

## ارزیابی آب‌های زیرزمینی دشت بهار همدان از نظر خورندگی و رسوب‌گذاری

وحید یزدانی<sup>۱\*</sup>، حسین بانژاد<sup>۲</sup> و محسن میرزایی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۱۸

### چکیده

یکی از هدف‌های آشناسی تامین آب با ویژگی‌ها و معیارهای کیفی مناسب برای بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت است. در این راستا، خورندگی و رسوب‌گذاری آب یکی از مشکلات کیفی آن می‌باشد که بر شبکه‌ی توزیع تأثیری بسزا دارد. بر این مبنا، برای ارزیابی خورندگی و رسوب‌گذاری منابع آب زیرزمینی دشت بهار از سه شاخص رایزنر، لانژیلر و پوکوریوس استفاده شد. با توجه به بررسی انجام‌شده در سطح آب‌های زیرزمینی دشت بهار، تمایل به رسوب‌گذاری و خورندگی در آن با غالبیت رسوب‌گذاری وجود دارد. در ارزیابی رسوب‌گذاری نمونه‌ها مشخص گردید که این مشکل در قنات‌ها کم‌تر از سایر منابع است؛ این کاهش به دلیل حذف بخشی از مسیر جریان با نقب‌زدن به عنوان کوره‌ی قنات است. بر اساس شاخص رایزنر، در ۹۵/۷ درصد از نمونه‌های آب چاه تمایل به رسوب‌گذاری مشاهده گردید در حالی که بر اساس شاخص پوکوریوس، در ۵۳/۲ درصد از نمونه‌ها مقدار نمایه‌ی پوکوریوس کم‌تر از ۶ بوده که در این حالت نمونه‌ی آب دارای توان رسوب‌گذاری می‌باشد. بررسی نوع و رخساره‌ی آب‌ها نشان می‌دهد که که ۷۰ درصد از نمونه‌ها دارای نوع بی‌کربنات کلسیم، ۱۴ درصد دارای بی‌کربنات سدیک، ۴ درصد سولفات کلسیک، ۵ درصد بی‌کربنات منیزیک، ۴ درصد سولفات سدیک و ۳ درصد کلراید کلسیک است. نتایج نشان دادند که شاخص لانژیلر کارایی لازم را جهت بررسی رسوب‌گذاری و خورندگی نمونه‌ی آب ندارد. در مجموع، منابع آب زیرزمینی دشت بهار در محدوده‌ی کم تا متوسط رسوب‌گذاری و خورندگی قرار دارند، لیکن رسوب‌گذاری در سامانه‌ی آبرسانی نسبت به خورندگی محسوس‌تر است که سبب کاهش سطح مقطع جریان شده و افت‌های مسیر را در پی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** خورندگی، رسوب‌گذاری، شاخص رایزنر، شاخص لانژیلر، شاخص پوکوریوس، دشت بهار.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا.

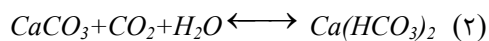
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا.

\*- نویسنده‌ی مسوول مقاله: v.yazdany@yahoo.com

### پیشگفتار

کیفیت آب‌های زیرزمینی که بر اساس مقدار و نوع مواد تشکیل‌دهنده شیمیایی، زیستی، مواد رسوبی و درجه رسوب‌گذاری و خوردگی آن تعیین می‌گردد، از اهمیتی ویژه در تعیین مناسب بودن آن جهت مصارف خاص برخوردار است (توسلی، ۱۳۷۹). در سال‌های اخیر، بیش‌تر پژوهش‌ها در کشورهای صنعتی از مسأله‌ی بهره‌داری و تأمین آب‌های زیرزمینی به مسأله‌ی کیفیت آب زیرزمینی تغییر یافته است (فریز و چری، ۱۹۷۹). افزایش روز افزون جمعیت و بالا رفتن معیارهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب نیاز روز افزون به آب برای مصارف گوناگون کشاورزی، صنعتی و خانگی شده است. آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده‌ی آب با چالش‌هایی متفاوت مانند کاهش سطح و کاهش نرخ بارندگی و آلاینده‌های طبیعی و غیر طبیعی روبه‌رو می‌باشند (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۵). روی هم رفته، عامل‌های گوناگونی بر کیفیت آب تأثیرگذارند که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به عوامل زمین‌شناسی، آب و هوایی، آبشناسی و عوامل مصنوعی یا غیر طبیعی اشاره کرد. هم‌گام با تلاش در جهت استفاده‌ی بهینه از منابع آب، نیاز به جستجو درباره‌ی عوامل کاهش‌دهنده‌ی کیفیت آب نیز احساس می‌شود. کشور ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است و کمبود آب با کیفیت مناسب یکی از موانع توسعه‌ی اقتصادی و کشاورزی بشمار می‌رود که شناخت کیفیت و کمیت آب را ضروری می‌کند. ارزیابی کیفی منابع آب از جمله آب‌های زیرزمینی، یکی از مباحث بسیار مهم در طرح‌های توسعه‌ی منابع آب کشور است در حالی‌که هم‌گام با توسعه‌ی منابع آب، فعالیتی گسترده برای تغییرات کیفی آن صورت نگرفته است. یکی از هدف‌های آبشناسی، تأمین آب با ویژگی‌ها و معیارهای کیفی مناسب برای مصارف ویژه است. بحث کیفیت آب آبیاری را برای نخستین بار هیلگارد در سال ۱۹۰۶ مطرح نمود و طبقه‌بندی آب را بر اساس میزان مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن پیشنهاد داد. این مسأله به وسیله‌ی کلی و براون در سال ۱۹۳۹ نیز دنبال گردید تا این‌که تایلر در سال ۱۹۵۰ معادله‌ی را برای طبقه‌بندی آب پیشنهاد کرد و مسأله‌ی

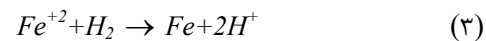
کیفیت (خوردگی و رسوب‌گذاری) آب را بیان کرد (آپرس و وستکات، ۱۹۸۵). پدیده‌ی شوری و قلیایی‌زایی از ترکیب عوامل اقلیمی، معدنی‌شدن آب آبیاری و بافت خاک حاصل می‌گردد (والنزا و همکاران، ۲۰۰۰). تمامی آب‌ها کم و بیش دارای مقداری نمک به عنوان ناخالصی و عاملی برای خوردگی یا رسوب‌گذاری هستند. بر اساس معیار ایزو ۸۰۴۴ خوردگی، برهم کنش فیزیکوشیمیایی مسیر انتقال با محیط اطراف است که سبب تغییر در خواص مسیر انتقال می‌شود (هورفر، ۱۹۹۶). خوردگی واکنش فیزیکی - شیمیایی ناشی از تأثیر چندین عامل شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و زیستی است (پورزمانی و همکاران، ۱۳۸۴). این فرایند در درازمدت می‌تواند سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته و مسایل اقتصادی، فنی-مهندسی و زیبا شناختی را به دنبال داشته باشد (حسینیان، ۱۳۶۷). در این راستا، بمنظور حفظ شبکه‌های آبرسانی شهری و کشاورزی بررسی وضعیت کیفی آب امری ضروری است. برای بررسی وضعیت کیفی آب دو مسأله‌ی خوردگی و رسوب‌گذاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. می‌دانیم که همه‌ی مواد معدنی تشکیل‌دهنده‌ی اجزای یک رسوب از گروه نمک‌هایی هستند که حلالیت آن‌ها تابع دماست. تغییر درجه‌ی حرارت نقاط گوناگون یک سامانه کافی است که نمک‌ها را به صورت اشباع درآورده و در نهایت وادار به ته‌نشینی کند. هنگامی که یک محلول فوق اشباع می‌شود، در صورت ایجاد هسته‌های اولیه‌ی بلور، بهترین شرایط برای رشد بلور در داخل سامانه فراهم می‌شود. اجزای تشکیل‌دهنده‌ی ناخالصی‌های آب (مثل کربنات و سولفات کلسیم، سولفات باریم، سیلیکا و غیره) بر اثر شرایط گوناگون از قبیل کاهش فشار، تغییر دما، تغییر جریان، تغییر pH و غیره می‌توانند ته‌نشین شوند. آب‌های با درجه‌ی سختی بسیار (وجود  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$ )، در اثر گرم شدن و بیرون رفتن مقداری از گاز کربنیک وابسته به آن‌ها، در جدار لوله ایجاد رسوب می‌کند و باعث کاهش ظرفیت انتقال می‌گردد. واکنش‌های تشکیل رسوب به صورت زیرند:



