مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره اول، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

وضعیت آلودگی منابع آب زیرزمینی حوضه قره‌سو از استان گلستان

*مهدی مفتاح‌هلقی[۱] و ابوطالب هزارجریبی[۱]
[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۸/٤/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲٦

چکیده

با توجه به پتانسیل به‌نسبت خوب آب زیرزمینی در حوضه قره‌سو در مقایسه با آب سطحی، انجام مطالعات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی این حوضه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. به‌منظور بررسی کیفی وضعیت آب زیرزمینی این حوضه پس از انجام مطالعات پایه مانند بررسی منابع آلوده‌کننده تأثیرگذار، اقدام به انتخاب نقاط نمونه‌برداری گردید. نقاط نمونه‌برداری شامل چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق بوده است. پراکنش این ایستگاه‌ها بر مبنای توزیع یکنواخت بر زیرحوضه‌های قره‌سو و منابع آلاینده اثرگذار بوده است. به این ترتیب ۵۷ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب گردید. به‌دلیل نوسانات اندک پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، نمونه‌برداری در دو دوره پرآبی (اردیبهشت) و کم‌آبی (مهر) انجام و آزمایش‌های لازم کیفی بر روی نمونه‌ها انجام شد. این آزمایش‌ها شامل آنیون‌ها، کاتیون‌ها، کلی‌فرم‌ها، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیک (BOD) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها نشان داد که در جهت حرکت به‌سمت شمال‌غرب یا نقطه خروجی حوضه قره‌سو بر میزان آلاینده‌ها افزوده می‌شود که این موضوع با کاهش عمق سطح آب زیرزمینی و جهت حرکت آب زیرزمینی هماهنگی کامل دارد. همچنین در بیش از ۹۰ درصد نقاط کیفیت آب برای شرب و کشاورزی مناسب است. دلیل اصلی پایین بودن کیفیت جهت شرب و کشاورزی، به‌طور عمده بالا بودن پارامترهای هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول در نزدیکی خروجی حوضه قره‌سو بوده است. همچنین براساس نمودار گیبز و نسبت یون‌های کلسیم به منیزیم (کم‌تر از یک)، اساس نهشته‌ها کانی‌های دولومیتی است.

واژه‌های کلیدی: حوضه قره‌سو، کیفیت آب زیرزمینی، نمودار ویلکوکس، نمودار شولر، نمودار گیبز

* مسئول مکاتبه: meftah_20@yahoo.com

مقدمه

منابع آلاینده، منابعی هستند که با وارد نمودن مواد خارجی به آب، خاک و هوا آن‌ها را از حالت طبیعی خارج ساخته و توازن و تعادل زیست‌محیطی را برهم می‌زند که برای انسان و موجودات مفید نخواهد بود. مواد آلوده‌کننده باعث تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک می‌گردند (عرفان‌منش و فنونی، ۲۰۰۲). منابع آلوده‌کننده شامل منابع آلوده‌کننده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای می‌باشد.

منابع آلوده‌کننده نقطه‌ای منابعی هستند که از یک نقطه و مکان مشخصی وارد محیط می‌گردد و شامل منابع آلوده‌کننده خانگی و صنعتی می‌باشند اما منابع آلوده‌کننده غیرنقطه‌ای منابعی هستند که از یک نقطه و مکان مشخص وارد محیط نمی‌شود این منابع شامل سموم و کودهای شیمیایی مصرفی در سطح حوضه می‌باشند که از طریق شستشوی خاک پس از بارندگی و زه آب‌های زراعی به سرشاخه‌ها و رودخانه قره‌سو هدایت و آب‌های زیرزمینی را هم آلوده می‌سازند. آلاینده‌ها از دو مسیر خاک و رودخانه‌ها، منابع آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کنند (مفتاح‌هلقی و گلعلی‌پور، ۲۰۰۷). به‌طورکلی آبی را آلوده می‌گویند که ترکیب آن تغییر پیدا کرده و نتواند مصرف حالت طبیعی خود را داشته باشد. آلودگی آب‌ها، علت اصلی آلوده‌سازی منابع آب زیرزمینی، آب‌های سطحی و نیز آب دریاها می‌باشد (زاپو، ۲۰۰۱).

آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تامین‌کننده آب مورد نیاز کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشند. آب زیرزمینی مانند هر منبع دیگری نامحدود نیست، از این‌رو آب‌های زیرزمینی باید به‌طور معقول مورد بهره‌برداری قرار گیرند و در مقابل آلودگی‌ها نیز حفاظت شوند. غلظت‌های بالای آلاینده‌ها، فلزات و عناصر سمی می‌تواند در آب‌های زیرزمینی نزدیک منابع آلودگی یافت شوند. همچنین بعضی از ترکیبات سمی که همراه با آلودگی‌های صنعتی مانند آرسنیک، سیانید، فلزات سمی، فنل و غیره هستند، ممکن است در آب‌های زیرزمینی در غلظت‌هایی یافت شوند که آب‌های زیرزمینی را برای مصارف آشامیدن و آبیاری نامطلوب نماید. آب‌های زیرزمینی ممکن است از طریق منابع مشخص و نامشخص آلوده گردند. صنایع از منابع مشخص آلودگی می‌باشند، که آلودگی و پسماندهای ناشی از آن‌ها سهم بزرگی در ایجاد بحران‌های زیست‌محیطی ایفا می‌کند. بنابراین باید آلودگی‌های این صنایع به‌طور اصولی کنترل شود تا باعث اثرات سوء بر محیط زیست به‌خصوص منابع آب زیرزمینی نشوند (پیشکاردهکردی و پورمقدس، ۲۰۰۶).

امروزه در دنیا تامین آب آشامیدنی و بهداشت شهرها از طریق استخراج منابع آب زیرزمینی متداول گردیده و مطالعات و بررسی‌های علمی فراوانی در مورد کیفیت آب زیرزمینی و پیش‌گیری از آلودگی این

منابع در بیش‌تر کشورها صورت گرفته است. کیفیت آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های مکانی و زمانی عمل کرده و نمی‌توان خواص آن را در طول زمان و مکان ثابت فرض کرد (نظری‌زاده و همکاران، ۲۰۰۶).

به‌طورکلی نفوذ آب‌های شور به سفره‌های ساحلی یک فرآیند هیدرودینامیکی پیچیده‌ای است که در اثر حرکت آب شور و آب زیرزمینی که دارای ویژگی‌ها و چگالی متفاوتی هستند، صورت می‌گیرد. موقعیت و میزان اختلاط بستگی به فاکتورهای مختلفی دارد که از آن جمله می‌توان به نسبت چگالی آب شور به آب زیرزمینی، تغییر رژیم جریان آب زیرزمینی، میزان تخلیه از آب زیرزمینی و میزان پراکندگی طولی و عرضی اشاره کرد (سامسودین و همکاران، ۲۰۰۸؛ خوبلاریان و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین ضرورت بررسی آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های ساحلی از جمله قره‌سو اهمیت به‌سزایی خواهد داشت.

