

مطالعه خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی دشت همدان - بهار

حمید زارع‌ایبانه^{*۱}

zareabyaneh@gmail.com

سیده الهام عبدالصالحی^۲

آزاده کاظمی^۲

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۲۰

خوردگی و رسوب‌گذاری آب یکی از مشکلات مدیریت کیفی و مدیریت شبکه توزیع آب است. در این راستا از دو شاخص رایزنر و لانژلیر براساس تعادل شیمیایی بین املاح موجود در آب برای تعیین سطح خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار استفاده شد. نتایج نشان داد میزان خوردگی و رسوب‌گذاری در ۶۴/۲۵٪ از نمونه‌های آب زیرزمینی از دیدگاه لانژلیر در حد کم است. از دیدگاه رایزنر نیز ۸۵/۲٪ از نمونه‌های آبی دارای توان خوردگی و رسوب‌گذاری کم بودند. درصد خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب زیرزمینی قنوت در مقایسه با منابع آب زیرزمینی چاه‌ها کمتر بود. دلیل این امر می‌تواند ناشی از حذف بخشی از مسیر به واسطه نقب زدن در قنوت باشد که حلالیت نمک‌های مسیر را حذف نموده است. از طرفی نمودار پی‌پر نشان داد تیپ و رخساره منابع آب زیرزمینی دشت، بی‌کربنات کلسیت (۷۰٪)، بی‌کربنات سدیک (۱۵٪)، سولفات کلسیت (۳٪)، بی‌کربنات منیزیک (۶٪)، سولفات سدیک (۳٪) و کلرات کلسیک (۳٪) است. تیپ و رخساره آب نشان‌دهنده مشکلات عمده رسوب‌گذاری به واسطه وجود بی‌کربنات کلسیت و بی‌کربنات سدیک و تغییرات دمایی محیط است. شرکت یون‌های موجود در آب در فعل و انفعالات فیزیکی شیمیایی با لوله‌ها می‌تواند خوردگی ضعیفی را برای رسوبات ایجاد شده در پی داشته باشد که در واقع نقش خودشویی را بازی می‌کند. در مجموع منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار در محدوده کم تا متوسط رسوب‌گذاری و خوردگی قرار گرفت. لیکن رسوب‌گذاری در سیستم آب‌رسانی نسبت به خوردگی محسوس‌تر است که سبب کاهش سطح مقطع جریان شده و افت‌های مسیر را در پی دارد. لذا با توجه به زیان‌های اقتصادی لازم است تا حد ممکن از رسوب‌گذاری در سیستم انتقال آب جلوگیری به عمل آید.

واژه های کلیدی: خوردگی، رسوب‌گذاری، شاخص لانژلیر، شاخص رایزنر، آب زیرزمینی، دشت همدان.

مقدمه

خوردگی نسبی و براساس اندیس لانژلیر، انتظار ترسیب قشر ضعیفی از کربنات کلسیم است (۱۰).

پوکوریوس و بروک (۱۱) برای تشخیص رسوب-گذاری و خوردگی در صنایع تبریدی شاخص پوکوریوس^۳ (PSI) را معرفی نمودند. از شاخص فوق با عنوان کاربرد (PSI) در تعیین حد آستانه رسوب‌گذاری آب‌های بازیافتی در صنایع نیز یاد شده است (۱۲). در ارزیابی‌های صورت گرفته از سیستم خنک کننده مجتمع فولاد مبارکه هم مناسب بودن شاخص پوکوریوس گزارش شده است (۱۳).

در ارزیابی توان خوردگی و رسوب‌گذاری آب در سیستم آب‌رسانی استان تافیل^۴ (اردن) از شاخص توان رسوب کربنات کلسیم^۵ (CCPP) استفاده شد به طوری که مقادیر منفی CCPP بیان‌گر خوردگی و مثبت آن بیان‌گر رسوب-گذاری است (۱۴). در همین حال الرواجفه و همکاران (۱۵) تشکیل رسوب در صنایع تقطیری آب دریا را به مقدار بسیار زیادی وابسته به سرعت آزاد شدن گاز کربنیک، دما و pH آب دانسته و شاخص‌های رایزنر و لانژلیر را برای ارزیابی کافی دانستند.