بر اساس ضریب لانژیلر آب مناطق شمال و جنوب اهواز را فاقد مشکل خوردگی و مناطق شرق و غرب را کمی خورنده ارزیابی کردند. در این راستا، جعفرزاده و همکاران (۱۳۸۵)، بر اساس قانون سرب و مس، آب شهر اهواز را کمی خورنده بیان داشتند. پوکوریوس و بروک (۱۹۹۱)، برای تشخیص رسوب‌گذاری و خوردگی ناشی از کربنات کلسیم در صنایع خنک‌کننده‌ی آب از شاخص پوکوریوس<sup>۳</sup> (POR) در تعیین حد آستانه‌ی رسوب‌گذاری در آب‌های بازیافت شده برای صنایع یاد کردند. یو و همکاران (۲۰۰۱)، نیز از شاخص یاد شده با عنوان کاربرد رسوب (RSI) در تعیین حد آستانه‌ی رسوب‌گذاری در آب‌های بازیافت شده برای صنایع استفاده کردند. پاکشیر و همکاران (۱۳۸۳)، نیز بر اساس رهنمودهای پوکوریوس و بروک در ارزیابی سیستم خنک‌کننده‌ی نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه کاربرد شاخص پوکوریوس را برای آب‌های صنعتی توصیه نمودند. الرواجفه و الشامیله (۲۰۰۷)، از شاخص توان رسوب کربنات کلسیم<sup>۴</sup> (CCPP) در ارزیابی خوردگی و رسوب‌گذاری سامانه‌ی آب‌رسانی استان تافایلا در جنوب اردن استفاده کردند. در این شاخص مقادیر منفی CCPP بیانگر خوردگی و اندازه‌های مثبت آن بیانگر رسوب‌گذاری است. الرواجفه و همکاران (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ی دیگر، تشکیل رسوب را در صنایع تقطیری آب دریا به مقدار بسیار زیادی وابسته به سرعت آزاد شدن گاز کربنیک، دما و pH آب دانسته و شاخص‌های رایزنر و لانژیلر را برای ارزیابی کافی دانستند. در کاربری کشاورزی نیز رسوب کربنات کلسیم رایج‌ترین عامل ایجاد گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها در سامانه‌ی آبیاری قطره‌ای می‌باشد (نادری، ۱۳۸۵). کربنات‌ها و سولفات‌های کلسیم یا منیزیم معمول‌ترین عوامل شیمیایی انسداد گسیلنده‌ها می‌باشند (علیزاده و خیابانی، ۱۳۷۵). نتایج مطالعاتی زارعی و همکاران (۱۳۸۵) در خصوص رسوب کربنات کلسیم در سامانه‌ی آبیاری قطره‌ای استان‌های گوناگون کشور نشان دادند که لوله‌های نواری قطره‌ای بیش‌ترین حساسیت را به گرفتگی شیمیایی به واسطه‌ی کیفیت نامطلوب آب دارند. آن‌ها بیان داشتند که آب استان‌های

در سال ۱۹۳۶ لانژیلر حلالیت کربنات کلسیم را به چند متغیر مؤثر در انحلال مربوط کرد. در این روش با تعریف فراسنجی موسوم به نمایه‌ی اشباع، می‌توان از تمایل رسوب‌گذاری یا خوردگی آب مورد نظر به گونه‌ی کیفی اطلاع یافت. برای مها کردن کیفیت آب که به تثبیت آب معروف است، از رابطه‌ی لانژیلر استفاده می‌کنند. تاکید می‌شود که نمایه‌ی لانژیلر یا نمایه‌ی رسوب تنها شناساگر کیفی تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی است و مقدار کمیت رسوب ایجاد شده و یا خورده شده را تعیین نمی‌کند.

خوردگی آب نیز بر اثر وجود گاز کربنیک، سولفات و ... در آن است. وجود این گاز به مقدار کم در آب ضروریست، ولی افزایش آن سبب می‌شود که پس از تشکیل اسید کربنیک درجه‌ی اسیدی آب افزایش یافته و خاصیت خوردگی پیدا می‌کند. این‌گونه آب‌ها بر لوله‌های فلزی و بتنی تاثیر کرده و باعث سوراخ شدن آن‌ها می‌شوند. عامل‌های مؤثر در خوردگی آب عبارتند از: غلظت اکسیژن محلول در آب، pH، دما، سرعت آب، سولفات و کلر باقیمانده و ... می‌باشند. برای مثال واکنش مربوط به خوردگی آهن به صورت زیر است:



محو و اسلامی (۱۳۸۵)، با مطالعه‌ی وضعیت خوردگی و تشکیل رسوب مخازن ذخیره و شبکه‌ی توزیع آب آشامیدنی شهر زنجان بر اساس شاخص‌های لانژیلر<sup>۱</sup> و رایزنر<sup>۲</sup>، به این نتیجه رسیدند که ۵۳/۵۱ درصد از نمونه‌ها خورنده و ۷/۴۵ درصد نیز رسوب‌گذارند. در مطالعه‌ی مشابه، رضانی (۱۳۸۰)، با بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی چاه‌های شهر رشت، عملیات بهسازی آب، کلرزی و همآوری در تصفیه‌خانه برای آب چاه امامزاده هاشم را سبب تغییر کیفیت آب و خوردگی آن دانست. سواری و همکاران (۱۳۸۷)، در ارزیابی شبکه‌ی آب‌رسانی شهر اهواز نشان دادند که خوردگی آب در حد ضعیف تا متوسط بوده و نیز فاقد رسوب‌گذاری است، در حالی که کریم و همکاران (۱۳۸۷)، آب همه‌ی مناطق اهواز را بر اساس ضریب رایزنر به شدت خورنده و

<sup>3</sup> -puchorius scale index

<sup>4</sup> -calcium carbonate precipitation potential

<sup>1</sup> -langlier index

<sup>2</sup> -raisener index

در باختر ایران، بویژه استان همدان پژوهش‌هایی گسترده در مورد کیفیت آب‌های زیرزمینی انجام نشده است. لذا، هدف این پژوهش، بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت بهار از نظر خوردگی و رسوب‌گذاری آن‌ها می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این بررسی از ۲۶ حلقه چاه، ۴ رشته قنات و ۲ دهانه چشمه در کل ۲۵۶ نمونه آب تهیه گردید. نام و برخی از ویژگی‌های محل‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ آمده‌اند.