امروزه بررسی تأثیر نفوذ پساب‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی و به دنبال آن آلوده کردن آب‌های زیرزمینی از دیرباز مورد توجه بیش‌تر محققان حتی در خارج از کشور قرار گرفته است. به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعات چن و همکاران (۱۹۷٤)، آلنباخ و تافل‌مایر (۱۹۷۵)، من (۱۹۷٦)، رانلز (۱۹۷٦)، باکستر و کلارک (۱۹۸٤)، فوپن (۲۰۰۲)، پرایس و همکاران (۲۰۰٦) و... اشاره نمود که همگی آنان ضرورت بررسی و مطالعه آلودگی آب‌ها را مورد توجه فراوان قرار داده‌اند.

مطالعات کیفی آب زیرزمینی در حوضه قره‌سو به‌رغم نمونه‌برداری‌های به‌عمل آمده تاکنون به‌طور منسجم انجام نشده است. در ارتباط با آلودگی آب‌های سطحی, مطالعاتی توسط مفتاح‌هلقی و مسگران‌کریمی (۱۹۹۷) و مفتاح‌هلقی و مسگران‌کریمی (۱۹۹۹) در زمینه منابع آلوده‌کننده آب و خاک و همچنین خودپالایی آب رودخانه قره‌سو انجام شده ولی در مطالعات یاد شده، وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی بررسی نشده است. آن‌ها با انتخاب تعدادی ایستگاه نمونه‌برداری بر روی رودخانه قره‌سو، پارامترهای کیفی را اندازه‌گیری و سپس وضعیت کیفی و خودپالایی رودخانه در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی را بررسی نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که در دوره کم‌آبی (ماه‌های خرداد تا شهریور) رودخانه قره‌سو توان خودپالایی ندارد.

در مورد مطالعات کیفی آب‌های زیرزمینی مطالعات جامع و کافی در سطح کشور نیز انجام نشده و دستورالعمل خاصی برای مطالعات آن پیش‌بینی نشده است. ولی محققان مختلف به‌صورت موردی مطالعاتی را انجام داده‌اند که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

راهی (۲۰۰۱) نقش عوامل زمین‌شناسی در تخریب اراضی و کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی استان بوشهر را مورد بررسی قرار داد. نتایج بررسی‌ها نشان داد وجود لایه‌های مارنی آهکی و گچی در سازندهای گروه فارس و همچنین رسوبات ریزدانه کواترنر که متشکل از ذرات ریزدانه ماسه، سیلت، رس و نوع بافت خاک، پایداری کم خاک‌دانه‌ها رابطه مستقیمی با پیدایش و توسعه آبکند در این مناطق و مهم‌ترین عامل در کیفیت آب‌های زیرزمینی مناطق مختلف وضعیت سازندهای زمین‌شناسی و پیش‌روی جبهه‌های آب شور بوده است.

کلانتری و علیخانی (۲۰۰۵) به‌منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از اطلاعات ۳۱ ایستگاه نمونه‌برداری در دشت عباس استفاده نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد سولفات که یون غالب است عامل مؤثری در شوری آب زیرزمینی می‌باشد.

نظری‌زاده و همکاران (۲۰۰٦) بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان را انجام داده و سه ویژگی هدایت الکتریکی، کلر و سولفات رو به توسعه و افزایش آب‌های زیرزمینی اراضی سد بالارود در ۱۵۰ کیلومتری شمال اهواز را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها عوامل مؤثر بر نتایج به‌دست آمده به سیر تکاملی افزایش برداشت آب زیرزمینی، ورود فاضلاب‌های شهری- صنعتی، فعالیت‌های زیست‌محیطی، گسترش سازند گچساران و آغاجاری و ریزدانه شدن رسوبات را بیان کردند.

به‌منظور ارزیابی کیفیت منابع آب در منطقه گرمابدشت از حوضه قره‌سو مطالعاتی توسط آرمان‌پور و همکاران (۲۰۰٦) انجام شد. نتایج به‌دست آمده از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها بیانگر تیپ بی‌کربناته کلسیک آب‌های زیرزمینی منطقه بوده و میزان سختی آب‌ها به‌ویژه در سازندهای سخت بسیار بالا بود. به‌طورکلی غلظت عناصر آهن، منگنز، نیترات، فسفات و آمونیاک در دشت نسبت به سازند سخت بالاتر بوده که افزایش مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها به‌دلیل فاکتورهای مختلف طبیعی و مصنوعی بوده است.

مطوری و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[1])، به پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت سبیلی و بخشی از دشت دز شرقی از نظر کشاورزی مبادرت ورزیدند. با استفاده از اطلاعات ۱۲٦ حلقه چاه کشاورزی پهنه‌بندی آب کشاورزی منطقه براساس طبقه‌بندی ویلکوکس انجام شد و مکان‌های مناسب جهت برداشت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی در منطقه موردنظر مشخص گردید.

1- Geographic Information System

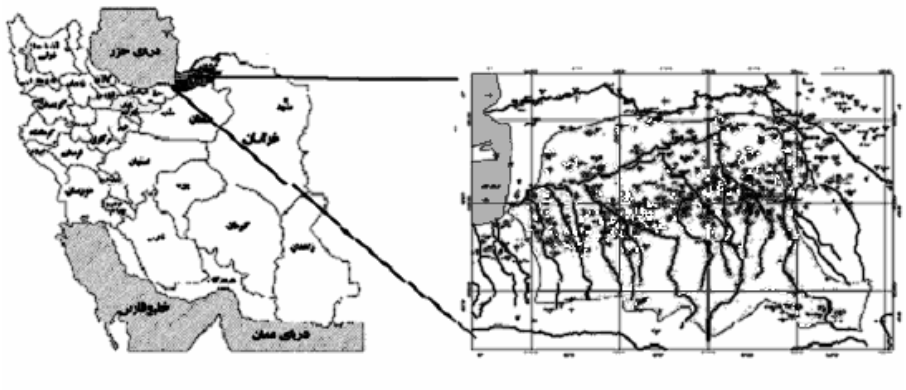
میرعباسی نجف‌آبادی و همکاران (۲۰۰۷) ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی و اثر آن بر کیفیت آب زیرزمینی دشت سیرجان را مطالعه نموده و نتیجه گرفتند که در دهه‌های اخیر کمبود منابع آب و رشد روزافزون برداشت آب زیرزمینی منجر به افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده و افت سطح آب زیرزمینی در این آب‌خوان باعث پیش‌روی سفره آب شور به‌سمت آب‌خوان سیرجان شده که باعث افت کیفیت آب زیرزمینی در قسمت‌های بزرگی از این دشت گردیده است.

هدف اصلی این پژوهش، بررسی راه‌کارهای حفاظت کیفی منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز قره‌سو از نقطه نظر کیفیت‌های شیمیایی و میکروبی می‌باشد. منابع آب زیرزمینی در منطقه گرمابدشت در حوضه قره‌سو، به‌عنوان تامین‌کننده بخش مهمی از آب شرب گرگان اهمیت ویژه‌ای دارد. برای این منظور لازم است وضعیت کیفی آب و منابع اثرگذار بر روی آن شناسایی شده تا بر مبنای آن راه‌کارهای مدیریتی و فنی حفاظت کیفی منابع آب ارایه گردد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه شامل حوضه آبریز قره‌سو در استان گلستان می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی ٥٤ درجه و ٢ دقیقه تا ٥٤ درجه و ٤٤ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ٣٦ درجه و ٣٧ دقیقه تا ٣٧ درجه و ٠٠ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این محدوده از شمال به حوضه آبریز گرگانرود در دشت ترکمن صحرا، از شمال‌غربی به دریای مازندران، از جنوب به حوضه نکارود در ارتفاعات البرز و از طرف شرق به رودخانه گرمابدشت محدود می‌شود. وسعت دشت مورد مطالعه ١٦٩٨ کیلومترمربع محاسبه شده که ٨٥٣ کیلومترمربع آن را سفره‌های آبرفتی تشکیل می‌دهند (مفتاح‌هلقی و مسگران‌کریمی، ١٩٩٩).

