

استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی برای تشخیص نفوذ آب شور در چاه‌های آب (مطالعه موردی: شهر ساری)

*مجتبی قره‌محمودلو^۱، مصطفی رقیمی^۲ و ابولفضل طهماسبی^۳

^۱مربی گروه منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی گنبد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشیارگروه زمین شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و ^۲مربی گروه منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی گنبد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

تاریخ دریافت: ۸۵/۸/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۳۰

چکیده

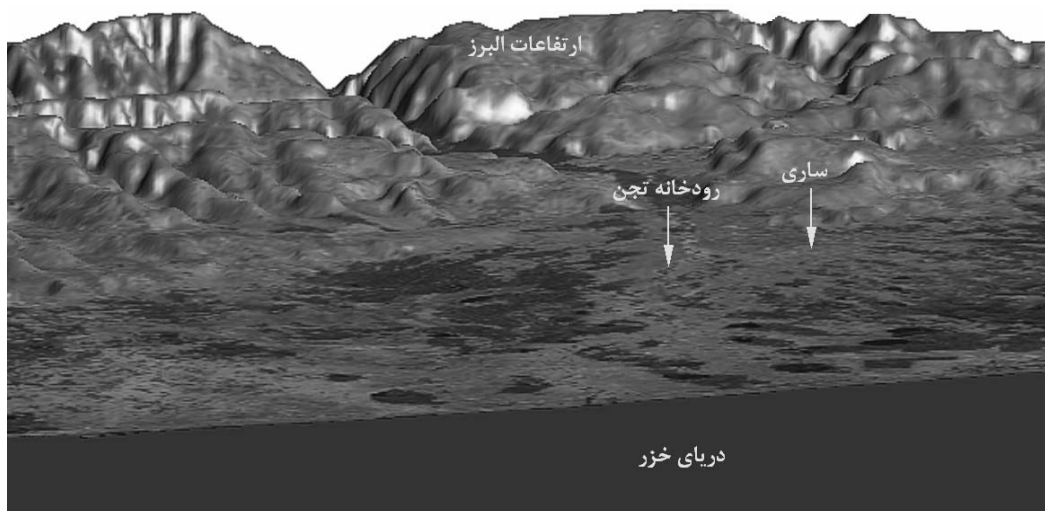
براساس مطالعات ژئوفیزیکی، آبخوان شهر ساری شبیه کاسه‌ای است که بیشترین ضخامت آن در شمال شرق شهر واقع شده است. مقادیر کم مقاومت الکتریکی (۱ اهم‌متر) در زیر آبخوان و مشخص نبودن سنگ کف احتمال وجود لایه آب شور را در زیر آبخوان افزایش می‌دهد. به منظور بررسی هیدروژئوشیمی آبخوان شهر ساری از اطلاعات مربوط به دو دوره نمونه‌برداری در پاییز ۱۳۸۳ و بهار ۱۳۸۴ استفاده شده است. براساس نمودار پایپر، وجود سه نوع رخساره هیدروژئوشیمی آب شیرین، ترکیبی و شور در آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه به اثبات رسیده است. وجود رخساره شور با ترکیبی نزدیک به آب دریا، همچنین افزایش نسبتاً سریع کل مواد جامد محلول در چاه‌های ۶ و ۷ و نزدیک شدن آنها به انتهای سیکل تکاملی هیدروژئوشیمیایی در نمودار دیورف احتمال اختلاط آب زیرزمینی را با آب شور در برخی چاه‌ها افزایش می‌دهد. باتوجه به نمودارهای ستونی، افزایش نسبتاً زیادی در میزان یون‌های کلر و سدیم چاه‌های ۶ و ۷ ساری دیده می‌شود. به منظور تکمیل مطالعات هیدروژئوشیمی از دو روش نمودارهای ترکیبی و رول برای اثبات نفوذ آب شور در آبخوان مورد مطالعه استفاده شده است. نمودارهای ترکیبی رسم شده بین یون‌های اصلی، نشان از یک روند خطی واضحی بین سدیم و کلر دارد. این موضوع بیانگر آن است که اختلاط بین آب شور و شیرین با نسبت‌های مختلف صورت گرفته است. براساس روش رول بیشترین مقدار نسبت یون کلرید به مجموع یون‌های بیکربنات و کربنات مربوط به چاه‌های ۶ و ۷ بوده و کمترین مقدار آن مربوط به چاه‌های ۳ و ۴ تنگه لته (جنوب شهر ساری) است. این روش نیز بیانگر نفوذ آب شور حاوی کلر در چاه‌های ۶ و ۷ شهر ساری است.

واژه‌های کلیدی: هیدروژئوشیمی، آبخوان، اختلاط آب زیرزمینی، نفوذ آب شور، ساری

مقدمه

شستشو به طور کامل صورت نگرفته و در برخی از مناطق آب شور به صورت زون‌های فسیلی در داخل آبخوان‌های ساحلی باقی مانده است.

دشت ساری بر اثر پایین افتادگی تدریجی دریای خزر شکل گرفته است (شکل ۱). همزمان با عقب‌نشینی آب دریای خزر جبهه آب شیرین ناشی از ارتفاعات شروع به شستشو و عقب راندن آب شور از رسوبات نموده؛ اما این



شکل ۱- نمایی سه بعدی از محدوده مورد مطالعه (مقیاس تقریبی ۱:۲۵۰۰۰۰).

آبخوان ساحلی باکار تا عمق حدود ۱۵۰ متر، باعث به وجود آمدن معابری شده است که آب زیرزمینی را در تماس مستقیم با آب دریا قرار داده است. در فصول خشک کاهش ریزش‌های جوی و برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی باعث گسترش زون تدریجی و هجوم آن به سمت آبخوان کارستی شده است، این عامل باعث شوری برخی از چشمه‌های کارستی در دوره‌های خشک شده است. همچنین اجرای پروژه سد زیرزمینی را با توجه به فرایندهای فعال کارستی، مؤثر ندانسته و اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و کنترل چاه‌های بهره‌برداری را بهترین روش را برای جلوگیری از پیشروی آب شور دانستند.

هاکس هج (۲۰۰۵) براساس مشاهدات غلظت یون کلر در پنج چاه رفتارسنجی و مطالعات هیدروژئوشیمی توانست نفوذ آب شور را در آبخوان شمالی آلبانی به اثبات برساند. سپس با استفاده از برنامه کامپیوتری SUTRA^۲ مدل سه بعدی براساس گسترش زمانی و مکانی هد هیدرولیکی و غلظت یون کلر طراحی نمود. مقادیر محاسبه شده‌ای را که در مدل سه‌بعدی و با استفاده از تغییر پارامترهای آبخوان به‌دست آورد، همخوانی زیادی با داده‌های مشاهده‌ای داشت.

مطالعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی انجام شده در آبخوان‌های ساحلی دریای خزر وجود برخی زون‌های آب شور ناشی از عقب نشینی دریای خزر را به اثبات رسانده است. زون‌های مذکور در برخی مناطق در تعادل با آب زیرزمینی و یا در زیر آبخوان می‌باشند. افزایش چشمگیر چاه‌های برداشت آب باتوجه به عمق بالای آنها در برخی مناطق موجب از بین رفتن تعادل بین آب شور و شیرین و نفوذ آب شور به‌داخل چاه‌ها شده است (کابلی، ۲۰۰۳).