نمونه‌برداری طی چهار سال در مجموع ۲۵۶ نمونه آب از ۲۶ حلقه چاه، ۴ رشته قنات و ۲ دهانه چشمه برداشت شد. انتخاب محل‌های نمونه‌گیری بر اساس حضور منابع آلاینده، توزیع آنها، محل‌های تغذیه و تخلیه‌ی حوضه و موجودیت چاهها بود. فراسنج‌های کیفی مورد استفاده در این مطالعه شامل هدایت الکتریکی<sup>۱</sup> (EC)، اسیدپتیه (pH)، یون‌های بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)، کلر (Cl<sup>-</sup>)، سولفات (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)، کلسیم (Ca<sup>2+</sup>)، منیزیم (Mg<sup>2+</sup>)، سدیم (Na<sup>+</sup>)، پتاسیم (K<sup>+</sup>)، درصد سدیم (Na) قلیاییت<sup>۲</sup> (SAR)، سختی کل<sup>۳</sup> (TH) و باقیمانده‌ی جامد املاح<sup>۴</sup> (TDS) بودند. فراسنج‌های یاد شده به ترتیب به وسیله‌ی EC متر، pH متر، تیتراسیون، کلر متر، اسپکتوفتومتر (طول موج ۴۲۰ نانومتر)، فیلم فتومتری، محاسبه‌ای، تیتراسیون با EDTA و ظرف تبخیر اندازه‌گیری شدند. به جز pH و SAR که به ترتیب دارای واحد معیار و بدون بعد هستند، واحد سایر فراسنج‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر ثبت شده است. نمونه‌برداری سالانه، به گونه‌ی معمول در بهار و تابستان برای هر یک از شاخص‌های کیفی انجام شد. نمونه‌برداری و سنجش فراسنج‌های کیفی بر اساس روش‌های معیار نمونه‌برداری آب صورت گرفته است (انجمن آزمایش و مواد آمریکا، ۱۹۹۵). نمونه‌برداری‌ها به شکل لحظه‌ای در ظرف‌های

کرمان، خراسان و سمنان به ترتیب در طبقه‌بندی بد، متوسط و خوب قرار دارند. دهقانی سانچ و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که کارایی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با کاهش کیفیت آب ارتباط مستقیم دارد. نجفی‌مود و همکاران (۱۳۸۶) بیان داشتند که عامل اصلی کاهش بازدهی سامانه‌های آبیاری تحت فشار در استان خراسان جنوبی کیفیت نامناسب آب و وجود مقادیر زیاد املاح محلول و نامحلول در آن است. ناکایاما و باکس (۱۹۹۱) رسوب کلسیم را در مجاری و لوازم انتقال آب به درجه‌ی بالای اسیدیته‌ی آب، غلظت زیاد کربنات کلسیم در آب و نوسانات بیش از حد دمای محیط وابسته دانسته‌اند. روند بررسی‌ها نشان می‌دهد که پژوهشگران شاخص‌های گوناگونی را در زمینه‌ی خوردگی و رسوب‌گذاری معرفی نموده‌اند (الرجافه و الشماليه، ۲۰۰۷ و پوکوریوس و بروک، ۱۹۹۱)، اما همگی در ارزیابی نهایی از شاخص‌های رایزنر، لانژیلر و پوکوریوس به عنوان شاخص‌های مرجع و پایه استفاده کرده‌اند. دشت بهار یکی از چهار دشت منطقه‌ی همدان است که به دلیل بروز افت مداوم و کاهش ذخایر مخازن آب زیرزمینی طی دو دهه‌ی گذشته از یک سو و روند افزایشی تخلیه‌ی فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مواد زاید و جامد، کاربرد سموم و کودهای شیمیایی در محدوده‌ی آن از اهمیتی ویژه برخوردار است (رحمانی، ۱۳۸۶). حوضه‌ی آبخیز دشت بهار با وسعت ۲۴۷۵ کیلومترمربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع است. دشت در محدوده طول شرقی ۱۷°، ۴۸° تا ۳۳°، ۴۸° و عرض شمالی ۴۹°، ۳۴° تا ۲°، ۳۵° قرار دارد (شکل ۱).

تغذیه‌ی سفره‌ی آب زیرزمینی، از ریزش‌های جوی و آبراهه‌های پرشمار منشعب از دامنه‌ی الوند کوه تحقق می‌یابد. افزون بر این، تغذیه‌ی نامتعارفی نیز از راه تخلیه‌ی فاضلاب‌های مسکونی شهر همدان در مناطق گوناگون انجام می‌شود. این دشت به دلیل تامین آب شرب شهرستان‌های همدان و بهار، آب کشاورزی بهار و آب صنعتی کارخانجات، الگویی مناسب برای تجزیه و تحلیل‌های مورد نظر در این پژوهش بوده و نتایج بدست آمده از آن در مدیریت کمی و کیفی منابع آب دشت بهار قابل اهمیت است.

<sup>1</sup>- electrical conductivity

<sup>2</sup>- sodium absorption ratio

<sup>3</sup>-total hardness

<sup>4</sup>- total dissolved solid

گردید. رابطه‌های ریاضی این شاخص‌ها به صورت زیر می‌باشند.

$$LSI = pH - pH_c \quad (۴)$$

$$RSI = 2(pH_c) - pH \quad (۵)$$

$$POR = 2(pH_c) - (1.465 * (SAR) + 4.54) \quad (۶)$$

$$LS = \frac{(epm Cl^- + epm SO_4^{2-})}{(epm HCO_3^- + epm CO_3^{2-})} \quad (۷)$$

$$pH_c = p(Ca + Mg + Na + K) + p(Ca + Mg) + p(CO_3 + HCO_3) \quad (۸)$$

در روابط بالا pH اسیدیته‌ی آب (اندازه‌گیری شده)، pH<sub>c</sub> اسیدیته‌ی محاسباتی بر اساس نتایج تجزیه‌ی شیمیایی آب با فرض اشباع بودن از کلسیت یا کربنات کلسیم، p(Ca+Mg+Na+K) نمایه‌ی کاتیون‌های آب، p(Ca+Mg) نمایه‌ی کلسیم و منیزیم آب و p(CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) نمایه‌ی کربنات و بی‌کربنات است. برای بدست آوردن مولفه‌های رابطه‌ی ۸ به کمک جدول راهنما، در محیط نرم‌افزای اکسل، نمودارهای مرجع استخراج شدند. نمودارهای بالا با برازش شبیه‌های وایزی بر داده‌های جداول راهنما (علیزاده، ۱۳۸۶)، نمایه‌ی کاتیون‌ها، کلسیم و منیزیم، کربنات و بی‌کربنات با ضریب R<sup>2</sup> بالا بدست آمد. برای نمایه‌ی کاتیونی آب شبیه چندجمله‌ای درجه‌ی دو (رابطه‌ی ۹)، برای نمایه‌ی کلسیم و منیزیم آب و نمایه‌ی کربنات و بی‌کربنات شبیه لگاریتمی مناسب بود (روابط ۱۰ و ۱۱).