شهر اصلی منطقه گرگان می‌باشد که به‌عنوان مرکز اصلی حوضه مطالعاتی در نظر گرفته شده است. شاخه اصلی این رودخانه از جهت شرق به غرب جریان داشته و سایر شاخه‌های فرعی حوضه تقریباً به‌صورت عمود، این رودخانه را تغذیه می‌کنند. به‌طوری‌که رودخانه قره‌سو به‌عنوان زه‌کش رودخانه‌های جنوبی این حوضه عمل نموده و در انتها به خلیج گرگان تخلیه می‌گردد. طول شاخه اصلی از ابتدا تا محل ورودی به دریای مازندران حدود ٤٥/٥ کیلومتر برآورد گردیده است. در شکل ١ پراکنش چاه‌های بهره‌برداری محدوده مورد مطالعه که شامل حوضه قره‌سو و قسمتی از حوضه واقع در شمال‌شرق قره‌سو می‌باشد، نشان داده شده است.



شکل ۱- محدوده مطالعاتی و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری.

در حوضه آبریز قره‌سو، به‌دلیل استقرار واحدهای صنعتی، جوامع زیستی با جمعیت بالا (به‌خصوص جوامع انسانی)، محدودیت منابع آب و همچنین مصارف بالای آب در بخش‌های شرب و کشاورزی، ضرورت دارد با بررسی وضعیت کیفی آب، مشکلات موجود شناسایی و با انجام تدابیر مناسب، سبب کاهش خطرات زیست‌محیطی گردد.

براساس موقعیت منابع آلاینده و تخلیه آن‌ها به منابع آب و همچنین با توجه به اهداف بهره‌برداری از چاه‌های موجود و بالاخره جهت توزیع یکنواخت ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ۵۷ ایستگاه از مجموع چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در آب‌خوان قره‌سو، مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. از این ۵۷ نقطه نمونه‌برداری از آب‌خوان قره‌سو، ٤٦ مورد داخل مرز هیدرولوژیک و ۱۱ مورد خارج مرز هیدرولوژیک بوده است. برای این چاه‌ها، نام محل، نوع منبع و مختصات جغرافیایی منبع نمونه‌برداری مشخص شده است. لازم به ذکر است که حوضه قره‌سو دارای چندین زیرحوضه هیدرولوژیک می‌باشد که ضمن رعایت توزیع یکنواخت منابع انتخاب شده، سعی گردیده تعدادی از منابع یاد شده در بالادست حوضه‌ها به‌عنوان منابع به‌نسبت پاک، تعدادی در قسمت‌های میانی و اطراف منابع آلوده‌کننده و تعدادی در پایین‌دست زیرحوضه‌ها به‌عنوان نقاط تجمع آلودگی انتخاب گردد. در این خصوص نیز منابع چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق انتخاب شده‌اند.

با توجه به استقرار منابع آلاینده و همچنین شاخص‌های سنجش آلودگی آب پارامترهای pH، کاتیون‌ها شامل پتاسیم، سدیم، منیزیوم، کلسیم، آنیون‌ها شامل سولفات، کلر، بی‌کربنات، نیترات، نیتریت، فلئور، فسفات و سایر مشخصات مانند کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)،

اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD[1]) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD[2]) به‌عنوان شاخص‌های نمونه‌برداری تعیین شد. همچنین تراز و عمق سطح آب زیرزمینی بر مبنای اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای مشخص و منحنی‌های هم‌تراز و هم‌عمق ترسیم شده است.

آزمایش‌ها در آزمایشگاه‌های شرکت سهامی آب منطقه‌ای و حفاظت محیط زیست استان گلستان انجام شد. آزمایش‌های کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت‌سنج HACH CO-150، pH توسط pH متر Metrohem، کدورت با استفاده از کدورت‌سنج HACH-2100p تعیین شده و مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها با استفاده از دستگاه اسپکترومتر HACH CO-DR2000 و سختی کل از روش تیتراسیون دیجیتالی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری گردید.

در بررسی و تحلیل وضعیت کیفی منابع، هرچه تعداد نمونه‌برداری بیش‌تر باشد، دقت مطالعات افزوده خواهد شد. با توجه به نوسانات اندک پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، نمونه‌برداری در دو فصل کم‌آبی و پرآبی انجام شده تا محدوده تغییرات پارامترهای کیفی مشخص گردد. برای این منظور ماه اردیبهشت به‌عنوان ماه پرآبی و ماه مهر به‌عنوان ماه کم‌آبی در نظر گرفته شد. انتخاب این دو دوره به‌دلیل اثر دوره‌های تر و خشک و یا به‌عبارتی اثر دوره‌های کم‌آبی و پرآبی است. با توجه به محدود بودن فعالیت‌های صنعتی و ثابت بودن رژیم و الگوی کشت منطقه، امکان تغییر بارز در شرایط آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی در صورتی میسر خواهد بود که فعالیت‌های صنعتی در منطقه راه‌اندازی شده و یا تغییر کلی در شرایط زیست‌گاهی و یا الگوی کشاورزی رخ دهد که در شرایط فعلی نمونه‌برداری در این دو فصل عموماً شرایط حداکثر و حداقل غلظت پارامترهای اندازه‌گیری خواهد بود.

در آب‌های سطحی از نظر زیست‌محیطی، تعدادی از پارامترهای ذکر شده در بالا از جمله: pH، BOD، COD، کل جامدات محلول و نیترات از اهمیت بیش‌تری برخوردارند. اصولاً کیفیت آب‌های سطحی به ۵ دسته شامل عالی (پاک)، قابل‌قبول، آلودگی کم، آلوده و آلودگی شدید تقسیم‌بندی می‌شوند (اندرو و همکاران، ۲۰۰۳) اما هنوز دستورالعمل واحدی برای کیفیت آب‌های زیرزمینی ارایه نشده است و دستورالعمل‌های موجود متناسب با نوع مصرف متفاوت می‌باشند.

در بررسی‌های انجام شده برای تعیین کیفیت شیمیایی آب، از روش منحنی‌های گیبز (۱۹۷۰) و چادها (۱۹۹۹) و همچنین کیفیت آب در بخش‌های شرب و صنعت توسط روش‌های شولر (WHO،

1- Biochemical Oxygen Demand
2- Chemical Oxygen Demand

۱۹۸٤) و ویلکوکس (۱۹٤۸) استفاده شده است. این روش‌ها بر حسب مقادیر مختلف پارامترهای شیمیایی آب را در دسته‌بندی‌های متفاوت تقسیم‌بندی می‌کنند.