در کاربری کشاورزی نیز رسوب کربنات کلسیم رایج-ترین عامل ایجاد گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها می‌باشد (۱۶). در این راستا محققان اعتقاد دارند کربنات‌ها و سولفات‌های کلسیم یا منیزیم معمول‌ترین عوامل شیمیایی انسداد قطره-چکان‌ها می‌باشند (۱۷). آنان تعیین توان آب در ایجاد رسوب کربنات کلسیم قبل از طراحی را از نظر اقتصادی و مسایل مشکلات پس از اجرا ضروری می‌دانند. با انجام مطالعات مشابه دیگری در خصوص رسوب کربنات کلسیم در سامانه آبیاری قطره‌ای استان‌های مختلف کشور نشان داده شد لوله‌های نواری-قطره‌ای^۶ بیشترین حساسیت به گرفتگی شیمیایی را دارند (۱۸). گرفتگی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای با کاهش

یکی از اهداف آب‌شناسی تامین آب با ویژگی‌ها و معیارهای کیفی مناسب برای بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت است. تمامی آب‌ها کم و بیش دارای مقداری نمک به عنوان ناخالصی و عاملی برای خوردگی یا رسوب‌گذاری هستند. طبق استاندارد ایزو ۸۰۴۴ خوردگی، برهم‌کنش فیزیکو شیمیایی مسیر انتقال با محیط اطراف است که سبب تغییر در خواص مسیر انتقال می‌شود (۱). در بیانی دیگر خوردگی واکنش فیزیکی- شیمیایی ناشی از تاثیر چندین عامل شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی توصیف شده است (۲). فرآیند فوق در دراز مدت می‌تواند سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته و مسایل اقتصادی، اجتماعی، فنی‌مهندسی و زیباشناختی را به دنبال داشته باشد (۳). لذا توجه به مسائل کیفی آب به واسطه سرمایه‌گذاری‌های عظیم چند سال اخیر در بخش منابع آب کشور لازم است (۴).

مطالعه وضعیت خوردگی و تشکیل رسوب مخازن ذخیره و شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر زنجان براساس شاخص‌های لانژلیر و رایزنر نشان داد که ۵۳/۵۱٪ از نمونه‌ها خورنده و ۷/۴۵٪ نیز رسوب‌گذار می‌باشند (۵). در مطالعه‌ای دیگر عامل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی چاه‌های شهر رشت، عملیات کلرزی، فلوکولاسیون و عملیات بهسازی آب چاه امامزاده هاشم در تصفیه‌خانه گزارش شد (۶). ارزیابی شبکه آب‌رسانی شهر اهواز نشان داد خوردگی آب در حد خفیف تا متوسط و فاقد رسوب‌گذاری است (۷). در گزارشی دیگر آب همه مناطق اهواز براساس ضریب رایزنر^۱ به شدت خورنده و براساس ضریب لانژلیر آب مناطق شمال و جنوب اهواز فاقد مشکل خوردگی و مناطق شرق و غرب کمی خورنده توصیف شده است. نویسندگان گزارش ضریب رایزنر را نسبت به لانژلیر^۲ کاربردی‌تر دانسته‌اند (۸). همچنین جعفرزاده و همکاران (۹) براساس قانون سرب و مس، آب شرب شهر اهواز را کمی خورنده بیان داشتند.

در ارزیابی صورت گرفته برای آب چاه‌ها، چشمه‌ها و

مخازن ذخیره‌ای آب شهرستان بهشهر براساس اندیس رایزنر،

3- Puckorius scale index

4- Practical scale index

5-Tafila

6- Calcium carbonate precipitation potential

7-Tape

1- Ryzanar index

2- Langlier index

شاخص‌های گوناگونی را در زمینه خوردگی و رسوب‌گذاری معرفی نموده‌اند (۱۱، ۱۴ و ۲۴). اما همگی در ارزیابی نهایی شاخص‌های پیشنهادی از دو شاخص رایزنر و لانزلیر به عنوان شاخص‌های مرجع و پایه استفاده کرده‌اند (۲۳).

بنابراین در این پژوهش پایش کیفی آب دشت همدان- بهار به عنوان مهم‌ترین منبع آب شرب، کشاورزی و صنعتی شهرستان‌های همدان و بهار، از نظر خوردگی و رسوب-گذاری با معیارهای لانزلیر و رایزنر مطالعه و بررسی شده است.