مطالعه در مورد آبخوان‌های ساحلی در برخی کشورها به خاطر اهمیت نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی، اثرات زیست محیطی آن (شوری آب، شوری خاک، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و ...) و کمبود منابع آبی شیرین از اهمیت بالایی برخوردار است. بخشی از مطالعاتی که در زمینه نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی صورت گرفته به قرار زیر می‌باشد:

بیوندیک و همکاران (۲۰۰۵) برای یافتن علل شوری برخی از چشمه‌ها در آبخوان ساحلی باکار با استفاده از مطالعات ژئوتکنیکی (حفر چاه‌های پیزومتر^۱) و هیدروژئوشیمی نشان دادند که فرایند کارستی شدن در

1- Pizometr

گیسن و رندال (۲۰۰۶) در مقاله‌ای تحت عنوان مشکل نفوذ آب شور و فعالیت‌های حفاظتی آنها در جنوب شرقی جورجیا، ابتدا با استفاده از نقشه‌های هم‌میزان تغییرات مکانی و زمانی یون‌ها را مورد مطالعه قرار دادند، سپس به‌وسیله نمودارهای دو متغیره (نمودارهای ترکیبی) نفوذ آب شور را به اثبات برسانند. به‌طوری‌که افزایش غلظت هدایت الکتریکی و برخی از یون‌ها نظیر کلر و سدیم، همچنین وجود رابطه خطی بین کلر و سدیم با کل یون‌های اصلی را دلیلی بر نفوذ آب شور دریا در آبخوان ساحلی جنوب شرقی جورجیا دانستند.

خلیل (۲۰۰۶) برای مطالعه نفوذ آب شور در ناحیه ابو زینما در غرب سینا از ۶۰ سونداژ الکتریکی قائم شلومبرژه استفاده کرد. او با توجه به نقشه‌های هم‌مقاومت توانست مرز آب شور و شیرین را مشخص نماید. براساس مطالعات وی آب شیرین تا کمی شور مزه با مقاومت الکتریکی ۵۲ تا ۷۱ اهم متر به ضخامت ۱۷ تا ۶۶ متر بر روی لایه آب شور با مقاومت کمتر از ۵ اهم متر واقع شده است. مرزی که توسط مطالعات ژئوفیزیکی به‌دست آورد با اطلاعات مربوط به پیزومترها همخوانی بسیار خوبی داشت.

هدف از انجام این تحقیق ابتدا اثبات موقعیت منطقه آب شور و همچنین وضعیت کلی آبخوان براساس مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی بوده، سپس با استفاده از روش‌های مختلف هیدروژئوشیمی (نمودار دیورف^۱)، نمودارهای ترکیبی، روش رول و ... نفوذ آب شور در چاه‌های آب شرب شهر ساری به اثبات رسیده است.

مواد و روش‌ها

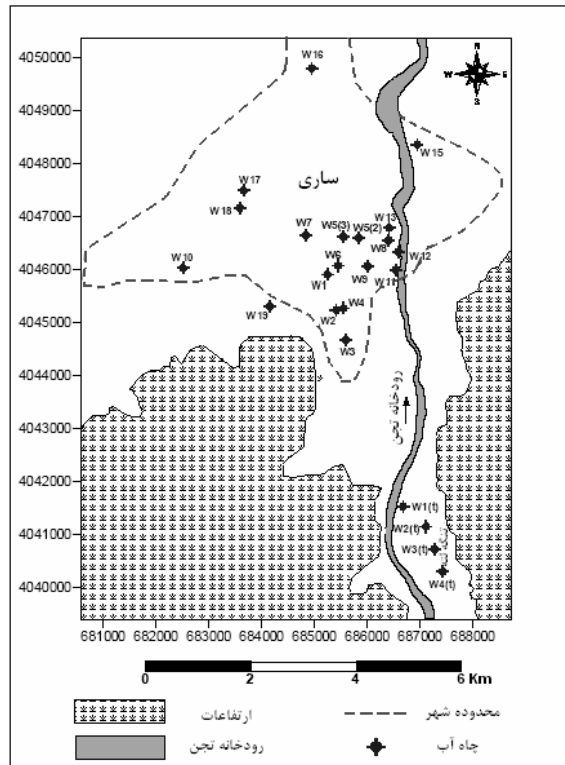
در این تحقیق از روش‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی جهت برآورد ضخامت رسوبات، تفکیک لایه‌ها در اعماق،

بررسی ویژگی‌های آبخوان و موقعیت زون^۲ آب شور استفاده شد. ضمناً نقشه زمین‌شناسی منطقه توسط نرم‌افزار Surfer ترسیم گردید. پس از اطمینان از وجود زون آب شور در زیر آبخوان مورد مطالعه، به‌منظور بررسی هیدروژئوشیمیایی چاه‌های آب شرب شهر ساری (شکل ۲) از اطلاعات مربوط به دو دوره نمونه‌برداری در پاییز ۱۳۸۳ و بهار ۱۳۸۴ استفاده شد. نمونه آب‌های برداشت شده از چاه‌ها در ظرف‌های پلاستیکی نگهداری شده و با اسید شستشو داده شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده نیز بر طبق روش‌های استاندارد تجزیه آب آشامیدنی در آزمایشگاه شیمی آب اداره کل آب و فاضلاب شهر ساری مورد آزمایش قرار گرفت. آنالیز شیمیایی آب چاه‌های شرب شامل اندازه‌گیری غلظت یون‌های اصلی بررسی میزان، کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی می‌باشد. برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی نمونه‌های آب از دستگاه هدایت سنج استفاده شد و برای اندازه‌گیری مقادیر آنیون‌های سولفات، بیکربنات، کلراید و کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم از دستگاه اسپکترومتر^۳ کمک گرفته شد و میزان سختی کل روش تیتراسیون^۴ دیجیتالی برحسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری گردید (تقوایی پور، ۲۰۰۰).

با استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمی و نرم‌افزارهای AqQa و Aquchem نفوذ آب شور در چاه‌های آب شرب شهر ساری بررسی شد. ابتدا توسط نمودار پایپر رخساره‌های هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی تعیین شده، سپس با استفاده از نمودار دیورف موقعیت نمونه‌های آبی در سیکل تکامل هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی بررسی گردید. در مرحله بعد به‌منظور بررسی تغییرات غلظت یون‌ها از نمودارهای ستونی استفاده شده است.

- 2- Zone
- 3- Spectrometr
- 4- Titration

- 1- Durov



شکل ۲- موقعیت منابع آبی شهر ساری.

۱- یک دسته (خوشه): در صورتی که پس از توزیع داده‌ها، نقاط به صورت یک دسته تجمع پیدا کنند نشان‌دهنده وجود یک منبع تغذیه‌کننده است، در واقع نقاط از یک سفره آب تغذیه شده‌اند.

۲- دو دسته: حالتی که نقاط روی نمودار در دو محل تجمع پیدا کنند، نشانه وجود دو منشأ مختلف و دو منبع تغذیه‌کننده متفاوت می‌باشند.

۳- حالت خطی: اگر نقاط توزیع شده حالت خطی پیدا کنند نشانه اختلاط^۱ دو آب شور و شیرین خواهد بود. البته این حالت را می‌توان به دو شکل کلی مورد بررسی قرار داد. - حالتی که در نتیجه برون‌یابی^۲ خط به مبدا محورها (محل دو عمود بر هم) برخورد نماید (نشان‌دهنده رقیق شدن آب شور توسط آب شیرین است).