$$p(\text{cations}) = -0.0003 \text{ cations}^2 + 0.0189 \text{ cations} + 2.1223 \quad R^2 = 0.99 \quad (۹)$$

$$p(Ca+Mg) = -0.4347 \ln(Ca+Mg) + 3.298 \quad R^2 = 1 \quad (۱۰)$$

$$p(CO_3+HCO_3) = -0.4348 \ln(CO_3+HCO_3) + 2.9982 \quad R^2 = 1 \quad (۱۱)$$

در گام بعدی، مقادیر شاخص‌ها به کمک روابط بالا محاسبه گردیدند. در شاخص لائزپلر، اگر pH < pH<sub>c</sub> باشد، آب دارای شاخص منفی بوده و باعث حل شدن کربنات کلسیم خواهد شد که در این حالت آب خورنده است. اگر pH > pH<sub>c</sub> باشد، شاخص لائزپلر مثبت بوده و آب از کربنات کلسیم اشباع خواهد بود که در این حالت آب رسوب‌گذار است. در شاخص‌های رایزنر و پوکوریوس، آب هنگامی خورنده است که نمایه از ۶ تجاوز کند؛ تمایل به رسوب‌گذاری زمانی است که مقدار شاخص از ۶ کم‌تر

شیشه‌ای سترون و پس از ۲۰-۱۰ دقیقه آبکشی از دهانه‌ی چاه و از مظهر کاریزها و چشمه‌ها انجام شد.

### روابط مورد استفاده

خورندگی فلزات در محیط آب‌های طبیعی (آب‌های سطحی، آب رود، دریا و چاه) بستگی زیادی به کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب دارد. از جمله فراسنج‌های مهم در این ارتباط، هدایت الکتریکی، pH، غلظت و نوع نمک‌ها و گازهای موجود در آب و مسایل رسوب‌گذاری ناشی از این عوامل می‌باشند. برخی فلزات که دارای اکسید آموغتری هستند، در pH های بالا یا پایین خورندگی زیاد دارند. گرچه یک pH بهینه برای کم‌ترین خورندگی آن‌ها قابل تشخیص است. مثلاً این pH برای آلومینیوم ۶/۵، سرب ۸، قلع ۸/۵ و روی برابر با ۱۱/۵ می‌باشد، اما با توجه به این‌که pH نمونه‌های مورد بررسی در حد متوسط بود، این عامل تاثیری چندان بر خورندگی آب نداشت. تاثیر نمک‌های محلول در آب‌های طبیعی به نوع و غلظت آن‌ها نیز بستگی دارد. حضور یون‌های کلر و سولفات سبب تشدید خورندگی و یون‌هایی نظیر کربنات، بی‌کربنات و کلسیم سبب کاهش خورندگی می‌شوند. خواص خورندگی و یا بازدارندگی یون‌ها افزون بر نوع آن‌ها به غلظت یون نیز بستگی دارد. غالباً مقدار یون‌هایی که خاصیت بازدارندگی دارند، باید بیش از مقدار اکسیژن حل شده در محلول باشد تا سرعت واکنش کاتدی احیای اکسیژن کاهش یابد، در واقع، یون‌های مهاجم سبب تخریب غشاءهای محافظ شده و یا از تشکیل آن جلوگیری می‌کنند.

روش‌های متفاوتی برای پیش‌بینی رسوب‌گذاری و یا تمایل به ایجاد خورندگی وجود دارد. این روش‌ها معمولاً بر مبنای تعادلات شیمیایی بنا شده و تنها می‌توانند بیانگر نتیجه بوده و واکنش‌های شیمیایی انجام شده را بررسی نمی‌کنند. در این پژوهش برای بررسی‌های شیمیایی نمونه‌ی آب در سنجش تمایل به رسوب‌گذاری یا خورندگی از شاخص‌های لائزپلر (LSI)، رایزنر (RSI)، پوکوریس (POR) و لارسون- اسکولد<sup>۱</sup> (LS) استفاده

<sup>۱</sup> - larson- skold

باشد. شاخص لارسون- اسکولد مناسب استفاده در آب‌هایی با قلیائیت متوسط است. هنگامی که شاخص کوچکتر از  $0/8$  شود، کلر و سولفات در تشکیل رسوب دخالت نمی‌کنند، در مقابل اگر شاخص بین  $0/8$  و  $1/2$  باشد، کلر و سولفات به احتمال زیاد در تشکیل رسوب دخالت خواهند داشت و سرانجام آب زمانی خورنده است که شاخص مزبور از  $1/2$  بیش‌تر گردد که در این حالت با افزایش مقدار شاخص سرعت خوردگی بیش‌تر می‌شود. جدول زیر حدود هر یک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

برای تفسیر مناسب‌تر نتایج، نوع و رخساره‌ی آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه نیز از راه نمودار پی‌پر استخراج گردید. نوع و رخساره‌ی آب حاصل وجود املاحی است که در رسوب‌گذاری یا خوردگی موثرند. در نمودار پی‌پر مثلث آنیون‌ها و کاتیون‌ها هر کدام شامل ۵ نوع آب است که از اتصال ۵۰ درصد اضلاع متقابل به یکدیگر بدست می‌آیند. میدان لوزی پی‌پر با ۸ منطقه رخساره آب، که ۴ رخساره از اتصال نقاط ۱۰ درصد به موازات اضلاع لوزی و ۴ رخساره دیگر از اتصال نقاط ۵۰ درصد بدست می‌آیند (کهو، ۲۰۰۱). ترسیم نمودار پی‌پر در نرم افزار GWW (ver. 1.10 در نسخه‌ی نمونه‌برداری تحت ویندوز آن انجام شد.

## نتایج

جدول ۳ میانگین سالانه‌ی نتایج مربوط به تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های آب قنات، چاه و چشمه را نشان می‌دهد. جدول زیر بر اساس میانگین سالانه‌ی ۱۳ فراسنج در دوره‌ی ۴ ساله ارایه شده است. انجام آزمایش‌های تعیین کیفیت بر اساس معیارهای بین‌المللی و استفاده از ۴ دوره داده‌های شیمیایی آب زیرزمینی، نشان‌دهنده‌ی دقت و قابلیت اطمینان کار است. بر اساس جدول ۳، میانگین سالانه‌ی فراسنج‌های EC و TDS قنات و چشمه از میانگین مجموع چاهها کم‌تر است. از دیگر نتایج جدول زیر می‌توان به کیفیت پایین‌تر آب چاهها نسبت به قنات‌ها و چشمه‌ها اشاره کرد.

مقایسه‌ی هر چهار شاخص لائزیر، رایزتر، پوکوریوس و لارسون- اسکولد نشان می‌دهد که تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی در آب‌های زیرزمینی دشت بهار با غالبیت

نکته‌ی قابل توجه در شکل ۲ کم‌تر بودن نسبی مشکل رسوب‌گذاری در قنات‌ها نسبت به دیگر منابع است. بنظر می‌رسد که سایر منابع آبی در مسیر حرکت خود به سمت محل برداشت سبب حلالیت املاح خورنده و رسوب‌گذاری شوند؛ در حالی که در قنات‌ها بخشی از مسیر جریان با نقب‌زدن به عنوان کوره‌ی قنات حذف می‌شود. با توجه به این موضوع، طبیعی است که اندازه‌ی املاح در قنات‌ها کم‌تر از سایر منابع باشد.

