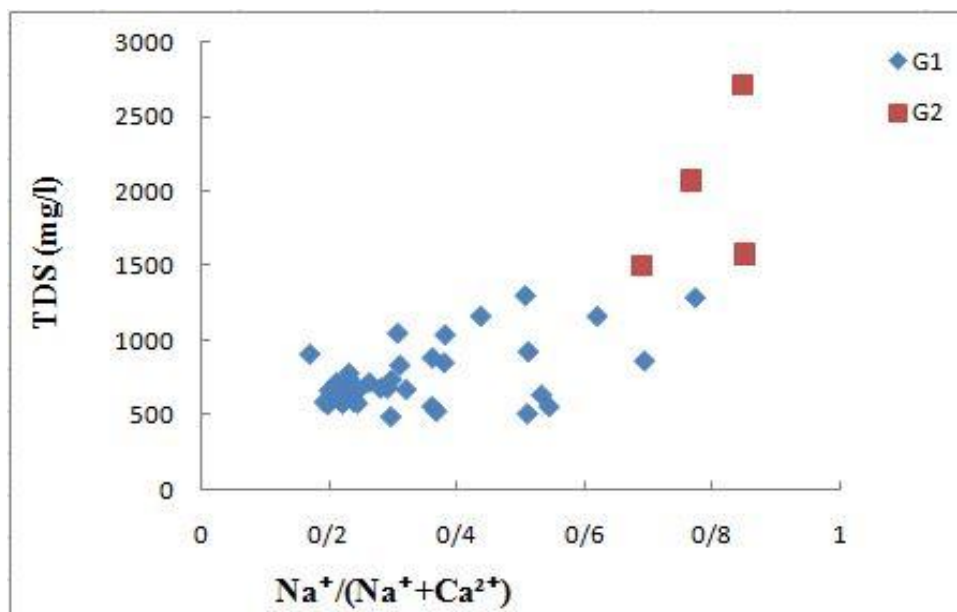
با استفاده از نمودار گیپس، تأثیر لیتولوژی یک منطقه بر کیفیت آب های زیرزمینی، عوامل موثر بر غلظت یون های اصلی و تعیین ساز و کار حاکم بر جریان آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می گیرد. نمودار گیپس ترکیب آب را بر مبنای عوامل موثر شامل بارندگی، ترکیب سنگ ها و تبخیر - تبلور نشان می دهد (Hounslow, 1995). در محور قائم نمودار گیپس مقادیر TDS بر حسب میلی گرم بر لیتر قرار می گیرد. محور افقی در نمودار مربوط به کاتیون ها نسبت $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ را نشان می -

دهد (شکل ۴-۲۱). در نمودار مربوط به آنیون‌ها محور افقی بیانگر نسبت $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ است (شکل ۴-۲۲).

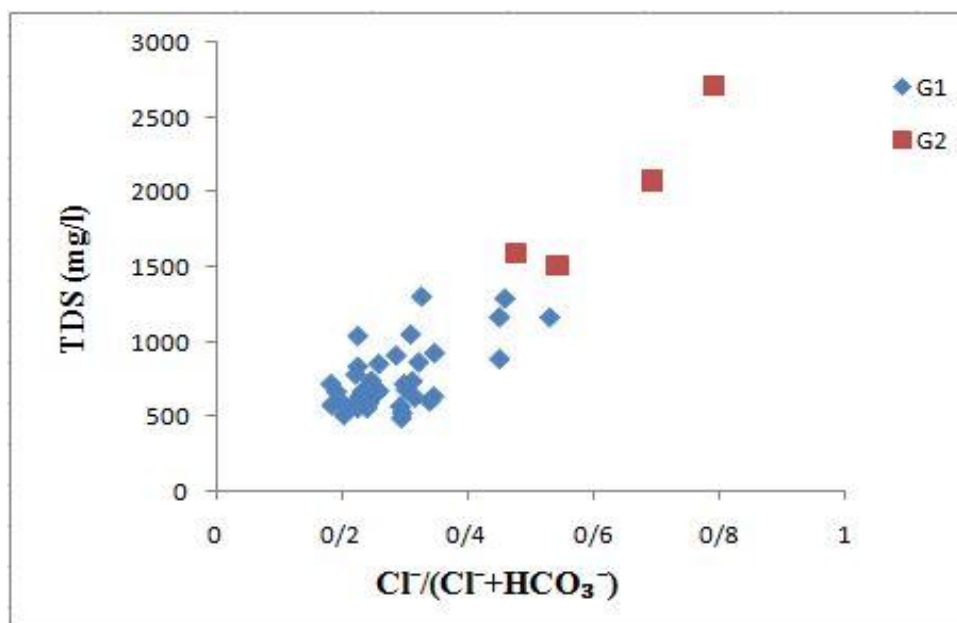
نمونه‌های دارای نسبت $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ بالا و TDS پایین در نمودار گیبس، نشان دهنده تأثیر غالب ریزش‌های جوی بر شیمی آب‌های منطقه می‌باشد. تأثیر فرایند هوازگی سنگ‌ها نسبت ($Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ پایین و TDS بین ۱۰۰-۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر در نمونه‌ها را سبب می‌گردد. در صورتی که مقادیر این دو پارامتر بالا باشد، تبخیر و نفوذ آب شور به عنوان عامل کنترل کننده شیمی آب محسوب می‌شوند (Gibs, 1970). بنابراین اگر میزان TDS نمونه‌های آب بین ۱۰۰-۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر باشد و میزان نسبت‌های $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ و $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ بین ۰/۶-۰ باشد، عامل لیتولوژی بر ترکیب آب موثر بوده است. به عبارتی ترکیب آب نفوذ کننده تحت تأثیر ویژگی‌های شیمیایی سنگ‌ها قرار گرفته است. مقادیر پایین‌تر از این مقدار نشان دهنده تأثیر عامل بارندگی و مقادیر بالاتر نشان دهنده تأثیر پدیده تبخیر و تبلور بر ترکیب آب زیرزمینی است. در نمونه‌های مربوط به گروه یک آبخوان قائم‌شهر - جویبار نسبت‌های $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ و $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ پائین بوده و TDS بین ۱۰۰-۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده (شکل ۴-۲۱ و ۴-۲۲) و لذا غلبه فرایند هوازگی سنگ‌ها در شیمی آن‌ها را نشان می‌دهد. در نمونه‌های گروه دوم نسبت‌های یونی و TDS بالا بوده و بنابراین تبخیر و نفوذ احتمالی آب شور در شیمی این نمونه‌ها تأثیر گذار بوده است.