- حالتی که در نتیجه برون‌یابی، خط به یکی از محورها برخورد نماید نشانه اهمیت آن پارامتر نسبت به دیگر یونها می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای تشخیص نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی و چاه‌های آب وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: ۱- روش رول که بر پایه نسبت غلظت یون کلر به مجموع یون‌های بیکربنات و کربنات استوار است. ۲- نمودارهای ترکیبی که براساس غلظت یون‌های اصلی در برابر غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها استوار می‌باشد. ۳- تهیه مقاطعی عمود بر ساحل دریا که تغییرات کیفی آب را نشان می‌دهد، این روش برای تعیین موقعیت کلی سطح مشترک آب شور و شیرین نیز مفید می‌باشد. ۴- اندازه‌گیری میزان یون برم، از این روش زمانی که اختلاط به وسیله آب فسیلی صورت گرفته باشد استفاده می‌شود و...

در این تحقیق با توجه به امکانات موجود از نمودارهای ترکیبی و روش رول استفاده شده است.

الف- نمودارهای ترکیبی: نمودارهای ترکیبی وسیله‌ای جهت نمایش اطلاعات حاصل از آنالیز شیمیایی می‌باشند. این نمودارها که براساس توزیع یک جفت پارامتر اندازه‌گیری شده بر روی محورهای افقی و عمودی تهیه می‌شوند، دارای حالات مختلفی می‌باشند، که هر یک تفسیر مشخصی خواهند داشت که در ادامه به آنها می‌پردازیم:

1- Mixing
2- Extrapolation

۴- حالت سه گوش مثلثی: این حالت در نتیجه اختلاط سه نوع آب مختلف تشکیل می‌شود که بسته به نوع یون‌های مورد بررسی، تفسیر خواهد شد.

۵- توزیع اتفاقی: این حالت که مربوط به نمونه‌هایی با ترکیبات مختلف و از منابع متفاوت می‌باشد، جهت بررسی کیفی مفید نبوده و چون احتمال خطا در اندازه‌گیری آنها وجود دارد، می‌بایست مجدداً مورد اندازه‌گیری قرار گیرد (میزر، ۱۹۹۱).

ب- روش رول^۱: روش رول معیار خوبی برای ارزیابی و تشخیص آلودگی آب‌های زیرزمینی به وسیله آب دریا یا آب‌های فسیلی است. این روش براساس معادله ۱ استوار می‌باشد:

$$(1) \quad \frac{Cl^{-}}{HCO_3^{-} + CO_3^{2-}}$$

Cl^{-} : غلظت یون کلراید (میلی گرم بر لیتر)

CO_3^{2-} : غلظت یون کربنات (میلی گرم بر لیتر)

HCO_3^{-} : غلظت یون بیکربنات (میلی گرم بر لیتر)

یون‌های بیکربنات و کربنات معمولاً فراوان‌ترین یون‌های موجود در آب‌های زیرزمینی هستند و در آب دریا به مقدار جزئی وجود دارند، در مقابل مقدار یون کلر در آب دریا بیش از یون‌های دیگر بوده اما در آب زیرزمینی معمولاً کم است. بنا بر نظر رول افزایش نسبت یون کلرید به مجموع یون‌های بیکربنات و کربنات می‌تواند دلیل خوبی بر نفوذ آب دریا در سفره‌های آبدار ساحلی باشد (صداقت، ۲۰۰۳).

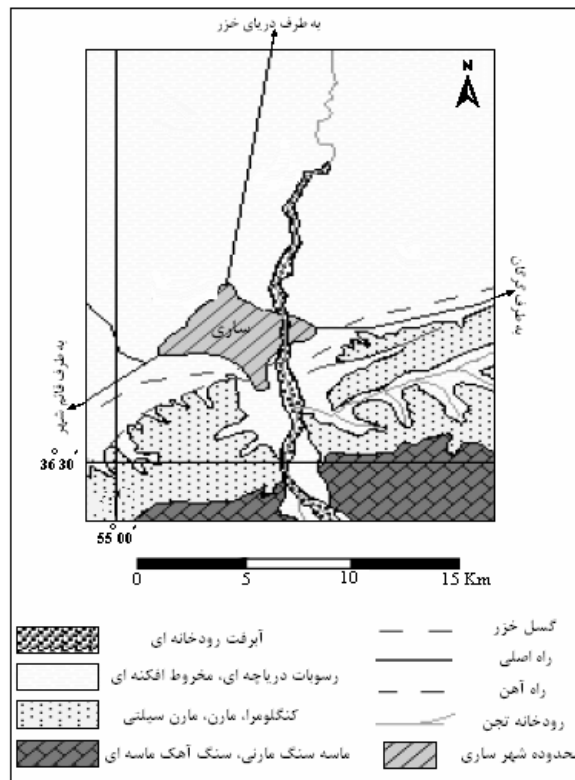
بنابراین جهت تکمیل اطلاعات با استفاده از دو روش نمودارهای ترکیبی و رول، به ترتیب اختلاط آب زیرزمینی و نفوذ آب شور به اثبات رسیده است.

نتایج و بحث

به لحاظ زمین‌شناسی رسوبات نهشته شده در دشت تماماً مربوط به عهد حاضر و شامل رسوبات دریاچه‌ای و مخروط افکنه‌ای است (شکل ۳). رسوبات دریاچه‌ای، مربوط به نهشته‌های دریای خزر می‌باشند. جنس رسوبات

عمدتاً تناوبی از ماسه‌های ریز و درشت مارن و رس بوده که در میان آنها صدف جانوران دریایی نیز یافت می‌شود. این رسوبات به دلیل پیشروی و پسروی دریا به صورت چینه بین‌انگشتی نهشته شده و چند سفره آب را تشکیل داده‌اند. رسوبات مخروط افکنه‌ای (آبرفت رودخانه‌ها) در محدوده مخروط افکنه رودخانه‌ها و در طول آنها تا دریا توسط رودخانه‌های جاری در این دشت به خصوص رودخانه تجن نهشته شده‌اند.

رسوبات آبرفتی دشت ساری دارای ضخامت و گسترش متفاوتی بوده و در مسیر رودخانه‌ها تحت تأثیر کند و کاو و رسوب‌گذاری رودخانه‌ها قرار گرفته‌است. به گونه‌ای که ضخامت رسوبات آبرفتی حاوی آب شیرین در طول مسیر رودخانه و مخروط افکنه زیاد بوده، ولی در فواصل بین رودخانه‌ای و بخش‌های پایانی دشت بسیار کم می‌باشد. مطالعات ژئوفیزیک دشت ساری در طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۷ توسط کمپانی ژنرال ژئوفیزیک^۲ و شرکت مهندسی مشاور آب‌کاو با هدف برآورد ضخامت رسوبات، تفکیک لایه‌ها در اعماق و بررسی ویژگی‌های آبخوان انجام شده‌است. بر این اساس آبخوان آبرفتی دشت ساری به شکل کاسه‌ای است که گودی آن در بخش مرکزی دشت واقع شده‌است و به سمت شمال و جنوب از ضخامت آن کاسته می‌شود. کاهش مقاومت ظاهری با کاهش اندازه ذرات از کوهپایه تا دشت همخوانی دارد. در زیر لایه مذکور مقاومت الکتریکی به شدت کاهش می‌یابد (کمتر از ۵ اهم متر). در گذشته نفوذ آب شور دریا و وجود زون‌های آب شور فسیلی ناشی از عقب نشینی دریای خزر، یکی از عوامل کاهش مقاومت در این قسمت بوده است. بنابراین نمی‌توان لایه مذکور را به‌عنوان سنگ کف در نظر گرفت. شایان ذکر است میزان شوری آب فسیلی موجود در رسوبات دریایی زیر آبخوان از شوری فعلی آب دریای خزر بیشتر می‌باشد (محمودلو، ۲۰۰۴).



شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه.