درصد خوردگی و رسوب‌گذاری محاسبه شده‌ی نمونه‌های آب زیرزمینی با کاربرد شاخص رایزتر، به تفکیک منبع در شکل ۳ آورده شده است. نکته‌ی قابل تأمل در این شکل متفاوت بودن نتایج آن با نتایج بدست آمده از شاخص پوکوریوس می‌باشد؛ این تفاوت ناشی از مقادیر بالای pH نمونه آب مورد مطالعه است زیرا که عمده‌ترین دلیل آن، ناکارآمدی شاخص رایزتر در pH های بالاست. آب در pH بالاتر از ۸ حالت بافری پیدا

رسوب‌گذاری می‌باشد، مقادیر شاخص‌های رایزنر و پوکوریوس در مقایسه با مقادیر  $\text{HCO}_3$  و TDS آنها در سال ۱۳۸۷ در شکل ۵ آورده شده‌اند. باید یادآور شد که برای ارزیابی تصویر روشن‌تر از همبستگی بین فراسنج‌ها و شاخص‌ها، مقادیر ضریب همبستگی بین آنها در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. نتایج بدست آمده از شکل‌های زیر گویای هم‌خوانی مقدار TDS و  $\text{HCO}_3$  با میزان رسوب‌گذاری است. با توجه به شکل، شاخص POR نسبت به شاخص رایزنر هم‌خوانی بهتری با مقادیر TDS و  $\text{HCO}_3$  دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تفاوت مشاهده شده بین نتایج شاخص رایزنر و پوکوریوس در شکل زیر ناشی از pH بالا در برخی از نمونه‌های مورد مطالعه است.

با توجه به این‌که تأثیر عوامل ایجاد خوردگی در مقابل اثر سولفات در ایجاد توان خوردگی نمونه‌ی آب بسیار ناچیز است (علیزاده و خیابانی، ۱۳۷۵)؛ لذا، مقادیر شاخص‌های POR و RSI در مقایسه با مقادیر  $\text{SO}_4$  چاه‌های مورد مطالعه در سال ۱۳۸۷ در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل زیر مقادیر شاخص POR دارای نسبت عکس با مقادیر  $\text{SO}_4$  می‌باشند. شکل زیر بیانگر درستی نتایج محاسبه شاخص پوکوریوس و تا حدودی شاخص رایزنر (pH کمتر از ۸) می‌باشد.

بررسی نوع و رخساره‌ی آب‌ها با کاربرد نرم‌افزار GWV ver.1.10 انجام شد که نتایج بدست آمده از آن در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸، ۷۰ درصد از نمونه‌ها دارای نوع بی‌کربنات کلسیم، ۱۴ درصد دارای بی‌کربنات سدیک، ۴ درصد سولفات کلسیک، ۵ درصد بی‌کربنات منیزیک، ۴ درصد سولفات سدیک و ۳ درصد کلراید کلسیک است. بی‌کربنات + کلسیم عواملی در ایجاد رسوب بشمار می‌آیند (نادری، ۱۳۸۵) و همچنین، وجود بی‌کربنات سدیم عاملی برای ایجاد خوردگی محسوب می‌شود (علیزاده و خیابانی، ۱۳۷۵) که نوع و رخساره نمونه‌ها مورد بررسی بیانگر آن است. در این بین، تغییرات دمایی ناشی از تغییر فصل نیز شرایط را برای کنش‌ها و واکنش‌های شیمیایی مساعد می‌سازد (ناکایاما و باکس، ۱۹۹۱).

می‌کند که در این حالت رابطه‌ی صحیحی با قلیابیت نداشته و لذا، در این شرایط شاخص رایزنر از اعتباری بالا برخوردار نیست (شلدن و پوکوریوس، ۱۹۸۴). بر اساس شاخص پوکوریوس، در ۵۳/۲ درصد از نمونه‌ها مقدار نمایه کم‌تر از ۶ بوده که دارای توان رسوب‌گذاری است (شکل ۲). همچنین، بر اساس شاخص رایزنر در ۹۵/۷ درصد از نمونه‌های آب چاه تمایل به رسوب‌گذاری مشاهده گردید در حالی که منابع دیگر ۱۰۰ درصد رسوب‌گذار می‌باشند (شکل ۳). بر اساس محدوده‌های توصیفی کوبین (۲۰۰۰) منابع آب زیرزمینی دشت بهار در محدوده‌ی توصیفی رسوب‌گذاری کم تا متوسط به همراه خوردگی کم قرار دارد که خوردگی در واقع سبب شستشوی املاح رسوبی در بستر جریان شده و مشکلی از نظر سوراخ کردن لوله‌ها ایجاد نمی‌کند. به بیان دیگر، این خوردگی با توجه به رسوب‌گذاری، مشکل ویژه‌ای را برای سامانه‌ی آبرسانی در کوتاه‌مدت به همراه ندارد.

برای ارزیابی تصویری روشن‌تر از سرعت خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی دشت بهار، نتایج مربوط به شاخص لارسون - اسکولد در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. با استناد به این شکل، به ترتیب ۶۰، ۳۳/۳۳ و ۴۶/۲۲ درصد از نمونه‌های آب قنات، چشمه و چاه دارای شاخص لارسون - اسکولد کم‌تر از ۰/۸ می‌باشند. همچنین، ۳۰/۳ درصد از نمونه‌های آب چاه از شاخص لارسون بزرگ‌تر از ۱/۲ برخوردارند که بیانگر توان خوردگی در آب این چاه‌هاست. با توجه به این‌که نمونه‌های آب قنات و چشمه دارای قلیابیت زیادند؛ لذا، این شاخص در منابع یاد شده نتایج درستی ارائه نمی‌دهد. چنین نتیجه‌ای از مقایسه‌ی نتایج شاخص پوکوریوس و لارسون - اسکولد نیز بدست آمد.

یون‌هایی مثل کربنات، قادرند که با تشکیل رسوب کربنات کلسیم، سرعت خوردگی را کاهش دهند (سید رضی، ۱۳۷۶). در این بین، تأثیر میزان باقی‌مانده‌ی املاح (TDS) و بی‌کربنات کلسیم ( $\text{HCO}_3$ ) در رسوب‌گذاری از دیگر عوامل ایجاد رسوب بیش‌تر می‌باشد (نجفی‌مود و همکاران، ۱۳۸۵؛ نادری، ۱۳۸۵). به همین منظور، برای ارزیابی نتیجه‌ی بدست آمده که مبنی بر رسوب‌گذاری و خوردگی آب‌های زیرزمینی دشت بهار با غالبیت