با توجه به شکل ۴-۲۱ و ۴-۲۲ ترکیب آب‌های زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار در گروه یک تحت تأثیر لیتولوژی و ترکیب سنگ‌شناسی منطقه می‌باشد. همچنین از آنجایی که در دوره کواترنر تمام نواحی مازندران زیر آب دریا قرار داشته است، وجود صدف جانوران دریایی از جنس کلسیت در حفاری‌های چاه آب مشاهده شده است. انحلال آهک این صدف‌ها می‌تواند دلیلی بر افزایش کلسیم و بی‌کربنات در منطقه باشد. از آنجایی که نمونه‌های مربوط به گروه دوم مقادیر نسبت‌های یونی آن بالا

و TDS آن بیشتر از ۱۰۰۰ می‌باشد، تبخیر و نفوذ آب شور دو عامل کنترل کننده شیمی آب‌های زیرزمینی در نوار ساحلی شمال آبخوان می‌باشد.



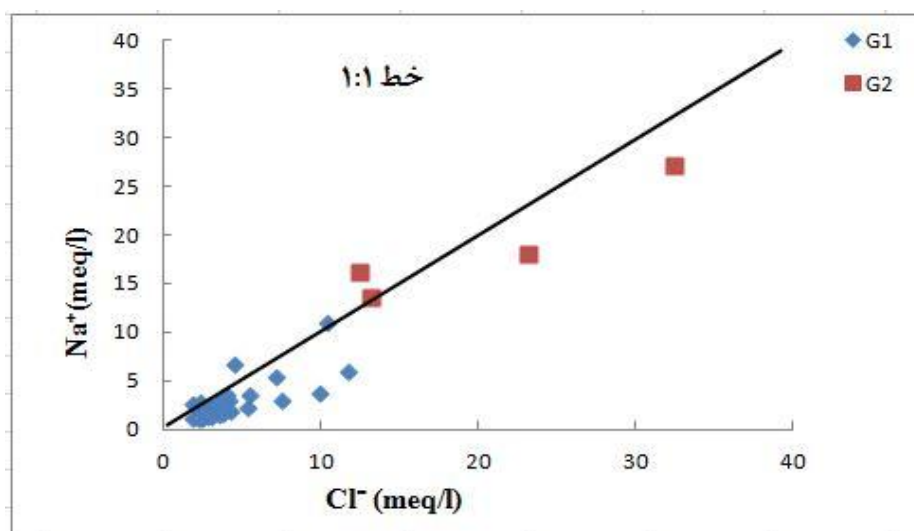
شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات نسبت $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ بر حسب (mg/l) در برابر TDS



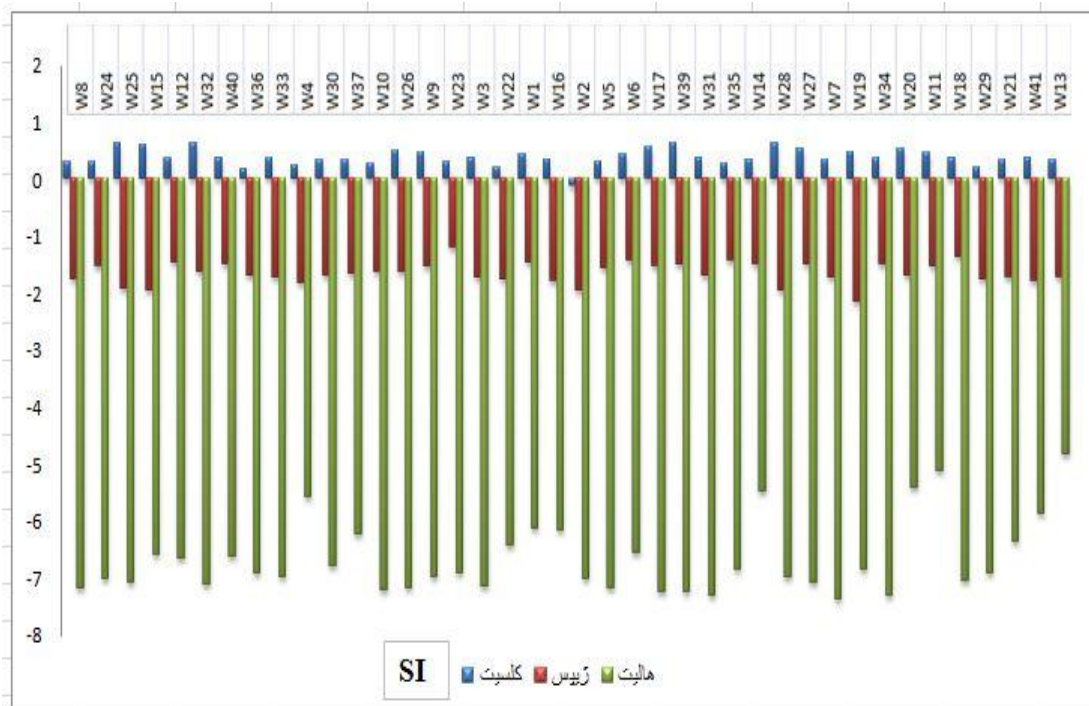
شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات نسبت $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ بر حسب (mg/l) در برابر TDS

به منظور بررسی منشأ یون سدیم در آب‌های زیرزمینی آبخوان قائم‌شهر - جویبار نمودار ترکیبی کلر در برابر سدیم ترسیم شده‌است (شکل ۴-۲۳). انحلال هالیت فرایند غالب در ورود یون‌های سدیم و کلر به داخل منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بررسی اندیس هالیت در شکل ۴-۲۴ تحت اشباع بودن منابع آب زیرزمینی در آبخوان منطقه را نشان می‌دهد. بنابراین انحلال کانی هالیت تا زمان رسیدن به درجه اشباع می‌تواند ادامه داشته باشد. در شکل ۴-۲۳ نمونه‌هایی که زیر خط ۱:۱ قرار دارند بیانگر کمبود سدیم در برابر کلر می‌باشد. احتمالاً فرایند تبادل کاتیونی (تبادل یونی معکوس) در اثر نفوذ آب شور سبب خروج یون سدیم شده است.