و ۵). براساس محل نمونه‌ها در نمودار پایپر و تقسیم‌بندی سیکدار^۱ و همکاران (۲۰۰۱) نمونه‌ها دارای چهار کلاس آب (Ca-Mg-HCO₃-Cl, Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-Cl و Mg-Cl-HCO₃) و سه رخساره هیدروژئوشیمیایی با خصوصیات زیر می‌باشند:

۱- رخساره آب شیرین: شامل کلاس‌های Ca-Mg-HCO₃-Cl و Ca-Mg-HCO₃ می‌باشد. این آب‌ها از لحاظ سختی در رده سبک قرار دارند و نسبتاً شیرین و قابل شرب می‌باشند. مقدار کل مواد جامد محلول^۲ این آب‌ها بین ۲۱۰ تا ۷۵۵ میلی‌گرم بر لیتر است و مقدار متوسط بی‌کربنات آن خیلی زیادتر از کلرید می‌باشد.

۲- رخساره آب ترکیبی: شامل کلاس Ca-Mg-Cl-HCO₃ می‌باشد. کیفیت این نوع تیپ در مقایسه با تیپ آب شیرین پایین‌تر است. مقدار کل مواد جامد محلول آب‌های ترکیبی، از ۵۰۰ تا ۹۵۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است این آب. از نظر سختی جزو آب‌های سخت بوده و مقدار

نتایج آنالیز چاه‌های آب شرب شامل یون‌های اصلی، هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول می‌باشد (جدول‌های ۱ و ۲). با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، چاه‌های مربوط به تنگه لته (جنوب شهر ساری) از لحاظ میزان غلظت یون‌ها و هدایت الکتریکی نسبت به چاه‌های مرکز شهر وضعیت بهتری دارند. به طوری که غلظت پارامترهای هیدروژئوشیمیایی در چاه‌های مذکور در کمترین مقدار است. با توجه به موقعیت چاه‌های تنگه لته (ابتدای سکانس تکاملی یونی) این امر بدیهی است و هرچه به سمت چاه‌های شمال شهر پیش می‌رویم غلظت یون‌ها افزایش می‌یابد. البته این افزایش منظم نبوده به طوری که در چاه‌های شماره ۶ و ۷ غلظت پارامترهای هیدروژئوشیمیایی افزایش چشمگیری داشته است.

جهت تعیین کلاس و رخساره هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی از نمودار پایپر^{۱۱} استفاده شده است (شکل‌های ۴

1- Sikdar

2- Total Dissolved Solids(TDS)

11- Piper

بی کربنات آنها مشابه آبهای شیرین می باشد. در این آبها غلظت کلرید نسبت به آبهای شیرین افزایش می یابد.

۳- رخساره آب شور مزه: شامل کلاس Ca-Mg-Cl است، در این تیپ مقدار کلرید افزایش قابل توجهی دارد در حالی که غلظت بی کربنات مشابه با تیپهای فوق است. میزان مقدار کل مواد جامد محلول آبهای شور مزه بین ۷۷۰ تا ۲۴۵۰ میلی گرم بر لیتر متغیر بوده و سختی بالایی (بیش از ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر بر حسب بی کربنات کلسیم) دارند.

وجود سه نوع رخساره متفاوت آب و طیف وسیعی از کلاس آب با توجه به محدوده نسبتاً کوچک مورد مطالعه و موقعیت آن در سکانس تکاملی (نزدیک به منطقه تغذیه)، نشان از بی نظمی در سکانس تکاملی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دارد (شکل های ۴ و ۵). نزدیک بودن آب برخی از چاهها (چاه شماره ۶ و ۷) به ترکیب آب زیرزمینی (رخساره آب شور) احتمال نفوذ آب شور در این چاهها را بالا می برد (اپلو و پوستما، ۱۹۹۴).

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی چاههای آب شرب شهر ساری- پاییز ۱۳۸۳ (یونهای اصلی و TDS^۱ بر حسب میلی گرم بر لیتر و EC^۲ بر حسب $\mu\text{mhos/cm}$).

چاه	TDS	EC	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na
۱	۷۶۴	۱۱۲۴	۳۴۰	۸۸	۸۲	۱۱۳	۲۹	۵۳
۲	۶۰۸	۹۳۶	۳۱۴	۹۵	۴۳	۱۰۲	۱۸	۵۱
۳	۴۹۳	۸۱۳	۳۰۰	۴۵	۲۹	۹۳	۱۷	۳۷
۴	۶۱۵	۹۰۵	۳۳۶	۱۲۴	۳۹	۱۱۰	۲۰	۴۸
۵(۲)	۶۳۸	۹۵۳	۳۱۸	۹۱	۶۵	۱۰۴	۲۹	۴۶
۵(۳)	۷۸۸	۱۱۶۱	۳۱۶	۹۵	۱۲۵	۱۰۴	۳۳	۷۴
۶	۱۰۱۸	۱۴۹۸	۳۲۶	۱۱۲	۲۶۳	۱۰۶	۳۷	۱۶۰
۷	۹۹۲	۱۴۸۱	۳۳۴	۱۰۰	۱۸۵	۱۰۹	۵۲	۹۲
۹	۶۶۸	۸۱۰	۳۹۰	۲۰۸	۱۱۰	۱۰۰	۳۰	۳۱
۱۰	۶۸۱	۹۸۸	۳۱۸	۸۶	۷۰	۱۰۴	۲۸	۴۶
۱۱	۵۹۸	۸۹۲	۳۱۴	۹۰	۴۲	۱۰۲	۱۶	۴۳
۱۲	۵۷۸	۹۴۳	۲۹۸	۹۴	۵۷	۹۶	۲۳	۴۲
۱۳	۵۸۹	۸۵۲	۲۷۳	۹۱	۳۷	۸۹	۱۴	۴۹
۱۵	۵۶۸	۸۶۰	۲۶۶	۸۳	۳۲	۹۰	۱۵	۴۱
۱۶	۷۹۰	۱۱۶۳	۳۶۲	۷۷	۵۷	۱۱۸	۲۷	۵۴
۱۷	۷۴۸	۱۱۰۰	۳۷۳	۱۵۱	۷۲	۱۲۲	۲۶	۴۷
۳(ت)	۴۶۵	۷۸۰	۲۸۷	۶۶	۲۴	۱۰۰	۲۱	۲۴
۴(ت)	۴۵۸	۷۷۲	۲۸۵	۴۰	۲۶	۹۸	۲۲	۲۳
میانگین	۶۶۹/۹	۱۰۰۲	۳۱۹	۹۷	۷۶	۱۰۳	۲۵	۵۳
بیشترین	۱۰۱۸	۱۴۹۸	۳۷۳	۱۵۱	۲۶۳	۱۲۲	۵۲	۱۶۰
کمترین	۴۵۸	۷۷۲	۲۶۶	۴۰	۲۴	۸۹	۱۴	۲۴