در روش گیبز (۱۹۷۰)، کیفیت بر حسب تغییرات نسبت یون سدیم به مجموع یون‌های سدیم و کلسیم و همچنین نسبت یون کلر به مجموع یون‌های کلر و بی‌کربنات به‌ازای کل جامدات محلول (TDS) سنجیده می‌شود و براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان منشاء یون‌های موجود را ردیابی نمود. در این روش می‌توان با تعیین یون‌های غالب، نوع کانی‌های غالب را تشخیص داد. در روش چادها می‌توان وضعیت عناصر قلیایی قوی‌تر مانند سدیم و پتاسیم را در مقابل سایر عناصر قلیایی و همچنین آنیون‌های اسیدی قوی‌تر را نسبت به آنیون‌های اسیدی ضعیف‌تر سنجیده و نوع یا علت شوری آب‌ها را تشخیص داد.

روش طبقه‌بندی ویلکوکس و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی است. در این روش از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها، مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR[1]) هر ایستگاه بر روی این دیاگرام ترسیم می‌گردد. معیارهای طبقه‌بندی در این روش به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- معیارهای طبقه‌بندی کیفیت آب براساس مقادیر *SAR* و *EC*.

نوع آب	حدود تغییرات *SAR*	طبقه	حدود تغییرات *EC* $EC\times10^{6}$	طبقه
خیلی خوب	۰-۱۰	S_1	۱۰۰-۲۵۰	C_1
خوب	۱۰-۱۸	S_2	۲۵۰-۷۵۰	C_2
متوسط	۱۸-۲٦	S_3	۷۵۰-۲۲۵۰	C_3
نامناسب	> ۲٦	S_4	> ۲۲۵۰	C_4

در این روش نمونه‌های واقع در کلاس C_1S_1 از نظر کیفیت در گروه آب‌های خیلی خوب قرار دارد. نمونه‌های واقع در کلاس‌های C_1S_2، C_2S_1 و C_2S_1 از نظر کیفیت در گروه آب‌های خوب قرار داشته و تقریباً برای تمام مصارف کشاورزی مناسب است. نمونه‌های واقع در کلاس‌های C_3S_3، C_1S_3، C_2S_3، C_3S_2، C_3S_2 از نظر کیفیت در گروه آب‌های متوسط قرار داشته و در اراضی درشت‌بافت و با زه‌کشی خوب مشکلی ایجاد نمی‌کند و مناسب می‌باشد. همچنین در خاک‌هایی که با این آب آبیاری

1- Sodium Adsorbsion Ratio

می‌شوند افزون مواد آلی اثر مهمی در جلوگیری از تخریب خاک دارد و در نهایت نمونه‌های واقع در کلاس‌های دارای C_4 و S_4 از نظر کیفیت در گروه آب‌های نامرغوب بوده و برای کشاورزی از نظر شوری و مقدار سدیم بالا مناسب نیستند.

جهت مشخص نمودن کیفیت آب از نظر شرب علاوه‌بر معیار قابلیت هدایت الکتریکی و باقی‌مانده خشک از دیاگرام شولر استفاده شده است. در این دیاگرام مقادیر حداکثر و میانگین و حداقل نتایج پارامترهای شیمیایی شامل: کلسیم، منیزیم، سدیم، مجموع باقی‌مانده خشک، سختی کل، کلر، سولفات و بی‌کربنات بدون در نظر گرفتن تاریخ برداشت نمونه رسم می‌گردد و وضعیت آب از نظر شرب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

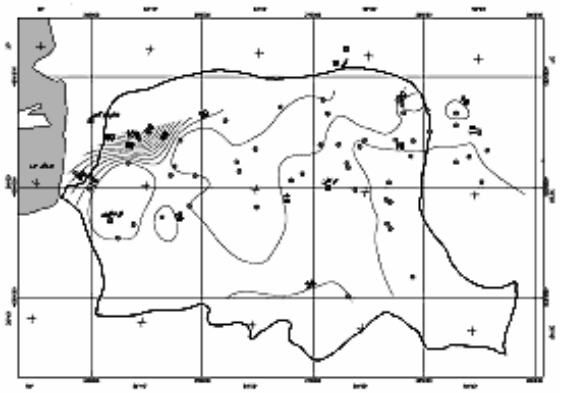
نتایج و بحث

به‌دلیل حجم بسیار زیاد داده‌ها، منحنی‌های هم‌کیفیت برای پارامترهای مختلف در دو نوبت آزمایش و همچنین برای متوسط داده‌ها ترسیم و مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در شمال‌غرب حوضه، مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها بیش از ۲ تا ۱۰ برابر مقدار متوسط می‌باشد. به‌طورکلی نقشه‌های ترسیم شده هم‌کیفیت نیز نشان می‌دهد که مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌ها از شرق و از جنوب به‌سمت شمال‌غرب به‌شدت افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که جمع آنیون‌ها یا کاتیون‌ها از مقدار کم‌تر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرق و جنوب‌شرقی تا بیش از ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در شمال‌غرب حوضه در نوسان است. بنابراین از نظر آنیون‌ها و کاتیون‌ها شمال‌غرب حوضه از کیفیت بسیار پایینی برخوردار است.

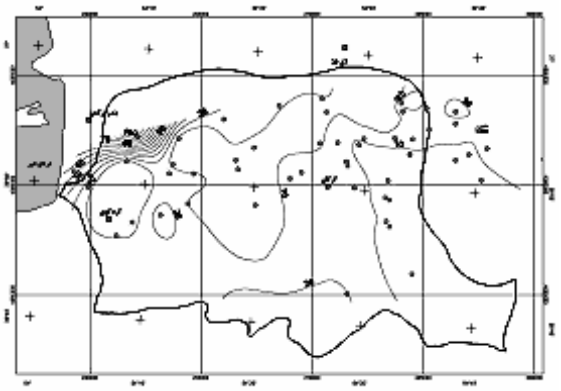
بررسی منحنی هم pH نشان می‌دهد که این پارامتر از نوسان کم‌تری نسبت به سایر پارامترها برخوردار است و نوسانات این پارامتر از ۸/۲–۶/۷ متغیر بوده است. بنابراین آب زیرزمینی حوضه به‌طور عمده در محدوده قلیایی ضعیف می‌باشد.

متوسط دو نوبت اندازه‌گیری مقدار EC برای حوضه قره‌سو، بر مبنای منحنی‌های هم EC، ۱۳۸۲ میکرومهوس بر سانتی‌متر نتیجه شده ولی نوسانات این پارامتر نسبت به آنیون‌ها و کاتیون‌ها بیش‌تر می‌باشد. حداکثر و حداقل مقدار مشاهده شده آن به‌ترتیب ۹۱۲۲ و ٤۱۱ میکرومهوس بر سانتی‌متر مشاهده شده است. نقشه‌های هم‌آنیون و هم‌کاتیون رسم شده (شکل‌های ۲ و ۳) و همچنین نقشه هم EC (شکل ٤) نشان می‌دهد که با حرکت از تمام نواحی حوضه به‌سمت شمال‌غرب بر میزان این پارامترها افزوده می‌شود. ضمن این‌که در شمال شرق حوضه این پارامتر به‌طور نسبی افزایش نشان می‌دهد.