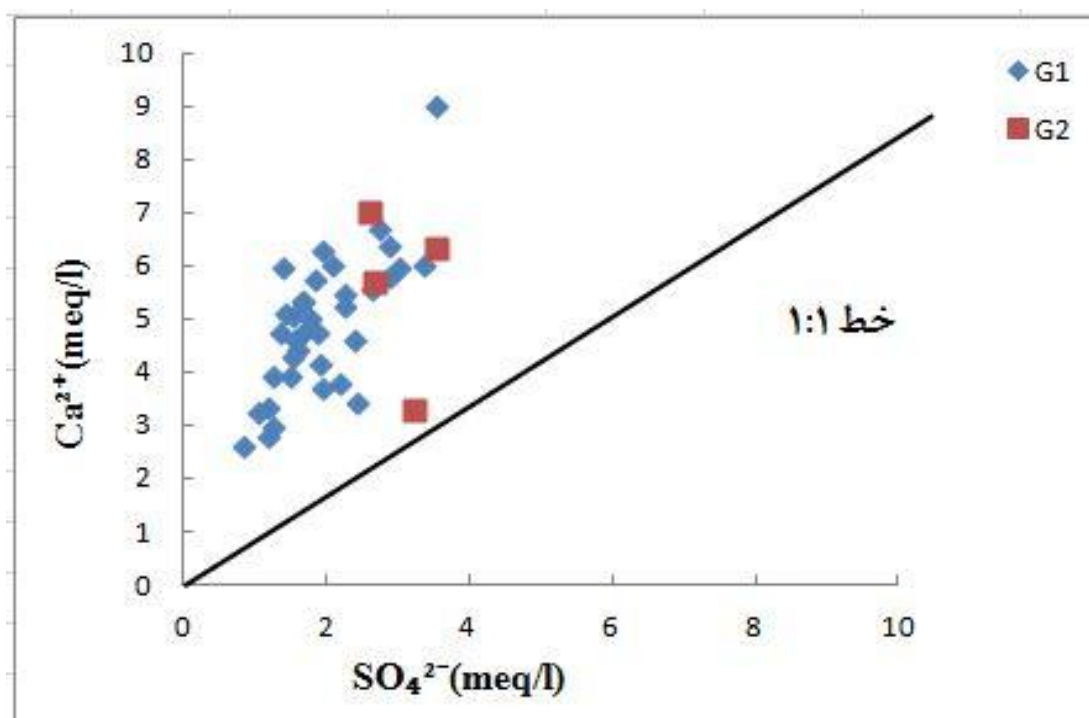
شکل ۴-۲۵ ارتباط یون کلسیم در مقابل سولفات در منطقه را نشان می‌دهد. افزایش هماهنگ یون‌های کلسیم و سولفات بیانگر انحلال ژپس در ورود آن‌ها به منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بررسی اندیس اشباع ژپس در شکل ۴-۲۴ بیانگر تحت اشباع بودن ژپس در تمامی نمونه‌ها می‌باشد. در نتیجه این کانی شرایط انحلال و افزایش یون‌های کلسیم و سولفات را دارد. در نمودار مذکور تمامی نمونه‌ها بالای خط ۱:۱ واقع شده‌اند، که نشان دهنده افزایش بیشتر کلسیم در مقایسه با سولفات می‌باشد. احتمالاً علاوه بر انحلال ژپس، انحلال کلسیت و نفوذ آب شور و ایجاد پدیده تبادل کاتیونی عامل افزایش کلسیم می‌باشد.



شکل ۴-۲۳- رابطه غلظت سدیم و کلر در منابع آب زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار

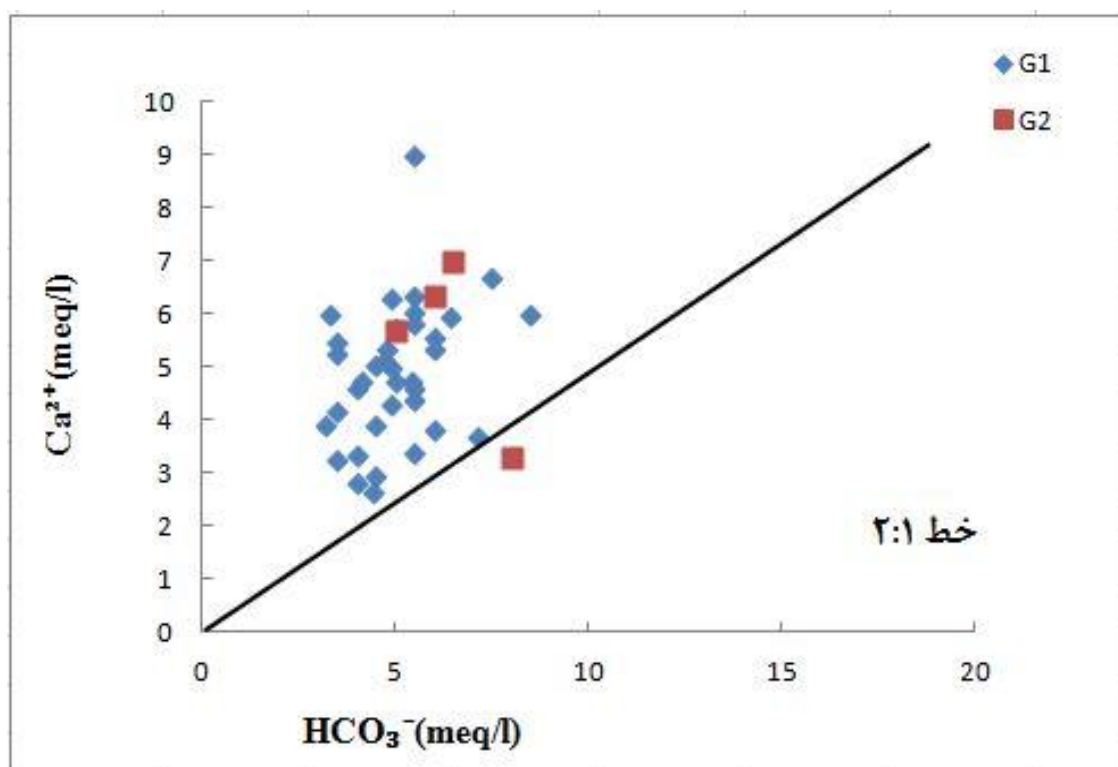


شکل ۴-۲۴- نمودار شاخص اشباع هالیت، رپس و کلریت در آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار



شکل ۴-۲۵- رابطه غلظت کلسیم و سولفات در آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار

در شکل ۴-۲۶ ارتباط کلسیم و بی‌کربنات نشان داده شده است. همبستگی کلسیم و بی‌کربنات بیانگر نقش انحلال کلسیت در افزایش یون‌های مذکور در منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در شکل ۴-۲۴ شاخص اشباع کلسیت در تمام نمونه‌ها به جز W2 مثبت و نزدیک به صفر می‌باشد که نشان دهنده به اشباع رسیدن آب‌های زیرزمینی منطقه نسبت به کانی کلسیت می‌باشد. با توجه به نمودار تمام نمونه‌ها بالاتر از خط ۲:۱ قرار دارند و این موضوع بیانگر بیشتر بودن یون کلسیم در مقابل یون بی-کربنات می‌باشد که نشان می‌دهد عامل دیگری به جز انحلال کلسیت مثل انحلال ژئپس و تبادل یونی معکوس که در اثر آن کلسیم در رس جای خود را با سدیم در آب تعویض می‌نماید، سبب افزایش کلسیم در آبخوان شده است.