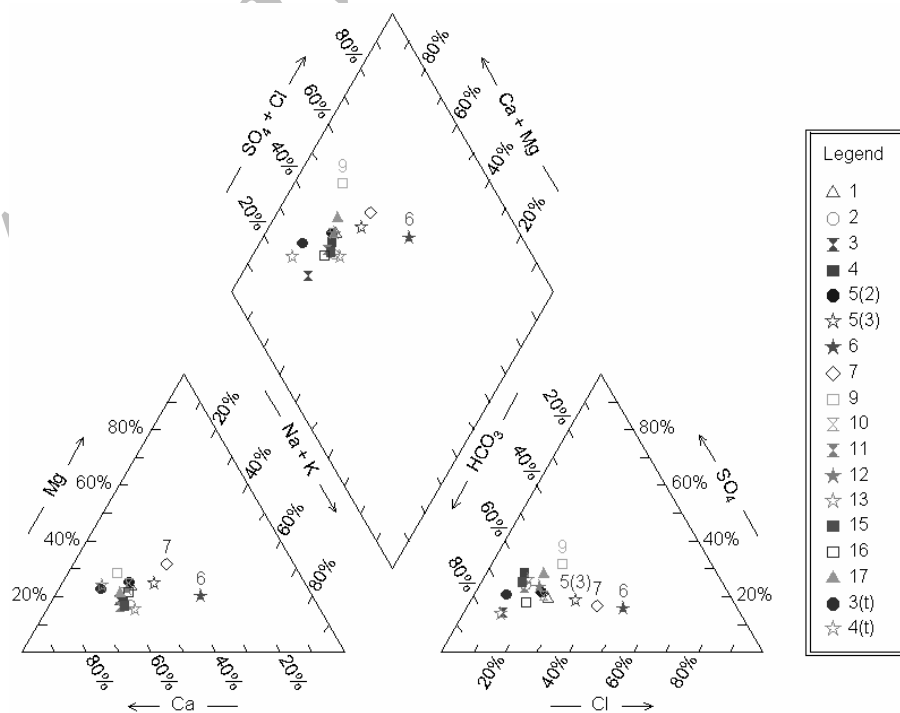
t: تنگه لته

1-Total Dissolved Solids
2- Electrical conductivity

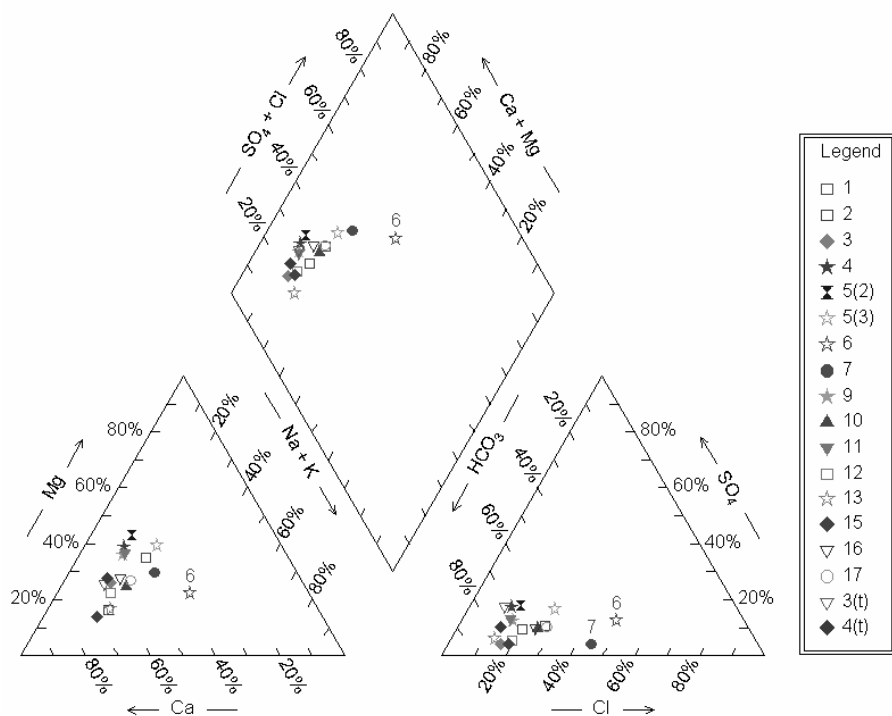
جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی چاه‌های آب شرب شهر ساری - بهار ۱۳۸۴ (یون‌های اصلی و TDS برحسب میلی‌گرم بر لیتر و EC برحسب $\mu\text{mohs/cm}$).

چاه	TDS	EC	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na
۱	۵۴۰	۱۱۵۰	۴۵۲	۵۸	۱۱۳	۱۰۶	۵۰	۵۸
۲	۴۰۸	۸۶۹	۳۸۴	۳۸	۶۴	۱۱۶	۱۷	۳۹
۳	۳۴۷	۷۳۹	۳۶۰	۱۴	۴۳	۸۸	۲۳	۲۵
۴	۳۹۲	۸۳۵	۳۹۷	۷۷	۴۳	۹۴	۴۵	۲۸
۵(۲)	۴۴۴	۹۴۵	۴۳۹	۹۱	۶۰	۹۶	۵۶	۳۲
۵(۳)	۵۲۴	۹۹۶	۴۳۰	۹۷	۱۲۰	۹۷	۶۰	۶۵
۶	۱۰۰۲	۱۴۱۰	۴۱۰	۹۹	۲۹۳	۱۱۰	۴۰	۱۴۳
۷	۶۵۷	۱۳۹۷	۴۳۹	۲۴	۲۲۳	۱۱۶	۴۷	۸۰
۹	۳۸۶	۸۲۲	۳۹۱	۵۳	۵۰	۹۰	۳۹	۲۸
۱۰	۴۸۰	۱۰۲۲	۴۳۳	۴۸	۹۶	۱۲۲	۳۳	۵۱
۱۱	۳۶۸	۷۸۴	۳۷۸	۵۳	۴۶	۸۶	۳۸	۲۸
۱۲	۳۷۵	۷۹۷	۳۸۴	۱۹	۵۷	۱۰۲	۲۲	۳۲
۱۳	۳۸۲	۷۶۲	۳۷۸	۲۱	۳۷	۹۷	۱۵	۳۴
۱۵	۳۷۷	۸۰۲	۳۷۲	۱۴	۵۳	۱۱۰	۱۳	۳۰
۱۶	۵۳۵	۱۱۴۲	۴۷۶	۵۳	۱۰۳	۱۳۴	۴۰	۴۸
۱۷	۵۶۳	۱۱۹۶	۴۷۶	۵۸	۱۲۴	۱۳۲	۴۰	۶۰
۳(ت)	۳۶۶	۷۷۹	۳۸۴	۷۲	۳۵	۱۱۲	۲۸	۲۸
۴(ت)	۳۶۱	۷۶۹	۳۸۴	۳۸	۳۹	۱۰۰	۲۸	۲۵
میانگین	۴۷۳	۹۵۶	۴۰۹	۵۲	۸۹	۱۰۶	۳۵	۴۶
بیشترین	۱۰۰۲	۱۴۱۰	۴۷۶	۹۹	۲۹۳	۱۳۴	۶۰	۱۴۳
کمترین	۳۴۷	۷۳۹	۳۶۰	۱۴	۳۵	۸۶	۱۳	۲۵

t: تنگه لته



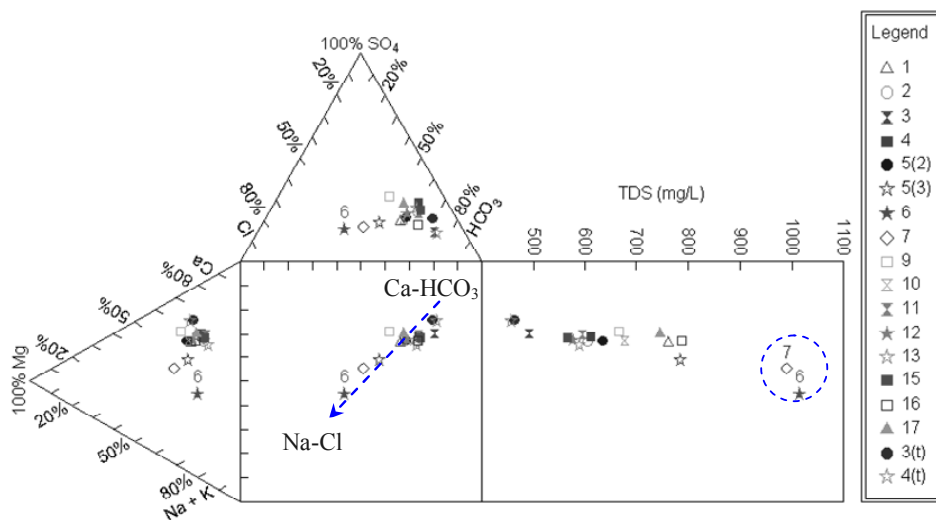
شکل ۴- نمودار پایپر منابع آبی شهر ساری در پاییز ۱۳۸۳.