## نتیجه‌گیری

از آن‌جا که اثر برخی از عوامل مرتبط با خوردگی و رسوب‌گذاری تدریجی بوده و برخی ناگهانی‌اند؛ لذا، مطالعه‌ی حاضر لزوم ارزیابی توان آب را از نظر خوردگی و رسوب‌گذاری نشان داد. بر پایه‌ی بررسی‌های انجام شده، در آب‌های زیرزمینی دشت بهار، بیش‌ترین و کم‌ترین رسوب‌گذاری به ترتیب در چشمه‌ی باباعلی و چاه پلیس‌راه مشاهده شد. هم‌چنین، بیش‌ترین و کم‌ترین خوردگی به ترتیب در نمونه‌های آب قنات مریانج و چشمه‌ی آق‌بلاغ ارزیابی گردید. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی در آب‌های زیرزمینی دشت بهار با غالبیت رسوب‌گذاری وجود دارد. نتایج بدست آمده از شاخص‌های رایزنر و پوکوریوس در pH بالای ۸/۰ نمونه‌ی آب متفاوت از یکدیگرند چنین نتیجه‌ای نیز از سوی پاکشیر و همکاران (۱۳۸۳) گزارش شده است. تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی بهار نشان می‌دهد که نتایج شاخص پوکوریوس نسبت به دو شاخص لانژیلر و رایزنر دقیق‌تر است. بررسی نوع و رخساره‌ی آب‌ها بیانگر این موضوع است که ۷۰ درصد از نمونه‌ها دارای نوع بی-کربنات کلسیم می‌باشند. رسوب‌گذاری در مسیر جریان کاهش سطح مقطع لوله‌ها را به دنبال دارد. این مسأله ضمن افزایش افت، موجب اختلال در انتقال آب درون شبکه می‌شود. با توجه به تجزیه‌های شیمیایی، آب قنات و چشمه به ترتیب مناسب استفاده در صنعت و سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نمی‌باشند. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت بهار در محدوده‌ی کم تا متوسط رسوب‌گذاری و خوردگی قرار دارند، ولی رسوب‌گذاری در سامانه‌ی آبرسانی نسبت به خوردگی محسوس‌تر است، چه سبب کاهش سطح مقطع جریان شده و افت‌های مسیر را در پی دارد. کاهش سطح مقطع ناشی از رسوب‌گذاری و یا سوراخ شدن ناشی از خوردگی سبب افزایش هزینه‌های آبکشی، کارمایه و تعویض لوله‌های انتقال آب می‌گردد.

## منابع

- ۲- پورزمانی، ح. و همکاران. ۱۳۸۴. بررسی کیفیت منابع آب شرب از نظر خورنده بودن در شهرک صنعتی اشترجان اصفهان. همایش بهداشت محیط کشوری، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- ۳- پیش‌نمازی، س.ا. ۱۳۷۷. نقش آب و کنترل خوردگی در صنایع. انتشارات اردکان، اصفهان.
- ۴- توسلی، م. ۱۳۷۹. تامین آب شرب شهر اصفهان. شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، ۱۷۰ص.
- ۵- جعفرزاده، ن.، ج. سواری، ا.ح. حسنی، و ق. شمس خرم‌آبادی. ۱۳۸۷. تعیین خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز با کاربرد شاخص (EPA) قانون سرب و مس. اولین همایش تخصص مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.
- ۶- حسینیان، م. ۱۳۶۷. روش‌های تعیین کیفیت خوردگی و رسوب‌گذاری. اولین کنگره ملی خوردگی ایران. دانشکده فنی. دانشگاه تهران
- ۷- رحمانی، ع؛ و ر. شکوهی. ۱۳۸۶. بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان بهار، دهمین همایش ملی بهداشت محیط. همدان
- ۸- رضانی، پ. ۱۳۸۰. بررسی خوردگی و رسوب‌دهندگی آب آشامیدنی چاه‌های شهر رشت. فصل‌نامه آب و فاضلاب. شماره ۳۸. صص ۴۵-۴۱.
- ۹- زارعی، ق.، نخجوانی م.م. مقدم، و ا. ذالفقاران. ۱۳۸۵. بررسی علل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در شرایط اقلیمی ایران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. وزارت نیرو. تهران.
- ۱۰- سواری، ج.، ن. جعفرزاده، ا.ح. حسنی، و شمس ق. خرم‌آبادی. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات نمایه‌های خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی اهواز. دومین همایش تخصص مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.
- ۱۱- سیدرضی، س.م. ۱۳۷۶. کنترل خوردگی در صنایع، جلد اول، چاپ دوم، انجمن خوردگی ایران
- ۱۲- شمعیان، غ.م. م. رقیمی، و ا. یخشکی. ۱۳۸۵. هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در دشت گرگان: راهکارهای برای حساسیت‌سنجی آلودگی آب‌های زیرزمینی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
- ۱۳- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۵۰ صفحه
- ۱۴- علیزاده، ا. و ح. خیابانی. ۱۳۷۵. آبیاری قطره‌ای، چاپ سوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۷۵.
- ۱۵- کریم، م.، ا. نکدستان، ز. مسلم، و ف. جعفری گل. ۱۳۸۷. بررسی خاصیت خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه آبرسانی اهواز

- ۱- پاکشیر، م.، ع. معلم، ع. نظرلند، و ش. عباسی. ۱۳۸۳. محدودیت‌های شاخص‌های میزان خوردگی و رسوب‌گذاری آب در سیستم‌های صنعتی. فصل‌نامه آب و فاضلاب. ۶۵؛ ۵۱-۶۰.



The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and performance of drip irrigation. Transactions of the ASAE. 48: 519-527.

24- Freeze, R. A., and J. A. Cherry. 1979. Groundwater. Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., USA, 604p.

25- Horfar, A. 1996. Principles of corrosion technology. Center of University Publication.

26- Kehew, A.E. 2001. Applied chemical hydrogeology. Prentice-Hall, Inc. 368p.

27- Kevin, R. 2000, Scaling in geothermal heat pump systems, 11-15.

28- Nakayama, F.S., and D.A. Bucks. 1991. Water quality in drip, trickle irrigation: A review. J. Irri. Drain. Eng. 12: 187-192.

29- Puchorius, P.R., and J.M. Broke. 1991. A new practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling tower system. Corrosion. 47:280-284.

30- Sheldon and Pukorius. 1984. Cooling water treatment for control of scaling fouling corrosion. power pup.

31- Valenza, A. J.C. Grillot. and J.Dazy. 2000. Influence of groundwater on the degradation of irrigation soils in a semi-arid region, the inner delta of the Niger River, Mali. Hydrogeology Journal, 8:417-429.

32- You, S.H., Tseng, D.H. and Guo, G.L. 2001. A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry Resources. Conservation and Recycling J. 32: 73-81.

با استفاده از ضریب لانژیلر و رایزنر. دومین همایش تخصص مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.

۱۶- محوی، ا. و ا. اسلامی. ۱۳۸۵. بررسی وضعیت کیفی منابع تامین و شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر زنجان از نظر خوردگی و تشکیل رسوب در سال ۱۳۸۳، نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۹۵-۹۰: ۲۸

۱۷- نادری، ن. ۱۳۸۵. سنجش تاثیر کیفیت آب بر کارایی سیستم خرد آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. وزارت نیرو. تهران.

۱۸- نجفی‌مود، م.ح. ع.ا. منتظر، و م.ع. بهدانی. ۱۳۸۶. ارزیابی تعدادی از طرح‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده در خراسان جنوبی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۴-۱۱: ۱۴

19- American Society for Testing and Materials. 1995. Annual book of ASTM standard. Water and environmental technology. Public Editor. Vol. 1102. Philadelphia.