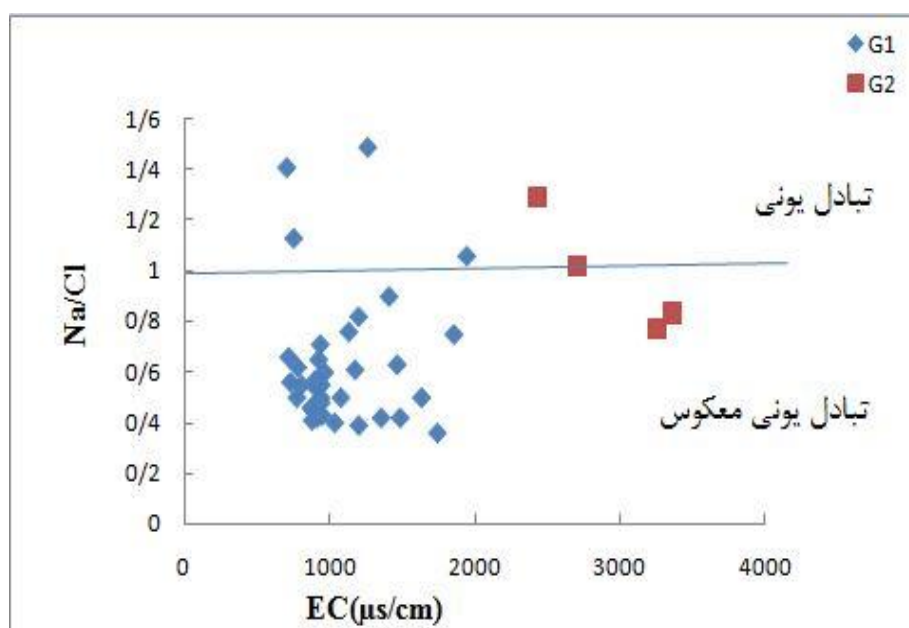


شکل ۴-۲۶- رابطه غلظت کلسیم و بی‌کربنات در آبخوان قائم‌شهر - جویبار

۴-۷-۲- تبادل یونی

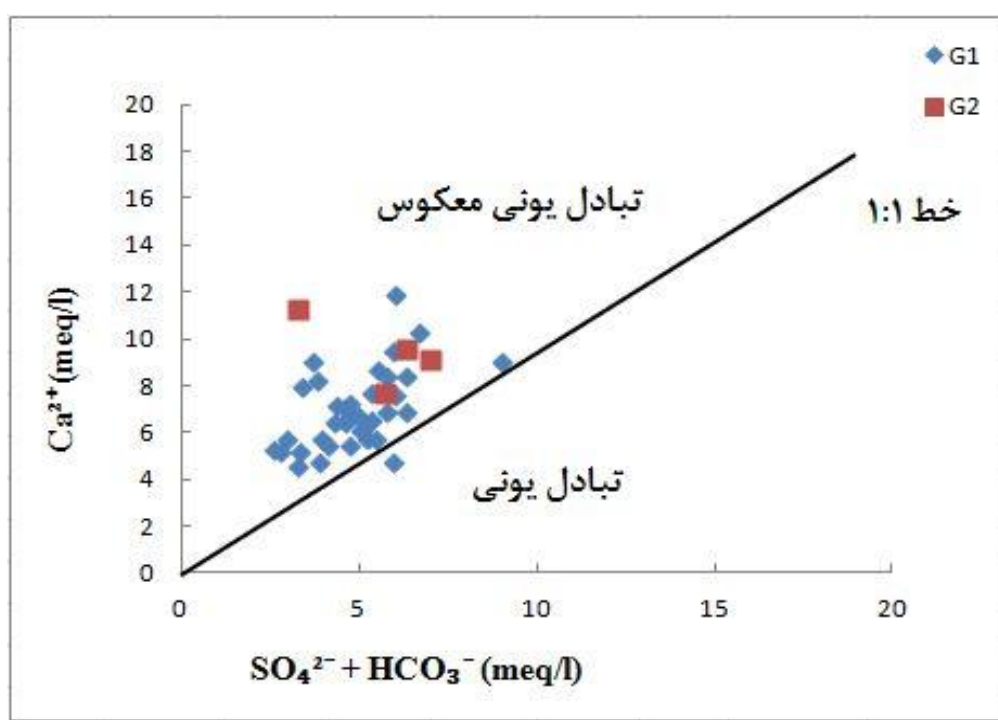
فرایند تبادل یونی عادی و معکوس نقش مهمی در غلظت نهایی عناصر اصلی محلول در آب زیرزمینی داشته و اهمیت زیادی دارد. در این فرایند یون‌های موجود در آب جایگزین یون‌های متصل به سطح کانی رسی شده و یون‌های چسبیده به سطح رس‌ها وارد آب می‌گردند. اگر کلسیم جایگزین سدیم در رس شود و سدیم وارد آب شود تبادل یونی عادی ایجاد می‌شود و اگر سدیم جایگزین کلسیم در سطح رس‌ها شود و کلسیم وارد آب شود، تبادل یونی معکوس خواهیم داشت.

فرایند تبادل یونی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار با استفاده از نمودارهای ترکیبی مختلف بررسی شده است. در شکل ۴-۲۷ رابطه EC در برابر Na^+/Cl^- نشان داده شده است. در صورتی که نسبت Na^+/Cl^- نمونه‌ها بیشتر از یک شود، تبادل یونی عادی و در صورتی که کمتر از یک باشد، تبادل یونی معکوس روی داده است. با توجه به نمودار در اغلب نمونه‌ها نسبت Na^+/Cl^- کمتر از یک بوده، که نشان‌دهنده تبادل یونی معکوس در آبخوان می‌باشد. این فرایند سبب کاهش میزان سدیم در منابع آب زیرزمینی شده است.



شکل ۴-۲۷ نمودار رابطه EC در برابر Na/Cl

شکل ۴-۲۸ رابطه یون‌های کلسیم موجود در آب زیرزمینی در برابر $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ نشان داده شده است. با توجه به شکل، اکثر نمونه‌های قائم‌شهر - جویبار بالاتر از خط (۱:۱) قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تبادل یونی معکوس می‌باشد. در فرایند تبادل یونی معکوس، یون‌های سدیم موجود در محلول جایگزین یون‌های دو ظرفیتی کلسیم در رس شده، در نتیجه کلسیم وارد محلول می‌گردد و میزان کلسیم در محلول زیاد و سدیم در محلول کم می‌شود.



شکل ۴-۲۸ نمودار Ca^{2+} در مقابل $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ در منابع آب زیرزمینی قائم‌شهر - جویبار

۴-۷-۳- تکامل ژئوشیمیایی

کیفیت آب زیرزمینی، منعکس کننده ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و محیط متخلخلی است که در تماس با آب بوده است. هنگامی که آب به آرامی از محیط زیرسطحی عبور می‌کند، ترکیب آن به آرامی تغییر می‌یابد که منعکس کننده افزایش اشباعیت برخی یون‌ها یا محصولات نهایی حاصل از فعل و

انفعالات سنگ و آب است. بسیاری از این واکنش‌ها، معرف محیط ژئوشیمیایی و پارامترهایی مانند pH و قدرت یونی هستند و این‌ها نیز به نوبه خود خصوصیات جذب محیط زیر سطحی و انواع فرایندهای میکروبی را تعیین می‌نمایند و می‌توانند بر قابلیت تحرک بسیاری از عناصر کمیاب تأثیر گذار باشند (Hounslow, 1995).