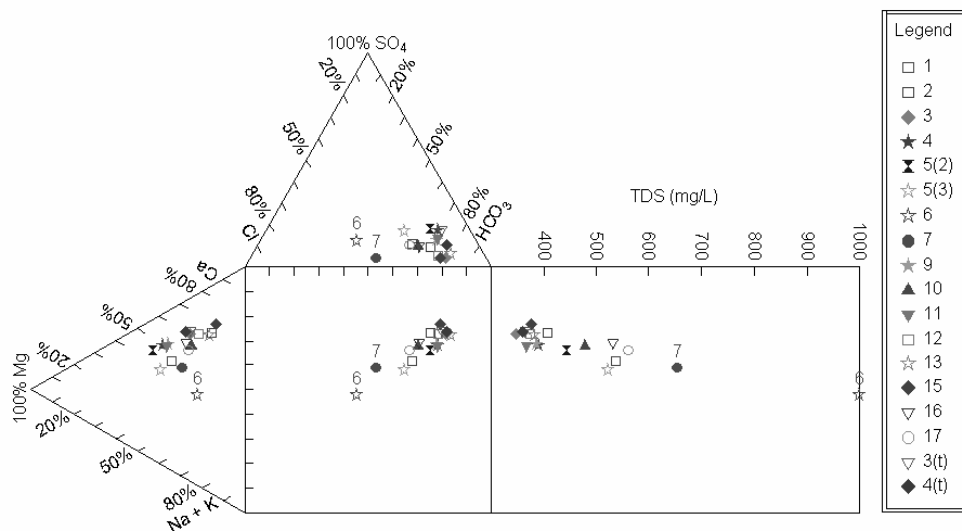
شکل ۵- نمودار پایپر منابع آبی شهر ساری در بهار ۱۳۸۴.

کلریده نزدیک شده است. این تمایل در چاه‌های شماره ۶ و ۷ و در بهار ۱۳۸۴ محسوس‌تر می‌باشد (قسمت مستطیل شکل ۷). بنابراین افزایش ناگهانی میزان کل مواد جامد محلول و نزدیک شدن به تیپ بی‌کربناته در مسیر نسبتاً کوتاه، نشان از اختلاط آب چاه‌های شماره ۶ و ۷ با منبع آبی دیگری دارد که از کیفیت نسبتاً پایینی برخوردار می‌باشد.

با توجه به قسمت مستطیل شکل نمودار دیورف، افزایش ناگهانی کل مواد جامد محلول (به بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در برخی از چاه‌ها طبیعی نیست. روند نسبتاً خطی آنها در قسمت‌های مستطیل شکل و مربع شکل نمودارهای دیورف (شکل‌های ۶ و ۷)، نشان از تمایل آنها برای رسیدن به انتهای سیکل تکاملی هیدروژئوشیمیایی دارد (کارانس، ۲۰۰۱). به طوری که با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه، در مسیر کوتاهی از تیپ بی‌کربناته به تیپ



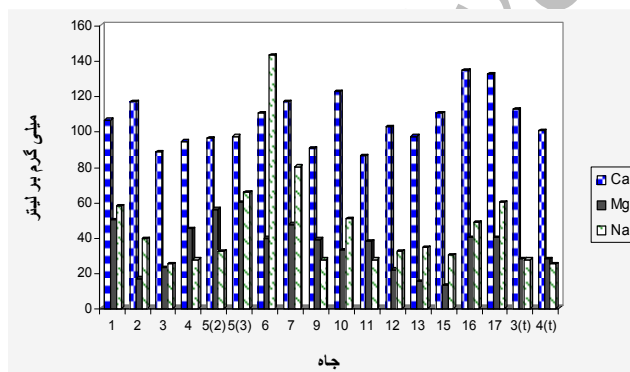
شکل ۶- نمودار دیورف منابع آبی شهر ساری در پاییز ۱۳۸۳.



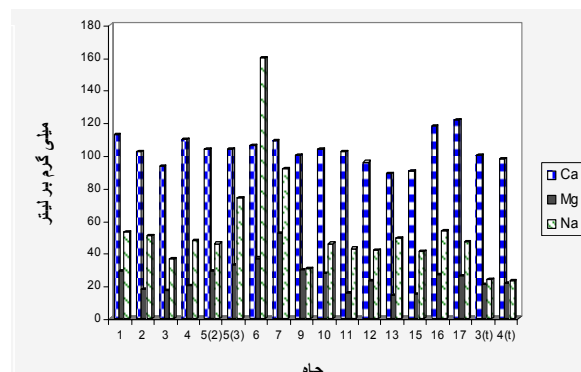
شکل ۷- نمودار دیورف منابع آبی شهر ساری در بهار ۱۳۸۴.

می‌باشد. به طوری که میزان غلظت سدیم در فاصله بهار تا پاییز بین ۱۱۸ تا ۱۳۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد، البته میزان تغییرات یون کلر بیشتر می‌باشد زیرا از ۲۳۹ میلی‌گرم بر لیتر در پاییز به ۲۵۸ میلی‌گرم در بهار افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که بیشترین تغییر در میزان سدیم و کلر در چاه‌های شماره ۶ و ۷ اتفاق افتاده است.

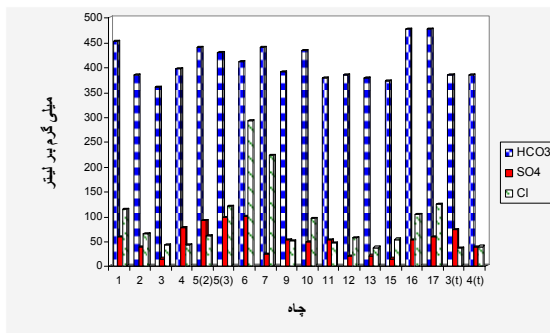
به منظور بررسی دقیق‌تر تغییر میزان غلظت یون‌های اصلی چاه‌های آب شرب شهر ساری از نمودارهای ستونی استفاده شده است (شکل‌های ۸ تا ۱۱). با توجه به نمودارهای مذکور تغییرات میزان غلظت یون‌ها از روند خاصی پیروی نمی‌کند. بیشترین تغییرات برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها در هر دو فصل به ترتیب مربوط به یون سدیم و کلر



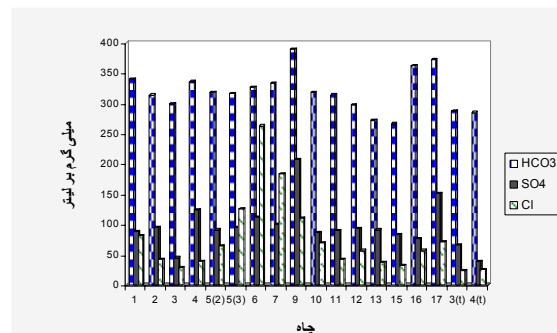
شکل ۹- نمودار تغییرات غلظت کاتیون‌ها در بهار ۱۳۸۴.