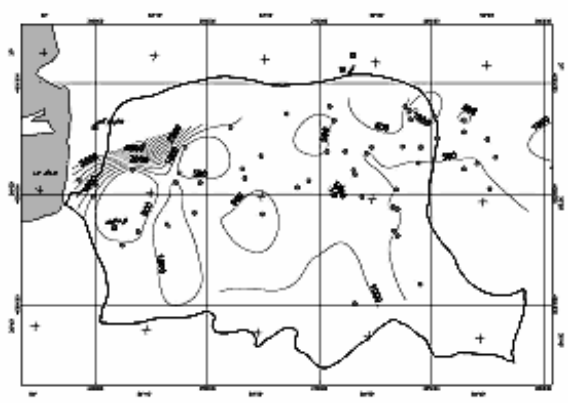
متوسط دو نوبت اندازه‌گیری TDS برای حوضه قره‌سو، بر مبنای منحنی‌های هم TDS، ۹۰۵ میلی‌گرم بر لیتر نتیجه شده است. حداقل و حداکثر این پارامتر به‌ترتیب ۲۷۱ و ٦٤٧٥ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شده است. نوسانات این پارامتر نیز همانند EC بالاست. بررسی نقشه هم TDS رسم شده (شکل ۵) همانند سایر منحنی‌ها نشان می‌دهد که با حرکت از تمام نواحی حوضه به‌سمت شمال‌غرب بر میزان این پارامتر افزوده می‌شود ضمن این‌که در شمال‌شرق حوضه این پارامتر مانند سایر پارامترها، به‌طور نسبی افزایش نشان می‌دهد. همچنین شمال‌غرب حوضه قره‌سو از نظر کیفی از وضعیت نامناسب‌تری نسبت به سایر نقاط حوضه برخوردار است. مشابه این وضعیت برای کیفیت آب‌های سطحی توسط مفتاح‌هلقی و مسگران‌کریمی (۱۹۹۷) به‌دست آمده است.



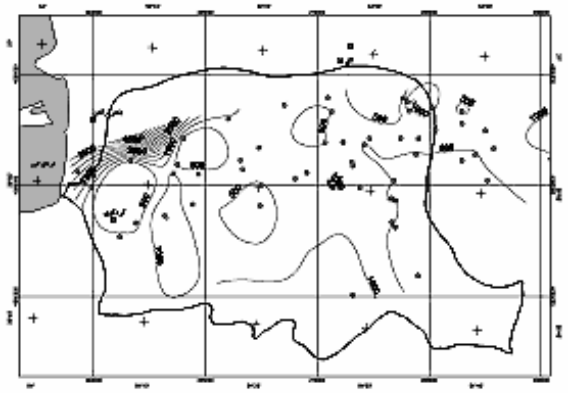
شکل ۲- خطوط هم‌آتیون برای نمونه‌های اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸٦ (متوسط دو فصل).



شکل ۳- خطوط هم‌کاتیون برای نمونه‌های اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸٦ (متوسط دو فصل).



شکل ٤- خطوط هم EC برای نمونه‌های اندازه‌گیری شده در سال ١٣٨٦ (متوسط دو فصل).



شکل ٥- خطوط هم TDS برای نمونه‌های اندازه‌گیری شده در سال ١٣٨٦ (متوسط دو فصل).

نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی بیانگر عمق سطح آب زیرزمینی تا سطح زمین می‌باشد. برای این منظور با استفاده از آمار سطح آب زیرزمینی چاه‌های منتخب، اقدام به ترسیم منحنی‌های هم‌عمق سطح آب زیرزمینی گردید (شکل ٦). تغییرات سطح آب زیرزمینی به‌رغم آن‌که تحت‌تأثیر رژیم بارش می‌باشد، به‌شدت تحت‌تأثیر حجم بهره‌برداری از آب‌خوان‌ها است. براساس بررسی‌های انجام شده، سفره آبرفتی محدوده مورد مطالعه، در ماه‌های مهر تا آذر دارای حداکثر عمق سطح آب و در ماه‌های فروردین تا اردیبهشت دارای کم‌ترین عمق سطح آب زیرزمینی می‌باشد. دوره‌های زمانی یاد شده به‌دلیل تقارن با دوره پرباران منطقه (آبان‌ماه تا فروردین‌ماه یا اردیبهشت‌ماه) و مصارف زراعی

(فروردین‌ماه تا شهریورماه) می‌باشد. از آنجا که یکی از عوامل مؤثر در وقوع آلودگی آب‌ها و ورود آلودگی به منابع آب زیرزمینی، عمق سطح آب زیرزمینی است، بنابراین هرچه این عمق کم‌تر باشد، آلاینده‌ها در زمان کم‌تری خود را به سطح آب زیرزمینی رسانده و منتشر می‌گردند. این نتیجه در پژوهش‌های نظری‌زاده و همکاران (۲۰۰۶) و پرایس و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده می‌شود.

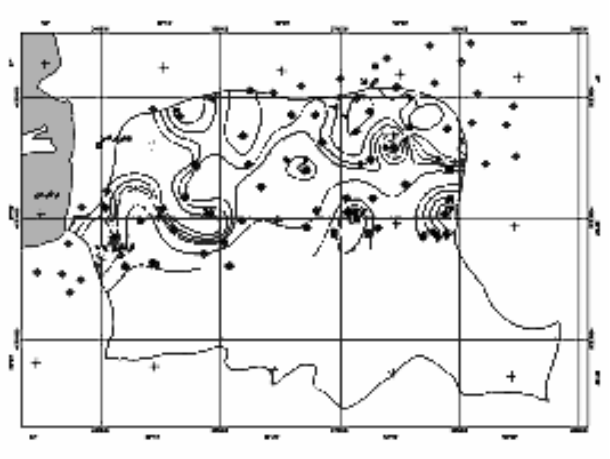
لازم به ذکر است که سطح آب زیرزمینی متأثر از تغییرات توپوگرافی منطقه می‌باشد و در مناطق با رقوم ارتفاعی بالا، عمق برخورد به آب زیرزمینی بالا خواهد بود. با بررسی نقشه ترسیم شده مشخص می‌شود که در محدوده مورد مطالعه، از جنوب به شمال و در بخش شمالی حوضه از شرق به غرب و در راستای کاهش ارتفاع توپوگرافی دشت، عمق سطح آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد. به این ترتیب حداکثر عمق سطح آب زیرزمینی در شرق حوزه و گرگان به‌ترتیب معادل ۷۰ و ۵۰ متر و حداقل عمق سطح آب در غرب حوزه (کردکوی) یک متر از سطح دریا می‌باشد. روند کلی منحنی‌ها تقریباً شرقی غربی بوده و درمناطق جنوبی به‌طور عمده تحت‌تأثیر توپوگرافی است. تحدب آن‌ها در مناطق مخروط افکنه‌ای به‌سمت شمال می‌باشد. در حاشیه رودخانه قره‌سو عمق سطح آب نسبت به مناطق دورتر از رودخانه پایین‌تر بوده و دلیل این امر زه‌کشی آب زیرزمینی سفره سطحی، به‌وسیله این رودخانه است.

با توجه به بررسی‌های انجام شده ملاحظه گردید که در مناطق شمالی سطح آب سفره نسبت به سال‌های قبل افت داشته و در مناطق جنوبی در بعضی نقاط افزایش سطح آب وجود دارد که رشد سطح آب ناشی از تغذیه فاضلاب شهری، آب برگشتی از تخلیه سفره‌های عمیق و تغذیه ناشی از آب مصرفی کشاورزی از منابع سطحی می‌باشد.