بر اساس نقشه‌ها و پارامترهای شیمیایی آبخوان قائم‌شهر - جویبار، کیفیت آب در جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب به شمال در اثر نفوذ آب دریا کاهش یافته است. کیفیت آب زیرزمینی در قسمت جنوبی در مجاورت سازندهای تغذیه کننده دشت که کربناته می‌باشد، خوب و مناسب بوده و به طرف خروجی دشت به خاطر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی و رسوبات رس و ماری از کیفیت آن کاسته شده است. تیپ غالب دشت بی‌کربنات - کلسیک است و در شمال آبخوان در اثر نفوذ آب شور کلره - سدیک ایجاد شده است. بر اساس نمودار گیبس واکنش آب - سنگ، تبخیر احتمالی از آب زیرزمینی و نفوذ آب شور منشأ اصلی یون‌ها و تغییر کیفیت شیمیایی آبخوان قائم‌شهر - جویبار می‌باشد. نمودارهای ژئوشیمیایی ضمن تأیید فعال بودن واکنش‌های آب - سنگ در آبخوان، نشان دهنده تأثیر انحلال کلسیت، ژپس، هالیت، نفوذ آب شور و تبادل یونی معکوس در کیفیت و تکامل شیمیایی آبخوان قائم‌شهر - جویبار می‌باشد. تأثیر فعالیت انسانی در اثر برداشت‌های بی‌رویه آب زیرزمینی برای استفاده فعالیت کشاورزی می‌باشد. از آنجا که نمونه‌ها به دو دسته تقسیم شده می‌توان نتیجه گرفت که حداقل دو منبع تغذیه کننده انحلال و نفوذ آب شور در سفره آب زیرزمینی وجود دارد.

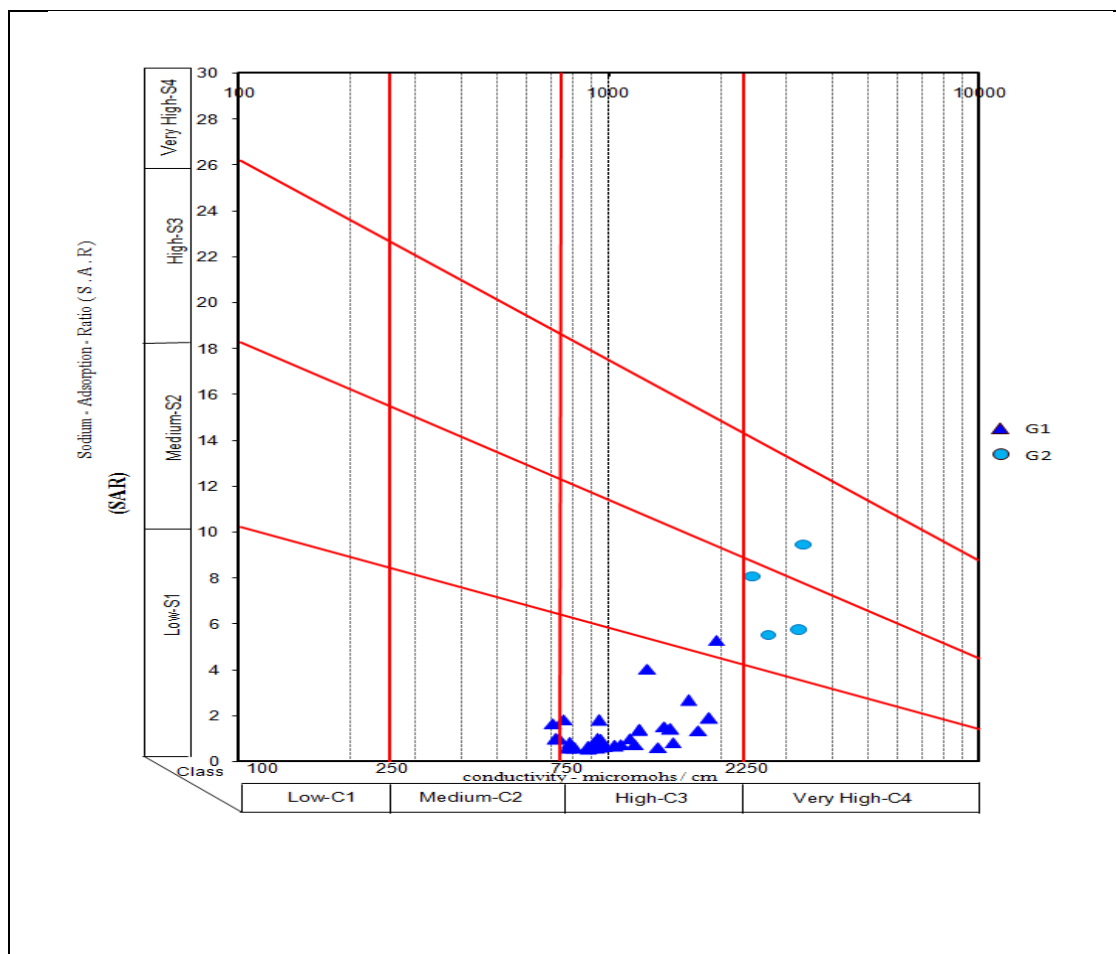
۴-۸- بررسی کیفیت نمونه‌های آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر -

جویبار از نظر کشاورزی

استانداردهای کیفیت آب برای آبیاری گیاهان به عواملی مثل غلظت نمک‌های محلول که باعث کاهش آب‌گیری گیاه و کاهش رشد آن می‌شود، غلظت بعضی از یون‌های خاص مثل بور که برای گیاه سمی است و همچنین غلظت کاتیون‌هایی مثل کلسیم و سدیم که به طور غیرمستقیم روی رشد گیاه تأثیر می‌گذارد، بستگی دارد. دو اثر مهم سدیم، کاهش نفوذپذیری و سخت کردن خاک است که در اثر جانشینی یون‌های کلسیم و منیزیم به وسیله یون‌های سدیم موجود در رس‌ها است. میزان این جانشینی را می‌توان با نسبت جذب سدیم (S.A.R) برآورد کرد و با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$S.A.R = \frac{Na}{\frac{\sqrt{Ca+Mg}}{2}}$$

در شکل ۴-۲۹ با استفاده از نمودار ویلکوکس کیفیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار از لحاظ کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. در این نمودار آب آبیاری بر اساس دو معیار خطر سدیم (SAR) و خطر شوری (EC) نشان داده است، نمونه‌های گروه یک به جز یک نمونه در رده S_1C_3 و نمونه‌های گروه دو در رده S_2C_4 و S_3C_4 قرار گرفته‌اند. بنابراین نمونه‌های گروه یک برای فعالیت کشاورزی خوب (مجاز) می‌باشد، اما نمونه‌های گروه دو برای استفاده در کشاورزی نامناسب می‌باشد. زیرا گروه دو نسبت جذب سدیم آن بالا بوده و هدایت الکتریکی به دلیل نفوذ آب شور در شمال آبخوان در حال افزایش است.