شکل ۸- نمودار تغییرات غلظت کاتیون‌ها در پاییز ۱۳۸۳.



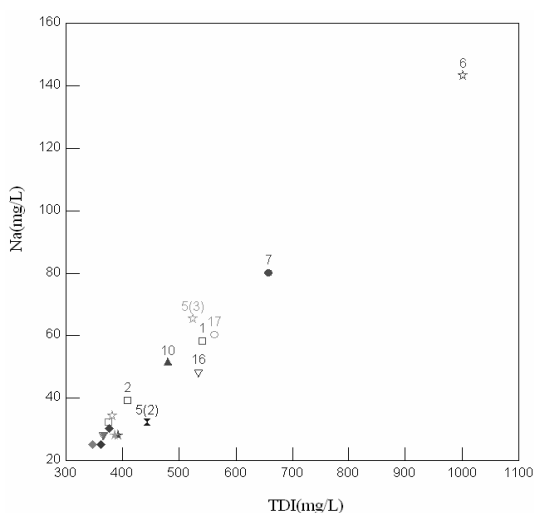
شکل ۱۱- نمودار تغییرات غلظت آنیون‌ها در بهار ۱۳۸۴.



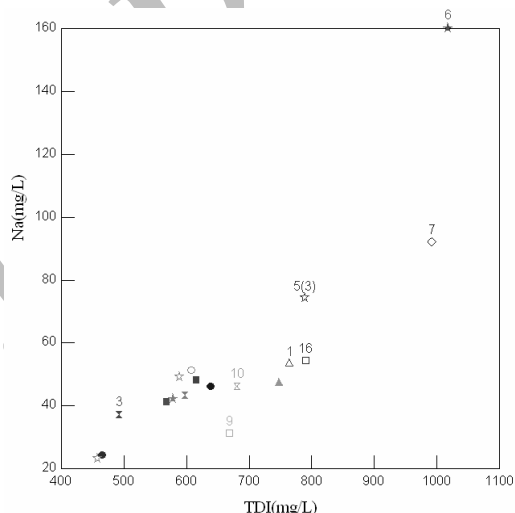
شکل ۱۰- نمودار تغییرات غلظت آنیون‌ها در پاییز ۱۳۸۳.

دارای سدیم و کلر نفوذ کرده است. نمودارهای بین سدیم-مجموع یون‌های اصلی و کلر-مجموع یون‌های اصلی بیانگر این مطلب مهم است که اختلاط بین آب‌شور و شیرین با نسبت‌های مختلف صورت می‌گیرد، با توجه به میزان نسبتاً بالای غلظت یون‌های سدیم و کلر در چاه‌های ۶ و ۷ احتمال اختلاط در این چاه‌ها بالا می‌باشد (میزر، ۱۹۹۱).

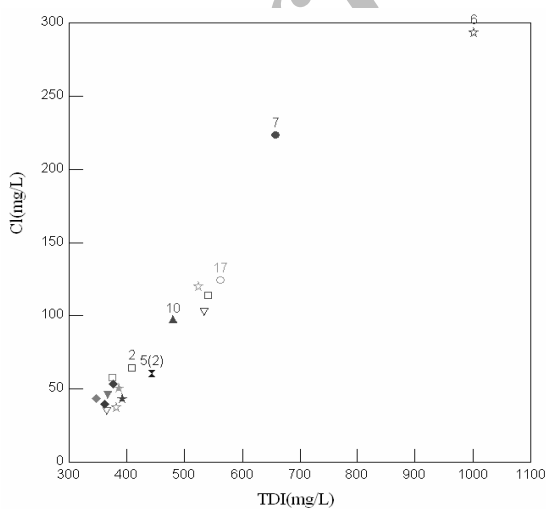
نمودارهای ترکیبی رسم شده بین یون‌های اصلی، نشان‌دهنده یک روند خطی واضح بین سدیم و کلر می‌باشد (شکل‌های ۱۲ تا ۱۵). این در حالی است که بقیه یون‌ها از یک روند اتفاقی پیروی می‌کنند. با توجه به رخساره‌های ترکیبی و رخساره شور مزه که بیانگر تیپ‌های حاوی کلرید و سدیم می‌باشد، فراوانی سدیم و کلر و داشتن روند خطی آنها امری بدیهی است. از طرفی براساس سکانس تکاملی آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه باید دارای تیپ بیکربناته باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آب شور



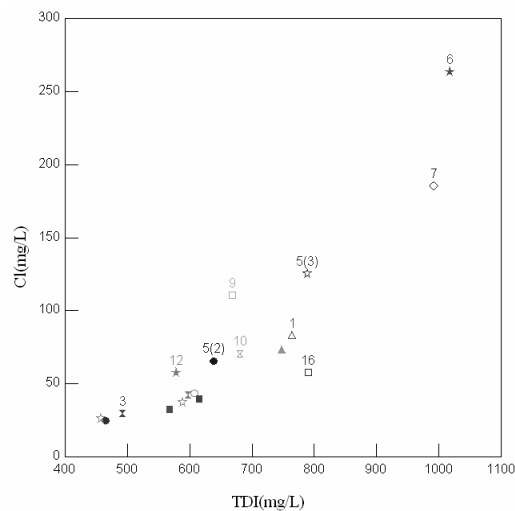
شکل ۱۳- نمودار ترکیبی بین Na و TDI در بهار ۱۳۸۴.



شکل ۱۲- نمودار ترکیبی بین Na و TDI در پاییز ۱۳۸۳.



شکل ۱۵- نمودار ترکیبی بین Cl و TDI در بهار ۱۳۸۴.



شکل ۱۴- نمودار ترکیبی بین Cl و TDI در پاییز ۱۳۸۳.

براساس روش رول نسبت یون کلر به مجموع یون‌های کربنات و بیکربنات برای چاه‌های آب شرب شهر ساری محاسبه گردید (جدول ۳). لازم به ذکر است به دلیل تبدیل شدن سریع یون کربنات به بیکربنات، در معادله ۱ میزان غلظت این دو یون معادل غلظت بیکربنات در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول ۳ بیشترین مقدار این نسبت

همان‌طور که انتظار می‌رفت مربوط به چاه‌های ۶ و ۷ و کمترین مقدار آن مربوط به چاه‌های ۳ و ۴ تنگه لته (جنوب شهر ساری) است. این روش نیز بیانگر نفوذ آب شور حاوی کلر و کاتیون همراه سدیم، در برخی از چاه‌های شماره ۶ و ۷ شهر ساری است.

جدول ۳- مقادیر حاصل از روش رول برای چاه‌های آب شرب شهر ساری.