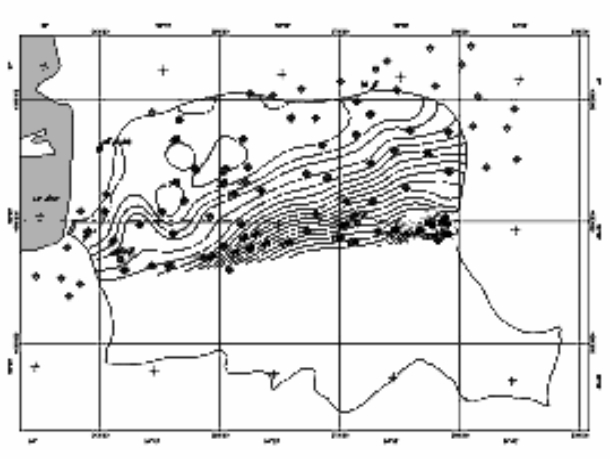
نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی بیانگر ارتفاع سطح آب زیرزمینی نسبت به سطح آزاد دریا است و از به هم پیوستن نقاط دارای بار پیزومتری یکسان نسبت به سطح دریا ترسیم می‌گردد. این منحنی در واقع جهت حرکت آب زیرزمینی را در هر منطقه نشان می‌دهد و عموماً از جهت شیب توپوگرافی تبعیت می‌کند. از آنجا که آلاینده‌ها پس از رسیدن به آب زیرزمینی در مسیر حرکت آب زیرزمینی انتقال و یا پخش می‌شوند، بنابراین ترسیم این نقشه در جهت شناخت مسیرهای انتقال آلودگی با اهمیت می‌باشد.

براساس قوانین هیدرولیک، آب‌های زیرزمینی در محیط متخلخل از نقطه‌ای با انرژی بیش‌تر به نقطه‌ای با انرژی کم‌تر حرکت می‌نماید. جهت جریان آب زیرزمینی عمود بر خط هم‌پتانسیل بوده که در جنوب رودخانه قره‌سو از جنوب به شمال، در مناطق شمال‌شرق از شرق به غرب و در شمال رودخانه قره‌سو نیز از شمال‌شرق به جنوب‌غرب به‌سمت رودخانه قره‌سو است. با توجه به روند منحنی هم‌پتانسیل و جهت جریان حاکم بر آب‌های زیرزمینی، ملاحظه می‌گردد که خروجی آب زیرزمینی محدوده در غرب منطقه (شرق دریای خزر) می‌باشد.

برای ترسیم منحنی هم‌پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه قره‌سو، از ارتفاع سطح آب زیرزمینی موجود چاه‌های منتخب استفاده شده و نقشه هم‌پتانسیل سطح آب زیرزمینی ترسیم شده است (شکل ۷). همان‌طورکه ذکر شد جهت اصلی جریان آب زیرزمینی در مناطق جنوبی قره‌سو از جنوب به شمال بوده و در شمال نیز از شرق به غرب و یا شمال‌شرق- جنوب‌غرب می‌باشد که این موضوع با جهت حرکت آنیون‌ها و کاتیون‌ها هماهنگ است.

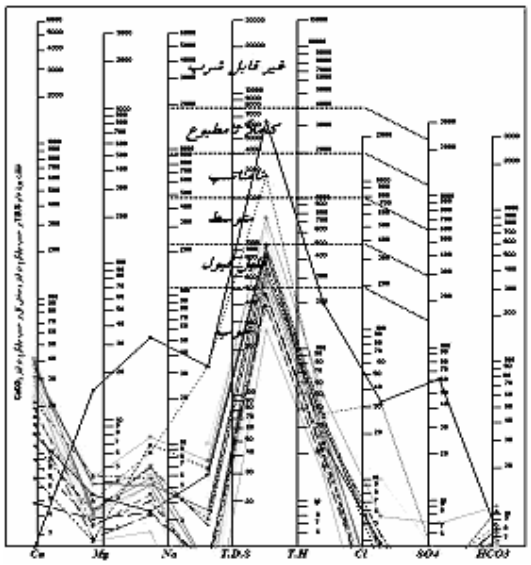


شکل ٦- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی حوزه قره‌سو.

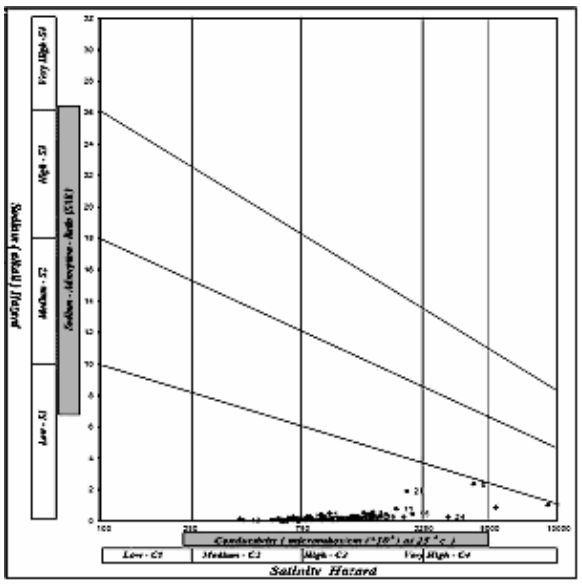


شکل ۷- نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی حوزه قره‌سو.

آب زیرزمینی در حوضه قره‌سو برای شرب مورد استفاده ساکنین آن قرار می‌گیرد، اما مصارف کشاورزی آن رقم بسیار بزرگی را در مقایسه با آب شرب داراست. عموماً آب شرب قابلیت استفاده در صنعت را دارد ولی به‌دلیل مصرف زیاد صنایع و هزینه‌های آن مقرون به صرفه نبوده و در بعضی از صنایع نیز محدودیت مصرف از نظر مقدار املاح وجود دارد. برای تعیین وضعیت کیفی آب برای مصارف شرب و کشاورزی به‌ترتیب شکل‌های ۸ و ۹ که در واقع نمودارهای شولر و ویلکوکس می‌باشد، ترسیم گردید. بررسی نمودار شولر نشان می‌دهد که غیر از پارامتر TDS تمامی پارامترها در کلاس خوب بوده و مشکل دیگری برای استفاده از آب در بخش شرب وجود ندارد. بررسی منحنی ویلکوکس نشان می‌دهد که ٦٣ درصد نمونه‌ها در کلاس C_3S_1، ٢٦ درصد نمونه‌ها در کلاس C_2S_1 و بقیه نمونه‌ها در کلاس‌های C_1S_1، C_4S_1 و C_2S_4 می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد آب مصرفی از شوری بالایی در کشاورزی برخوردار هستند.

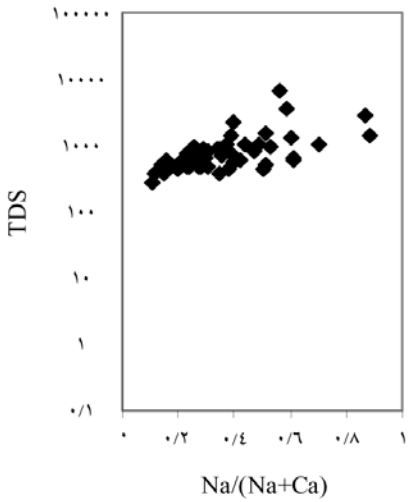


شکل ۸- طبقه‌بندی کیفی آب شرب براساس دیاگرام شولر.