شکل ۴-۲۹- نمودار ویلکوکس مربوط به نمونه‌های برداشت شده از آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

آبخوان آبرفتی قائمشهر - جویبار منبع اصلی آب جهت مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت در محدوده مطالعاتی می‌باشد، همچنین فعالیت کشاورزی در منطقه و محدوده خارج از آن انجام می‌شود که کشت برنج و مرکبات فعالیت اصلی منطقه قائمشهر - جویبار می‌باشد. در این پژوهش به بررسی تکامل ژئوشیمیایی آبخوان آبرفتی قائمشهر - جویبار پرداخته شده است. در این فصل ابتدا نتایج حاصل از تحقیق ارائه شده و سپس پیشنهادهایی جهت تکمیل مطالعات و بهبود وضعیت آبخوان در آینده ارائه خواهد شد.

۵-۲- نتایج

۱- با توجه به نقشه هم پتانسیل جهت کلی جریان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی قائمشهر - جویبار از سمت جنوب شرقی و جنوب به سمت شمال غربی آبخوان می‌باشد. منطقه تغذیه دشت به طور عمده مربوط به ارتفاعات جنوبی منطقه بوده و سازندهای آهکی در ارتفاعات البرز شمالی و مرکزی نقش مهمی در تغذیه آبخوان بر عهده دارند. عمق آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جویبار از حدود ۳۵ متر در جنوب به کمتر از ۵ متر در شمال آبخوان کاهش می‌یابد. کاهش سطح آب زیرزمینی در شمال آبخوان که بیانگر نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین می‌باشد، می‌تواند سبب بروز پدیده تبخیر از آب زیرزمینی در این بخش از آبخوان گردد.

۲- هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی از ۷۰۸ تا ۳۳۶۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. میانگین هدایت الکتریکی آبخوان ۱۲۷۴ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. محل تخلیه آبخوان، شمال دشت می‌باشد و چون در مسیر حرکت جریان آب زیرزمینی میزان املاح افزایش می‌یابد و از طرفی دیگر برداشت زیاد آب از آبخوان و نفوذ آب شور آبخوان ساحلی دلیلی بر افزایش هدایت

الکتریکی در شمال آبخوان شده است. نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین احتمالاً باعث تبخیر شده و این موضوع از دیگر دلایل افزایش EC چاه‌های شمال آبخوان می‌باشد.

۳- با توجه به تغییرات مکانی هدایت الکتریکی، نمونه‌های آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار به دو گروه قابل تفکیک می‌باشد. گروه یک (G1) در برگیرنده نمونه‌های با هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. این نمونه‌ها با توجه به فاصله بیشتر از دریا و عمق بیشتر سطح آب زیرزمینی کمتر تحت تأثیر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی و تبخیر قرار گرفته‌اند و عمدتاً رفتار شیمیایی آن‌ها متأثر از فرایندهای هیدروژئوشیمیایی غالب در آبخوان می‌باشد. گروه دو (G2) دربردارنده نمونه‌های با هدایت الکتریکی بیشتر از ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده که به‌دلیل برداشت‌های بی‌رویه آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی، تحت تأثیر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی قرار گرفته است. همچنین احتمالاً فرایند تبخیر به جهت کاهش عمق سطح ایستابی در شوری منابع آب زیرزمینی در این منطقه تأثیرگذار بوده است.

۴- در آبخوان قائم‌شهر - جویبار مقادیر pH از ۷ تا ۸ تغییر می‌کند و میانگین pH آب‌های زیرزمینی در آبخوان حدود ۷/۴۱ است. نمونه‌های واقع در بخش جنوب و جنوب شرقی آبخوان pH کمتری داشته و مقادیر pH آن‌ها کمتر از ۷/۳ می‌باشد. با توجه به فعالیت‌های کشاورزی که در این بخش از آبخوان رایج بوده و با شدت زیادی انجام می‌شود، به نظر می‌رسد تغذیه آبخوان با آب برگشتی کشاورزی سبب کاهش pH شده باشد. همچنین در این بخش از آبخوان منطقه شهری قائم‌شهر واقع شده است که با توجه به عمق کم سطح آب زیرزمینی، آبخوان در این بخش می‌تواند تحت تأثیر فاضلاب شهری قرار گرفته باشد. آب‌های برگشتی کشاورزی به دلیل پدیده نیتریفیکیشن و فاضلاب شهری به دلیل وجود مواد آلی سبب کاهش مقدار pH در منابع آب زیرزمینی می‌شوند.

۵- بر اساس دیاگرام استیف، تیپ غالب آب زیرزمینی بی‌کربنات - کلسیک است. با توجه به وجود سازندهای آهکی در منطقه تغذیه آبخوان، تیپ غالب منطقه توجیه پذیر می‌باشد. در نمونه‌های گروه

دو در شمال آبخوان به دلیل نفوذ آب شور آبخوان ساحلی میزان سدیم و کلر بیشتری مشاهده شده است.

۶- میزان کلسیم در آب‌های زیرزمینی منطقه از ۲/۶۲ تا ۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بوده و میانگین غلظت آن ۵/۱۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد. میزان کلسیم در نمونه‌های برداشت شده از مناطق ساحلی و مجاور رودخانه بیشتر می‌باشد. این افزایش کلسیم ناشی از سازندگچ‌دار و مارنی الیگومیوسن در منطقه و ورود کلسیم به آبخوان در اثر انحلال آهک و ژیپس، انحلال صدف کلسیت جانوران دریایی دوره کواترنر در رسوبات، تبادل یونی معکوس و همچنین ورود املاح از منطقه تغذیه به منطقه میانی و خروجی آبخوان و واکنش شیمیایی در مسیر می‌باشد.

۷- میزان غلظت بی‌کربنات در آبخوان قائم‌شهر - جویبار بین ۳/۲ تا ۸/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بوده و میانگین غلظت آن ۴/۸۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. تغییرات مکانی آنیون بی‌کربنات مشابه کلسیم بوده و غلظت آن در قسمت میانی و شمال آبخوان بیشتر می‌باشد. فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از سموم و کود یکی دیگر از عوامل افزایش یون کلسیم و بی‌کربنات می‌باشد.

۸- بررسی تغییرات مکانی نیتрат آب‌های زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار نشان می‌دهد که در نمونه‌های مورد مطالعه غلظت نیترات از ۱ تا ۲۶ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌یابد و میانگین غلظت این یون ۵/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر است. عامل افزایش نیترات در تعدادی از نمونه‌های برداشت‌شده از چاه‌های منطقه، عمق کم چاه‌ها، فعالیت زیاد کشت برنج و تبخیر در محدوده آبخوان می‌باشد.