چاه	نسبت یون کلرید به مجموع یونهای بیکربنات و کربنات (پاییز ۱۳۸۳)	نسبت یون کلرید به مجموع یونهای بیکربنات و کربنات (بهار ۱۳۸۴)
۱	۰/۲۴۲	۰/۲۵۱
۲	۰/۱۳۷	۰/۱۶۶
۳	۰/۰۹۶	۰/۱۱۸
۴	۰/۱۱۶	۰/۱۰۷
۵(۲)	۰/۲۰۵	۰/۱۳۷
۵(۳)	۰/۳۹۷	۰/۲۸
۶	۰/۸۰۶	۰/۷۱۳
۷	۰/۵۵۳	۰/۵۰۷
۹	۰/۲۸۲	۰/۱۲۷
۱۰	۰/۲۲۱	۰/۲۲۱
۱۱	۰/۱۳۴	۰/۱۲۲
۱۲	۰/۱۹۲	۰/۱۴۸
۱۳	۰/۱۳۶	۰/۰۹۷
۱۵	۰/۱۲۲	۰/۱۴۳
۱۶	۰/۱۵۸	۰/۲۱۶
۱۷	۰/۱۹۴	۰/۲۶۱
۳(۴)	۰/۰۸۴	۰/۰۹۲
۴(۴)	۰/۰۹۱	۰/۱۰۱
میانگین	۰/۲۳۱	۰/۲۱۲
بیشترین	۰/۸۰۶	۰/۷۱۳
کمترین	۰/۰۸۴	۰/۰۹۲

t: تنگه لته

نتیجه گیری

براساس مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده در دشت ساری، آبخوان ابرفتی ساری به شکل کاسه‌ای است که گودی آن در بخش مرکزی دشت واقع شده است و به سمت شمال و جنوب از ضخامت آن کاسته می‌شود. در زیر لایه مذکور، به دلیل نفوذ آب شور دریا و وجود زون‌های

آب شور فسیلی ناشی از عقب نشینی دریای خزر در گذشته، مقاومت الکتریکی به شدت کاهش می‌یابد، به طوری که به کمتر از ۵ اهم متر می‌رسد. لازم به ذکر است مقادیر مقاومت الکتریکی مربوط به زون‌های آب شور در این تحقیق با مقادیر مقاومت الکتریکی حاصل از تحقیقات خلیل (۲۰۰۶) همخوانی کامل دارد.

با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه و وجود سه نوع رخساره متفاوت آب شیرین، لب شور و ترکیبی در نمودار پایپر، بی‌نظمی در سکانس تکاملی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی امری بدیهی است. روند نسبتاً خطی نمونه‌ها در قسمت‌های مستطیل و مربع شکل نمودارهای دروو، تمایل آنها را برای رسیدن به انتهای سیکل تکاملی هیدروژئوشیمیایی (تیپ کلریده) نشان می‌دهد، این تمایل در چاه‌های شماره ۶ و ۷ و در بهار ۱۳۸۴ محسوس‌تر می‌باشد.

براساس نمودارهای ستونی بیشترین تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌ها در هر دو فصل به ترتیب مربوط به سدیم و کلر چاه شماره ۶ می‌باشد. به طوری که میزان غلظت سدیم به بیش از ۱۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در پاییز رسیده و تا ۱۴۰ میلی‌گرم بر لیتر در بهار افزایش می‌یابد؛ البته میزان تغییرات یون کلر بیشتر بوده و از ۲۳۹ میلی‌گرم بر لیتر در پاییز تا ۲۸۵ میلی‌گرم بر لیتر در بهار متغیر است.

نتایج حاصل از نمودارهای ترکیبی در این تحقیق به نتایج تحقیقات گیسن و رندال (۲۰۰۶) شباهت زیادی دارد، به طوری که در هر دو تحقیق روند خطی واضحی بین سدیم و کلر وجود دارد و بقیه یون‌ها از روند اتفافی پیروی می‌کنند. باتوجه به دارا بودن رخساره شور مزه می‌توان نتیجه گرفت که اختلاط بین آب شور و شیرین با نسبت‌های مختلف صورت گرفته است.

براساس روش رول بیشترین مقدار نسبت یون کلر به مجموع یون‌های کربنات و بیکربنات مربوط به چاه‌های ۶ و ۷، کمترین مقدار آن مربوط به چاه‌های ۳ و ۴ تنگه لته می‌باشد. بنابراین باتوجه به بررسی‌های به‌عمل آمده، افزایش میزان برداشت آب از آبخوان شهر ساری سبب از بین رفتن تعادل بین آب شور و شیرین و نفوذ آب شور در برخی از چاه‌های آب شرب شهر ساری شده است.

منابع

- 1.Appelo, C.A.J., and Postma, D. 1994. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Brookfield. 2th Balkema. Rotterdam. 536P.
- 2.Biondic, B., Biondic, R., and Measki, H. 2005. Sea water intrusion in coastal karst aquifers in Bakar Bay in Croatia. *Geophysical Research Abstracts*, Vol.7.
- 3.Gibbison, A., and Randall, J. 2006. The salt water intrusion problem and water conservation practices in southeast Georgia, USA. *Water and Environment Journal*. Vol.2 (3).
- 4.Hoxhaj, F. 2005. Numerical simulation of sea water intrusion on the northern coast of Albania, *Geophysical Research Abstracts*, Vol 7.
- 5.Kaboli, A. 2003. Quantity and Quality study of Sari plain Aquifer. M.Sc. Thesis in hydrogeology. Shahid Beheshti University. 179p.
- 6.Karanth, K.R. 2001. *Ground Water Assessment Development and Management*. Tata McGraw-Hill. 720P.
- 7.Khalil, H.M. 2006. Geoelectric resistivity sounding for delineating salt water intrusion in the Abu Zenima area, west Sinai, Egypt. *Journal of Geophysics Engineering*. 3: 243-251.
- 8.Mahmoodlu, M.G. 2004. The Study of Quality Sanctum Drinking Water Wells of Sari. M.Sc. Thesis in hydrogeology. Shahid Beheshti Univ. 159p.
- 9.Mazor, E. 1991. *Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons. New York. 274P.
- 10.Sawyer, C.N., and McCarty, P.L. 1967. *Chemistry for sanitary engineers*. McGraw- Hill. N.Y. 518 P.
- 11.Sedaghat, M. 2003. *Earth and Water sources (Groundwater)*, Fourth edition, Payam e Noor Univ. Press, 368p.
- 12.Sikdar, P.K., Sarkar, S.S., and Palchoudhury, S. 2001. Geochemical evolution groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. *Journal of Asian Earth Sciences*. 19: 579-594.
- 13.Taghvaeipour, A. 2000. *Water Analysis*. Arak Univ. Press, 323p.

Salt water intrusion in water wells by using of hydrogeochemistry study (case study: Sari City)

***M. Ghareh Mahmoodlu¹, M. Raghimi², and A. Tahmasebi¹**

¹Instructor, Dept., of Natural Resources Gobnad High Education Center, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept., of Geology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

This study is carried out in Sari. According to geophysical studies; aquifer of Sari City is like a bowl, which its most thickness is at north eastern part of Sari. The low quantities of electrical resistance under the considered aquifer and indistinguished bed rock are increasing the existence of salt water layer probability. The data sampled in two periods in autumn 2004(1383) and spring 2005(1384) is used to analyze the Hydrogeochemistry of aquifer. By Piper diagram it is proved that there are hydrogeochemistry facies, fresh, blended and salt water. The existence of salt water facies with composition near to sea water, likewise the fast increase of total dissolve solids in the well number 6 and 7 and closing to end of hydrogeochemical cycle in Durov diagram probability groundwater mixing with salt water is increasing. It is based on Series plot; there were increase in the Na and Cl concentrations well number 6 and 7 significantly. We used two methods, Composite plots and Revelle for proving saltwater intrusion in studied aquifer. The drawn composite plots of major ions were shown the linear procedure between Na and Cl, this mater shows that mixture of saltwater and soft water happens. The most proportion of Cl ions basis of Revelle method on the sum of bicarbonate to carbonate refers to the well number 6 and 7 and the lowest quantity in both cases refers to the Tange Lather (in South of Sari) well number 3 and 4 .This method shows that the mixture of saltwater and soft water happens in the well number 6 and 7.

Keywords: Hydrogeochemistry; Aquifer; Groundwater mixing; Salt water intrusion; Sari

*- Corresponding Author; Email: mmahmoodlu@yahoo.com