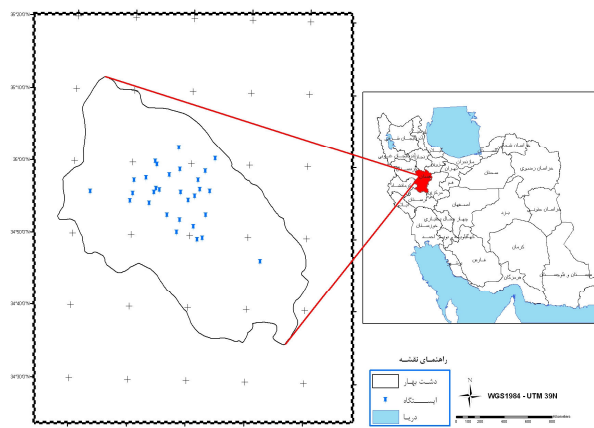
20- Al-Rawajfeh, A.E., and E.M. Al-Shamaileh. 2007. Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan. Desalination J. 206: 322-332.

21- Al-Rawajfeh, A.E., H. Glade, and J. Ulrich. 2005. Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO<sub>2</sub> release. Desalination J. 182: 209-219.

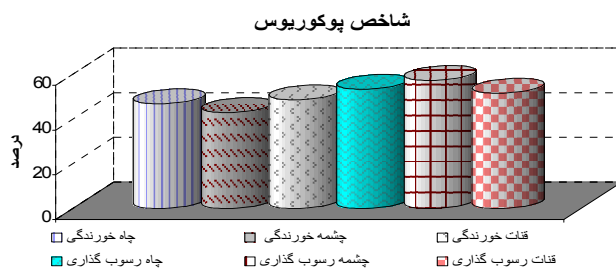
22- Ayers R.S., and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev.1.FAO,Rome. 174.

23- Dehghanisanij, H., T. Yamamoto, B. Ould Ahmad, H. Fujiyama, and K. Miyamoto. 2005.

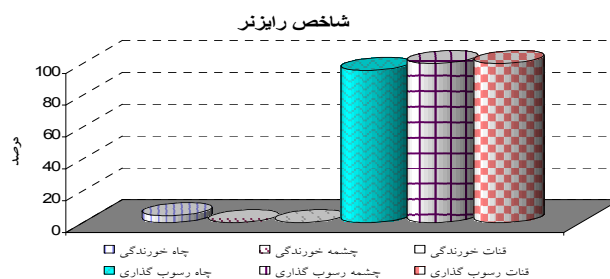
## پیوست‌ها



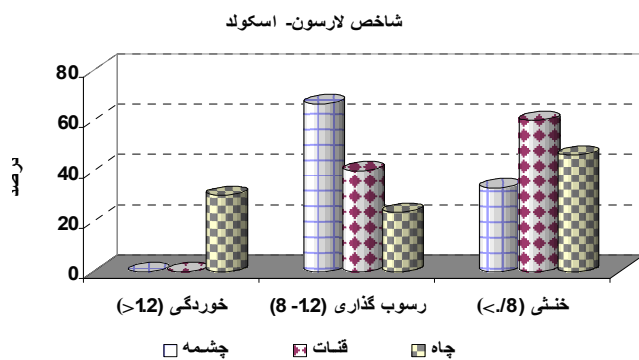
شکل ۱ - موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه.



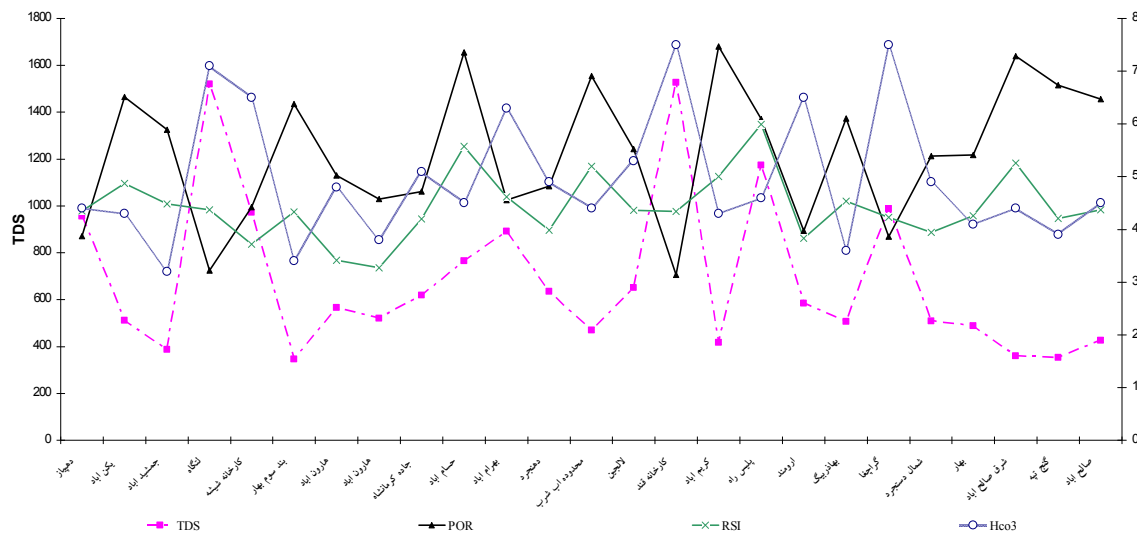
شکل ۲- درصد رسوب‌گذاری و خوردگی آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه.



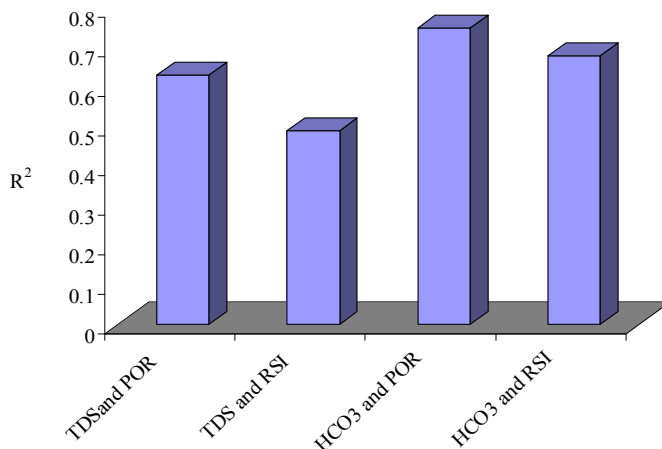
شکل ۳- درصد رسوب‌گذاری و خوردگی آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه.



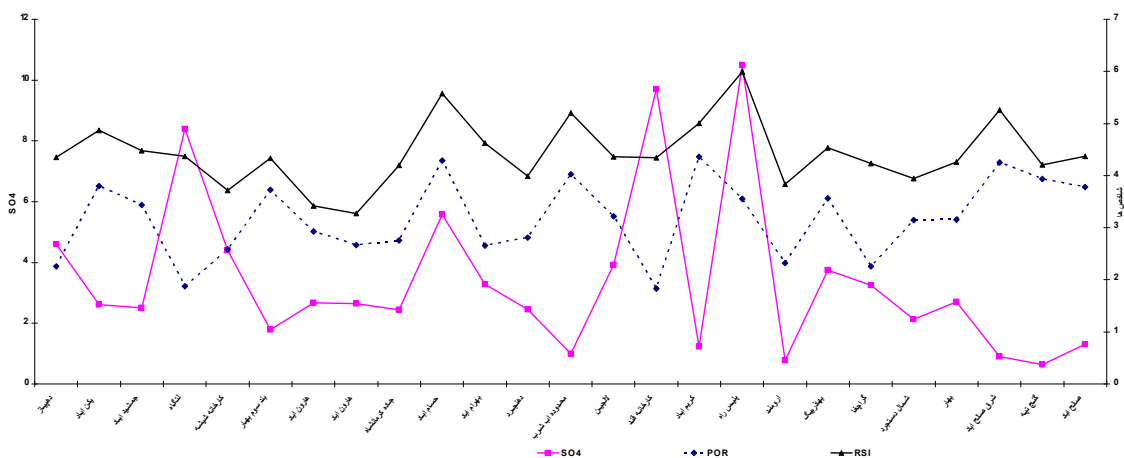
شکل ۴- نتایج شاخص لارسون- اسکولد به تفکیک منبع.