۹- مقایسه غلظت نیترات با استاندارد آب آشامیدنی نشان می‌دهد که تمام نمونه‌های برداشت‌شده از آب زیرزمینی از نظر غلظت نیترات مطابق با استاندارد آب آشامیدنی (۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد.

۱۰- بر اساس نقشه‌ها و پارامترهای شیمیایی آبخوان قائم‌شهر - جویبار، کیفیت آب در جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب به شمال در اثر نفوذ آب شور آبخوان ساحلی کاهش یافته است. کیفیت آب

زیرزمینی در قسمت جنوبی در مجاورت سازندهای تغذیه کننده دشت که کربناته می‌باشد، خوب و مناسب بوده و به طرف خروجی دشت به خاطر نفوذ آب شور و رسوبات رس و مارنی از کیفیت آن کاسته شده است.

۱۱- بر اساس نمودار گیبس واکنش آب - سنگ، تبخیر احتمالی از آب زیرزمینی و نفوذ آب شور منشأ اصلی یون‌ها و تغییر کیفیت شیمیایی آبخوان قائمشهر - جویبار می‌باشد. در نمونه‌های مربوط به گروه یک آبخوان قائمشهر - جویبار نسبت‌های $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ و $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ پائین بوده و TDS بین ۱۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و لذا غلبه فرایند هوازدگی سنگ‌ها در شیمی آن‌ها را نشان می‌دهد. در نمونه‌های گروه دوم نسبت‌های یونی و TDS بالا بوده و بنابراین تبخیر و نفوذ احتمالی آب شور در شیمی این نمونه‌ها تأثیر گذار بوده است. نمودارهای ژئوشیمیایی ضمن تأیید فعال بودن واکنش‌های آب - سنگ در آبخوان، نشان دهنده تأثیر انحلال کلسیت، ژیپس، هالیت، نفوذ آب شور و تبادل یونی معکوس در کیفیت و تکامل شیمیایی آبخوان قائمشهر - جویبار می‌باشد.

۵-۳- پیشنهادها

۱- با توجه به این‌که آبخوان تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد شبکه کامل‌تر منابع انتخابی کیفی در این منطقه توسعه یابد تا بتوان اثرات کشاورزی را به‌طور جامع مورد بررسی قرار داد. بررسی سایر یون‌های مرتبط با فعالیت‌های کشاورزی نظیر فلزات سنگین پیشنهاد می‌گردد.

۲- با توجه به اهمیت آبخوان دشت قائمشهر - جویبار در تأمین آب مورد نیاز شرب و کشاورزی و تأثیر یون‌ها در کیفیت آبخوان، پیشنهاد می‌شود غلظت یون‌ها در طول سال به‌طور مداوم اندازه‌گیری و پایش شود.

۳- با توجه به اینکه منشأ یون‌ها در آبخوان، تحت تأثیر آب‌های سطحی از ارتفاعات شمالی البرز و فعالیت‌های کشاورزی بوده لازم است که محافظت از آب‌های سطحی از جمله رودخانه تالار و سیاه‌رود صورت گرفته و استفاده از کودها و سموم کشاورزی در منطقه با مدیریت جامع و کامل صورت پذیرد.

منابع مورد استفاده

- آقاناتی ع، (۱۳۸۵) "زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقازاده ن، اصغری مقدم ا، صمدی ن، (۱۳۸۷) "بررسی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ساحلی قالقاچی" چهارمین همایش زمین‌شناسی و محیط زیست.
- اهنزی ز، فرقانی تهرانی گ، جعفری ه (۱۳۹۲) "ارزیابی آلودگی فلزی در خاک‌های کشاورزی دشت مجن، استان سمنان" همایش ملی پژوهش‌های محیط زیست ایران، همدان، دانشکده شهید مفتاح.
- باقری ص، کاظمی غ، اصغری مقدم ا (۱۳۸۶) "تأثیر سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه سراب بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی" یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد.
- برزگر ر، اصغری مقدم ا، نجیب م، کاظمیان ن. (۱۳۹۴) "بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت تبریز با استفاده از مدل هیدروشیمیایی و روش‌های آماری" نشریه علمی و پژوهشی انجمن آبخیزداری ایران، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، صفحه ۳۹ - ۵۰.
- جوانمرد ز، اصغری مقدم ا، واعضی هیر ع، نجیب م (۱۳۹۳) "ارزیابی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان (شرق آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های آماری و هیدروشیمیایی" دومین همایش ملی بحران آب، دانشگاه شهرکرد.
- خلیلی ک، رسولی مجد ن، جباری آ، (۱۳۹۳) "ارزیابی اثر تغییر اقلیم در تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های ارومیه و کهریز)" همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی.
- رستمی زرین‌آبادی ا، (۱۳۹۰) "ارزیابی نقش عوامل زمین‌شناسی و فعالیت‌های کشاورزی در تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رومکشان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- سجادی ز، کلانتری ن، کشاورزی م، بوسلیک ز، احمدنژاد ز. (۱۳۸۹) "بررسی نفوذ آب شور خلیج فارس در آبخوان ساحلی عسلویه" چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.
- شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۹۸، مطالعات پایه منابع آب، مازندران، ایران.
- صداقت م (۱۳۹۰) "زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)" جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، تهران.

عزیزی ف، اصغری مقدم ا، ناظمی ا. (۱۳۹۶) "ارزیابی شوری آب زیرزمینی و تعیین منشأ یون‌ها در آبخوان ساحلی دشت ملکان با استفاده از نسبت‌های یونی" مجله علمی و پژوهشی دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز. دوره ۴۳ شماره ۳ صفحه ۴۳۷ - ۴۵۴.

علی‌زاده ا، (۱۳۸۰) "اصول هیدرولوژی کاربردی" چاپ سیزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی دانشگاه امام رضا، مشهد.

فخری م. س، اصغری مقدم ا، واعضی ع، (۱۳۹۲) "بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت مرند" اولین همایش زمین شیمی کاربردی ایران، دانشگاه دامغان، ص ۵۴۵-۵۵۲.

فخری م، اصغری مقدم ا، نجیب م، برزگر ر، (۱۳۹۴) "بررسی غلظت نیتрат در منابع آب زیرزمینی دشت مرند و ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی با روش های GODS و AVI" گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، محیط شناسی دوره ۴۱، شماره یک، بهار ۱۳۹۴، صفحه ۴۹-۶۶.

قره محمودلو م، حشمت‌پور ع، جندقی ن، زارع ع، مهرابی ح، (۱۳۹۷) "بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشت سیدان - فاروق، استان فارس" دانشگاه گنبد کاووس دوره ۵، شماره ۴، صفحه ۱۲۴۱-۱۲۵۳.

قناعتیان ح، (۱۳۹۱) "ارزیابی کیفی آبخوان مجن با تکیه بر آلودگی‌های ناشی از کشاورزی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کلاتگی م، جعفری ه، باقری ر، (۱۳۹۳) "ارزیابی آلودگی یون نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت شاهرود" هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.