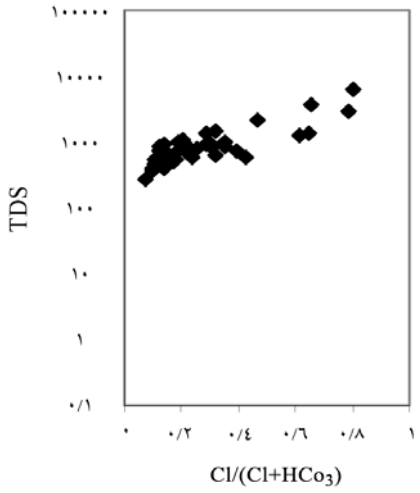


شکل ۹- طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی براساس دیاگرام ویلکوکس.

کیفیت شیمیایی آب‌ها می‌تواند تحت‌تأثیر عوامل متفاوتی باشد. این عوامل به‌طور عمده شامل لیتولوژی، بارندگی، تبخیر، نفوذ آب شور و غیره می‌باشد. به کمک داده‌های به‌دست آمده از کیفیت شیمیایی آب‌ها می‌توان منشاء آب‌های زیرزمینی را تعیین نمود (گیبز، ۱۹۷۰). با استفاده از مدل گیبز (۱۹۷۰)، شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به‌منظور تعیین یون‌های غالب ترسیم شده است. بررسی شکل نشان می‌دهد که نسبت یون‌های سدیم و کلر کم‌تر از یک بوده و منشاء یون‌های محلول بیش‌تر نقاط برداشت آب‌های منطقه مورد مطالعه تبخیری و در تعدادی از نقاط در ناحیه نوسانی است. نکته مهم این است که در نمودار گیبز، بیش‌تر نقاط در همسایگی بسیار نزدیک مرز آب‌های تبخیری و نوسانی هستند.



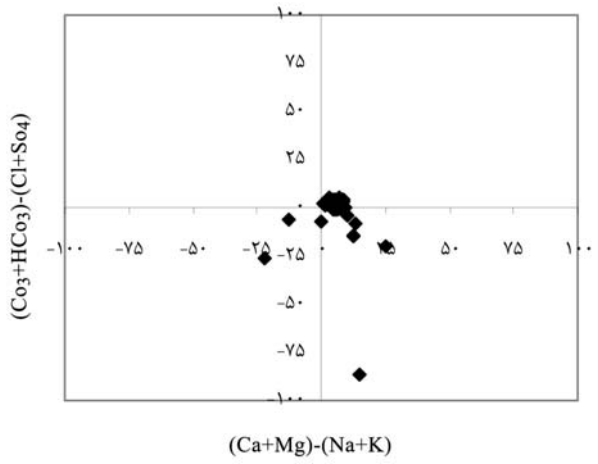
شکل ۱۰- تغییرات نسبت یون سدیم به مجموع یون‌های: سدیم و کلسیم به‌ازای کل جامدات محلول.



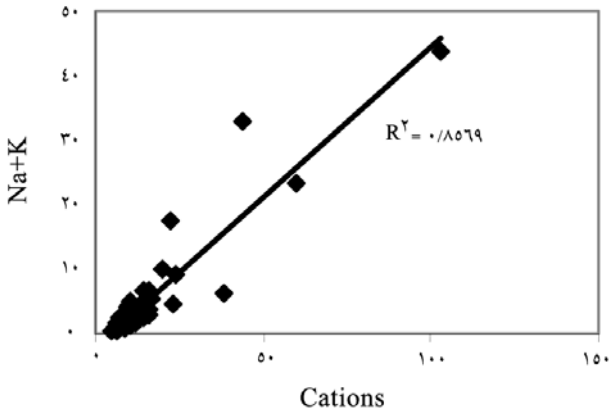
شکل ۱۱- تغییرات نسبت یون کلر به مجموع یون‌های کلر و بی‌کربنات به‌ازای کل جامدات محلول.

برای بررسی بیش‌تر موضوع نمودار چادها در شکل ۱۲ و همچنین پراکنش فلزات قلیایی خاکی سدیم و پتاسیم به‌ازای مجموع کاتیون‌ها و همچنین نسبت به یون کلر در شکل‌های ۱۳ و ۱٤ ترسیم گردید. نمودار چادها نشان می‌دهد که میزان فلزات قلیایی سدیم و پتاسیم نسبت به فلزات کلسیم و منیزیوم بیش‌تر است همچنین نسبت کلرید و سولفات بیش‌تر از مقدار کربنات و بی‌کربنات می‌باشد.

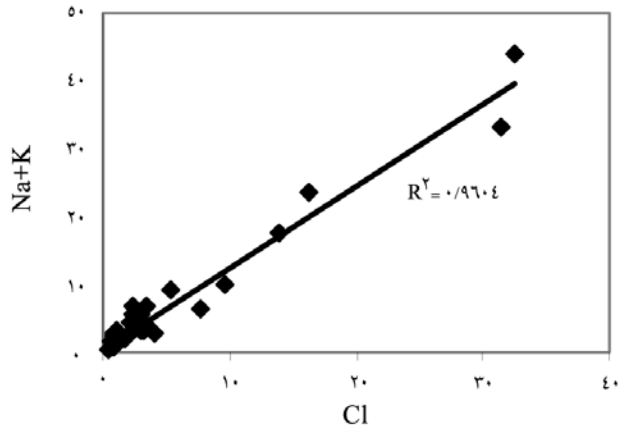
بررس شکل ۱۳ نشان می‌دهد که رابطه همبستگی بسیار خوبی بین یون‌های سدیم و پتاسیم با مجموع کاتیون‌ها وجود دارد (ضریب همبستگی ۰/۹۲٦) این رابطه بالا نشان‌دهنده مشارکت فزاینده یون‌های سدیم و پتاسیم در ترکیبات کل کاتیون‌ها می‌باشد. همچنین بررسی شکل ١٤ نشان می‌دهد که رابطه همبستگی بسیار خوبی بین کلرید با مجموع یون‌های سدیم و پتاسیم وجود دارد (ضریب همبستگی ۰/۹۸۰) بنابراین بررسی شکل‌های ۱۰ تا ١٤ و همچنین بررسی نسبت کلسیم به منیزیم دلالت بر نهشته شدن کانی‌های دولومیتی و در برخی موارد دولومیتی آهکی دارد.



شکل ۱۲- نمودار چادها برای آب زیرزمینی قره‌سو.



شکل ۱۳- تغییرات مجموع یون‌های سدیم و پتاسیم به‌ازای مجموع کاتیون‌ها.



شکل ١٤- تغییرات مجموع یون‌های کلر و سدیم به‌ازای یون کلر.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های آب زیرزمینی حوضه قره‌سو موارد زیر نتیجه شد:

۱- جهت حرکت تمامی املاح به‌سمت خروجی حوضه یا شمال‌غرب آن (مصب) می‌باشد. به‌دلیل مصرف زیاد آب زیرزمینی در این حوضه، نفوذ آب شور در نزدیکی مصب دلیل پایین بودن وضعیت کیفی آب در این ناحیه می‌باشد.

۲- براساس تقسیم‌بندی شولر، آب زیرزمینی مورد مصرف شرب حوضه، به غیر از پارامتر کل جامدات محلول (TDS) دارای مشکل خاصی نمی‌باشد.