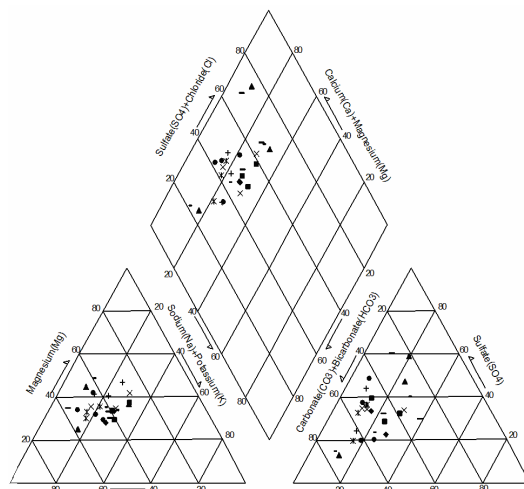
شکل ۵- مقادیر TDS و HCO<sub>3</sub> نمونه‌ی آب چاه در مقابل مقادیر شاخص‌های رایزنر و پوکوریوس سال ۱۳۸۷.



شکل ۶- مقادیر ضریب همبستگی بین فراسنج‌ها و شاخص‌های POR و RSI.



شکل ۷- مقادیر شاخص‌های RSI و POR در مقایسه با مقادیر SO<sub>4</sub> در سال ۱۳۸۷.



شکل ۸ - نمودار پی‌پی‌نوع نمونه‌های آب زیرزمینی دشت بهار.

جدول ۱- موقعیت و مشخصات محل‌های نمونه‌برداری.

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع منبع
۱	مریانج	۲۶ ۸۰ ۱۵	۳۸ ۵۸ ۲۵	قنات
۲	شهرک فرهنگیان	۳۸ ۳۳ ۴۳	۳۸ ۵۶ ۳۹	قنات
۳	قاسم آباد	۲۷ ۴۶ ۸۴	۳۸ ۵۶ ۷۲	قنات
۴	جورقان	۲۷ ۵۵ ۹۳	۳۸ ۶۲ ۶۷	چاه نیمه عمیق
۵	کریم آباد	۲۶ ۰ ۱۵	۳۸ ۷۲ ۲۰	چاه نیمه عمیق
۶	شرق کشتارگاه	۲۶ ۸ ۳۵	۳۸ ۶۵ ۶۵	چاه نیمه عمیق
۷	گنج تپه	۲۶ ۹۰ ۶۵	۳۸ ۶۸ ۴۳	چاه عمیق
۸	غرب بهار	۲۶ ۲۱ ۰	۳۸ ۶۸ ۵۰	چاه عمیق
۹	هارون آباد	۲۶ ۲۹ ۱۳	۳۸ ۷۵ ۵۷	چاه عمیق
۱۰	باباعلی	۲۴ ۵۴ ۵۸	۳۸ ۶۸ ۷۵	چشمه

جدول ۲- حدود خوردگی و رسوب گذاری (کوبین، ۲۰۰۰).

نمایه‌ی رایزنر		نمایه‌ی لارسون-اسکولد		نمایه‌ی لانزیلر		نمایه‌ی پورکریس	
توصیف	مقدار	توصیف	مقدار	توصیف	مقدار	توصیف	مقدار
رسوب‌گذار	RSI<6	خورنده	LS>1.2	رسوب‌گذار	LSI>0	رسوب‌گذار	POR<6
خورنده	RSI>6	رسوب‌گذار	LS<1.2	خورنده	LSI<0	خورنده	POR>6

جدول ۳- میانگین نتایج تجزیه‌ی شیمیایی آب زیرزمینی دشت بهار به تفکیک سال.

منبع	سال	TDS	TH	Na	K	Mg	Ca	CO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	SAR	EC	pH
چاه	۱۳۸۴	۶۵۶/۴	۳۸۵/۷	۱/۹۹	۰/۰۴	۲/۹	۴/۸	۰	۳/۶۵	۱/۹	۴/۲۴	۰/۹۳۹	۱۰۰۳/۱	۷/۶
	۱۳۸۵	۷۳۹	۴۳۸/۶	۲/۶	۰	۴	۵	۰	۴/۰۴	۲/۳	۵/۰۴	۱/۲	۱۱۲۷	۷/۸
	۱۳۸۶	۶۱۸/۳	۳۸۳/۳	۲/۱۳	۰/۰۳	۳/۲	۴/۵	۰	۲/۷	۲/۲	۴/۸	۱/۰۶	۹۴۶	۷/۶
	۱۳۸۷	۶۵۸/۸	۳۹۶/۲	۲/۶	۰/۰۳۶	۳/۱	۸/۴	۰	۳/۴	۲/۱	۴/۹	۱/۳	۱۰۴۷	۸/۱
قنات	۱۳۸۴	۵۲۸/۱	۳۴۶/۳	۱/۸	۰/۱	۱	۸	۰	۲/۰۶	۱/۸	۵/۰۵	۰/۸۸	۸۱۱	۸
	۱۳۸۵	۶۷۴/۸	۳۷۷/۵	۲/۶	۰/۲	۲	۶	۰	۳/۳۳	۱/۹	۵/۳	۱/۲۶	۱۰۳۳	۷/۹
	۱۳۸۶	۵۳۳/۵	۳۷۰	۳/۴	۰/۰۹	۱	۸/۴	۰	۲/۴۵	۳/۳	۷/۱	۱/۵	۹۲۶	۷/۸۱
	۱۳۸۷	۳۵۹	۲۹۵	۰/۴	۰/۰۳	۰/۹	۵	۰	۲/۳	۰/۶	۳/۴	۰/۲۳	۵۶۱	۸/۲
چشمه	۱۳۸۴	۵۹۵/۲	۱۷۰	۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۶	۲/۸	۰	۰/۴۳	۰/۱	۳/۱	۰/۱۷۶	۸۰۵	۸
	۱۳۸۵	۵۴۷/۶	۳۲۵	۲/۲	۰	۳	۴	۰	۲/۴۸	۱	۵/۱۵	۱/۰۶	۸۳۵	۸/۰۴
	۱۳۸۶	۸۷۳/۸	۴۷۰	۴/۲	۰/۰۶	۴/۳	۵/۱	۰	۴/۸	۱/۶	۷	۱/۹	۱۳۲۴	۷/۹۴
	۱۳۸۷	۲۲۱/۴	۱۸۰	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۹	۲/۷	۰	۰/۱	۰/۴	۳/۳	۰/۱۹	۳۴۶	۷/۷