کلانتری ن، علیجانی ف. (۱۳۸۷) "بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عباس استان خوزستان" مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز. شماره ۱۹.

کلانتریان ف، کرمی غ، (۱۳۸۸) "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی تنکابن" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.

کلانتریان س ف، محمدی فتیده ح. (۱۳۹۱) "بررسی آلودگی سفره آب زیرزمینی نسبت به نیترات و فسفات در شرق تنکابن" سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مختارپور ح، قلی‌نجاج م، (۱۳۹۱) "پدیده‌های زمین‌شناسی مازندران" چاپ اول، نشر رسانش نوین، تهران.

ندری ف، (۱۳۹۵) "بررسی اثرات کشاورزی بر شیمی آبخوان الشتر، استان لرستان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

هراثی س، اصغری مقدم ا، صدیق ح. (۱۳۹۰) "بررسی تغییرات کیفی آبهای زیرزمینی بر اثر افت سطح ایستابی دشت آذرشهر" مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین.

Abed - Shafy H, Guindi K, Tawfik N, (2008) "Groundwater Contamination as Affected by Long - Term Sewage Irrigation in Egypt" Efficient Managment of Wastewater, pp 53-63.

Back w, Hanshaw B, (1965) "Chemical geohydrology" in Advances in Hydrosience, V.T. Chow, ed,v.2, Academic Press, New York, pp.49-109

Bohlke J.K (2002) "Groundwater recharge and agricultural contamination" Hydrogeology Journal, Vol 10, pp 153- 179.

Chan H . J, (2001) "Effect of landuse and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea". Journal of Hydrology 253: 194–210.

Edmunds W. M, Shand p (2008). "Natural Groundwater Quality" Black Well Publishing, 469.

Feng Z. Z, Wang X. K, Feng Z. W, (2005) "Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District China" Agricultural water management, Vol 71, pp 131-143.

Gibbs R. J, (1970) "Mechanism controlling water world chemistry" Department of Geological Sciences, 170, 1088- 1090.

Graham M.J, Thomas J.A, Metting F.B, (1996) "Groundwater, in Water Resources Handbook, Mays L.W, McGraw - Hill, New York"

Guler C, Thyne G.D, (2004) "Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area, southeastern California, USA" Journal of Hydrology, 285, P.177-198.

Hounsflow A.W, (1995) "Water quality data analysis and interpretation" Lewis Publishers, CKC Press, LLC.

Langmuir, D (1997) "Aqueous environmental geochemistry" (Vol. 549). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Lazhar B, Lotfi M, Abderrahmane B. (2012) "Geochemical evolution of groundwater in an alluvial aquifer: Case of El Eulma aquifer, East Algeria" Journal of African Earth Sciences Page 46–55.

Liu F, Song X, Yang L, Zhang Y, Han D, Ma Y, Bu H (2015) " Identifying the origin and geochemical evolution of groundwater using hydrochemistry and stable isotopes in the Subei Lake basin, Ordos energy base, Northwestern China" Hydrology and Earth sistem Sciences Journal.

Liu G. D. Wu W. L, Zhang J (2005) "Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrat nitrogen in groundwater in northern china" Agriculture Ecosystems & Environment, Vol 107, pp 211-220.

Lenahan M. J, Bristow K. L (2010) “Redox controls on the mobility of agricultural nitrogen in groundwater systems in tropical northern Australia” *Journal of I.A.H*, Vol 38.

Lorent C, Causape J, Glud R. N, Hancke K, Merchan D, Muniz N, Val J, Navarro E (2015), “Impacts of agricultural irrigation on nearby freshwater ecosystems: The seasonal influence of triazine herbicides in benthic algal communities” *Science of the Total Environment* 503-504, PP 151-158.

Mazor, E. (2004) “Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology”

Subramani T, Elango L, Damodarasamy S.R, (2005) “Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India” *Environmental Geology*, 47, pp.1099-1110.

Todd D.K, Mays L.W (2005) “Groundwater hydrology” Third edition. John Wiley and Sons ins, New York, U.S.A.

Tsujimurab M, Charefa A, Tanakab T, Chkirbenea A, (2009) “Hydro-geochemical evolution of groundwater in an alluvial aquifer: Case of Kurokawa aquifer, Tochigi prefecture, Japan” *Laboratory of Hydrology, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan, Desalination* 485–495.

Welch H. L, Green C. T, Coupe R. H (2011) “The fate and transport of nitrate in shallow groundwater in northwestern Mississippi, USA” *Hydrogeology Journal* Vol 19, pp 1239-1252.

Xubo G, Xue Li, Wanzhou W, Chengcheng Li, (2020) “Human Activity and Hydrogeochemical Processes Relating to Groundwater Quality Degradation in the Yuncheng Basin, Northern China” *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Zhu D, Ryan C SUN B, Li C (2014) “The influence of irrigation and Wuliangsu Lake on groundwater quality in eastern Hetao Basin, Inner Mongolia, China” *Hydrogeology Journal*, Vol22, pp 1101-1114.

Abstract

Geological formations, water-rock interactions and anthropogenic activities such as agriculture and industry are the main factors changing the composition and quality of the groundwater resources in aquifers. Agricultural activities (rice cultivation and citrus) are dominant in the area of Qaemshahr-Juybar alluvial aquifer in Mazandaran province. So, this study was aimed to investigate the geochemical evolution of groundwater in this aquifer of Qaemshahr-Juybar. In this regard, 40 water samples were collected from operating wells at June 2019. Electrical conductivity (EC) and pH values were measured in the field and major and minor ions (nitrate and phosphate) were determined in Water and Environment Lab of the Shahrood University of Technology. Based on EC values, the samples were classified into two groups including Group I with $EC < 2000 \mu S/cm$ in which chemical compositions are mainly due to dominant hydrogeochemical processes in the aquifer and Group II with EC values more than $2000 \mu S/cm$ at the north of the aquifer where the groundwater overexploitations for agricultural uses caused saline water intrusion from Norther Saline Aquifer. Dominant type of water in Qaemshahr-Juybar aquifer is $Ca-HCO_3$. The quality of groundwater is good in southern parts nearby the carbonate formations, decreasing along the groundwater flow path toward the north due to saline water intrusion and presence of the clay and marl sediments. Geochemical diagrams confirms the occurrence of the water-rock interactions, showing the impact of the dissolution of calcite, gypsum and halite, saline water intrusion and reverse ion exchange in quality and chemical evolution of groundwater in Qaemshahr-Juybar aquifer.

Keywords: Chemical evolution, Water-rock interaction, agriculture, Qaemshahr-Juybar, Mazandaran



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M. Se. thesis in Hydrogeology

Geochemical evolution of groundwater in The alluvial aquifer of Qaemshahr -

Juybar

By:

Safora Heidari Cherati

Supervisor:

Dr.Hadi Jafari

October 2020