۳- براساس تقسیم‌بندی ویلکوکس، آب زیرزمینی مورد مصرف کشاورزی حوضه، از شوری کمی بالا برخوردار است به‌طوری‌که ۷۰ درصد نواحی برداشت آب حوضه از شوری به‌نسبت زیاد تا زیاد برخوردار است که این مقدار در نواحی مصب تشدید می‌شود.

٤- درصد عمده شوری آب منطقه ناشی از وجود یون‌های سدیم، پتاسیم و تا حدودی بالا بودن سولفات می‌باشد. همچنین به‌دلیل این‌که نسبت یون کلسیم به منیزیوم کم‌تر از یک است، دلالت بر نهشته شدن کانی‌های دولومیتی و در برخی موارد دولومیتی آهکی دارد.

منابع

1.Andrew, M., Sincock, Howard, S., Weather, P., and Whitehed, G. 2003. Calibration and sensitivity analysis of a river water quality model under unsteady flow condition, J. Hydrol. 277: 214-229.
2.Armanpoor, S., Karami, Gh., and Yakhkeshi, E. 2006. Water Resources quality Investigation of Garmabdasht of Gorgan. P 167, 10th confrrence of Iranian Geology Assosiation, Tehran. (In Persian)
3.Aulenbach, D.B., and Tofflemire, T.J. 1975. Thirty-five years of continuous discharge of secondary treated effluent onto sand beds. Ground Water, 13: 2. 161-166.
4.Baxter, K.M., and Clark, L. 1984. Effluent recharge. The effects of effluent recharge on groundwater quality. Technical Report 199, Water Research Center, United Kingdom, 189p.
5.Chen, Y., Young, C.W., Jan, T.K., and Rotaghi, N. 1974. Trace metals in wastewater effluent. J. the Water Poll. Con. Federation, 46: 12. 2663-2675.
6.Erfanmanesh, M., and Fononi, M. 2002. Sanitary Pollutants (Water, Soil and Weather), Arkan Pub. Esfahan, 189p. (In Persian)
7.Foppen, J.W.A. 2002. Impact of high-strength wastewater infiltration on groundwater quality and drinking water supply: the case of Sana a, Yemen. J. Hydrol. 263: 198-216.
8.Gibbs, R.J. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry, Science, 17: 1088-1090.
9.Kalantari, N., and Alikhani, F. 2005. Effective Geochemistry Process on Dasht Abbas Ground water Quality in Khoozestan, 4th Conference of Iranian Environmental and Eng. Geology, Tehran, 139p. (In Persian)
10.Khublaryan, M.G., Frolov, A.P., and Yushmanov, I.O. 2008. Seawater Intrusion into Coastal Aquiefers, J. Hydrophys. Processes, 35: 3. 288-301.
11.Mann, J.F. 1976. Wastewater in the vadose zone of arid regions: hydrologic intractions. Ground Water, 14: 6. 67-373.
12.Meftah Halaghi, M., and Mesgaran Karimi, B. 1997. Investigation of Water and Soil Pollutant in Gharesoo Basin, Technical Report of Golestan Environmental Office, 176p. (In Persian)
13.Meftah Halaghi, M., and Mesgaran Karimi, B. 1999. Investigation of Water and Soil Pollutant in Gorganrood Basin, Technical Report of Golestan Environmental Office, 163p. (In Persian)
14.Meftah Halaghi, M., and Golalipor, A. 2007. Classification of Water Quality of Atrak River, Technical Report of Golestan Environmental Office, 177p. (In Persian)
15.Mirabbasi Najafabadi, R., Arabali Saveie, A., and Rahnama, M. 2007. Evaluation of groundwater Loss and Effect on Groundwater Quality in Sirjan, First Medical and Environmental Geology Conference, Tehran, 192p. (In Persian)

16.Motavveri, F., Rahimi, M., and Kalantari, N. 2007. Apply of GIS Techniques in Investigation of Dezful Groundwater Quality. P 217, In: The First Geomatic Conference, Tehran. (In Persian)
17.Nazarizadeh, F., Ershadeyan, B., Zandvakili, K., and Noori, M. 2006. Effect of Regional Groundwater Quality Changes in Balarood Desert in Khoozestan Province, First Regional Conference of Operation of Water Resources of Karoon and Zayanderood Basin, Ahwaz, 287p. (In Persian)
18.Pishkar Dehkordi, A., and Poormoghaddas, H. 2006. Effects of Industrial Seewage on Chemical Quality of Groundwater, First Conference of Sanitary Eng., Tehran, 211p. (In Persian)
19.Price, R.M., Fourqurean, J.W., and Swart, P.K. 2006. Geochemical evidence of brackish ground water discharge to coastal freshwater. Geological Society of America Abstracts, 38: 7. 103-112.
20.Rahi, Gh. 2001. Effect of Geology Factors in Erosion and Quantity and Quality of Groundwater in Booshehr, First Conference in Watershed Management and Water Supply in Basins, Tehran, 263p. (In Persian)
21.Runnells, D.D. 1976. Wastewater in the vadose zone of arid regions: geochemical intraction. Ground Water, 14: 6. 374-385.
22.Samsudin, A.R., Haryoni, R., Hamzah, U., and Rafek, A.G. 2008. Salinity Mapping of Coastal Groundwater Aquiefers Using Hydrogeochemical and Geophysical Methods: A Case Study From North Kelentan, Malaysia. Environmental Geology, 55: 1737-1743.
23.WHO. 1984. Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva, 1: 193.
24.Wilcox, L.V. 1948. The Quality of Irrigation Water. US Dept. of Agricultural Technology Bullten, 962:1-40.
25.Zoppou, C. 2001. Review of urban storm water model, Environmental modeling and Software, 16: 195-213.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(1), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Groundwater resources pollutant conditions in Gharesoo, Golestan Province

***M. Meftah Halaghi[1] and A. Hezarjaribi[1]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 2009/07/11; Accepted: 2011/01/16

Abstract

Considering the relative good potential of ground water in Gharesoo basin, compared to surface water, quantitative and qualitative studies of ground water resources in this area is very important. Followed by the basic studies such as effective pollutant resources, the qualitative studies were done on the selected places. The test points were consisted of deep and semi-deep wells. The distribution of these stations on the basis of uniform distribution has affected the Gharesoo sub-basins and pollutant resources. Thus 57 stations were chosen for sampling. Because of small variation of qualitative parameters of ground water, sampling in both wet (Ordibehesht month) and dry periods (Mehr month) and nessesary qualitative tests of samples were done. The tests consisted of anions, cations, colliforms, EC, TDS, BOD and COD. The results indicated increased rate of pollutants toward the north west or exit point of the Gharesoo basin and this was coordinated with decreasing the depth of ground water and its direction of movement. Furthermore, in more than 90 percent of places, quality of water was suitable for agriculture and drinking. The main reasons for the low quality of water for agriculture and drinking was high EC and TDS parameters in the proximity of Gharesoo exits. On the basis of Gibbs Diagram and ratio of Ca to Mg ions (less than one), dolomite minerals are dominant.

Keywords: Gharesoo basin, Ground water quality, Schuler diagram, Wilcox diagram, Gibbs diagram

[*] Corresponding Author; Email: meftah_20@yahoo.com