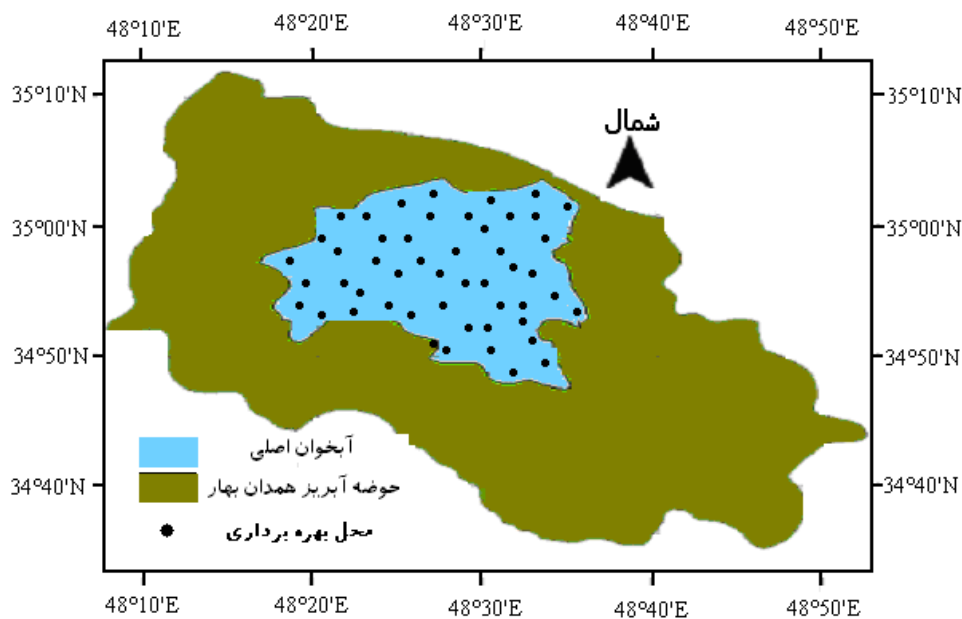
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مسئله

دشت همدان- بهار یکی از چهار دشت منطقه همدان می‌باشد که به دلیل بروز افت مداوم و کاهش ذخایر مخازن آب زیرزمینی در طی دو دهه گذشته از یک طرف و روند افزایشی تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مواد زائد و جامد، کاربرد سموم و کودهای شیمیایی در محدوده آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۵). حوزه آبریز دشت همدان- بهار با وسعت ۲۴۷۵ کیلومترمربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع است. دشت در محدوده طول شرقی $48^{\circ}17'$ تا $48^{\circ}33'$ و عرض شمالی $34^{\circ}49'$ تا $35^{\circ}02'$ قرار دارد (شکل ۱).

کیفیت آب ارتباط مستقیم دارد (۱۹) ضمن آن که میزان رسوب کلسیم در مجاری و لوازم انتقال آب به درجه بالای اسیدیته، غلظت زیاد کربنات کلسیم آب و نوسانات بیش از حد درجه حرارت محیط وابسته است (۲۰). به اعتقاد زهتابیان (۲۱) انسداد قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای بر اثر رسوب مواد آهکی (رسوب سفید) با اسید قوی (اسید نیتریک تجارتي و یا اسید کلریدریک خالص) قابل شستشو است. فرزانه (۲۲) به‌کارگیری رهنمودهای توصیه شده در این خصوص را با توجه به تناسب مصرف آب برای شرب، آبیاری و صنعت لازم دانسته است.

مسیرهای انتقال آب نقطه مشترک بسیاری از بخش-های مصرف کننده آب در شرب و بهداشت، صنایع و کشاورزی محسوب می‌شود. خوردگی و رسوب‌گذاری دو مشکل عمده تمامی مسیرهای انتقال است. به همین دلیل ضروری است مطالعات دقیقی در شناخت توان آب از لحاظ خوردگی و رسوب‌گذاری انجام شود. در بین شاخص‌های مختلف، شاخص-های رایزنر و لانزلیر به دلیل مزایای خاصی که نسبت به دیگر شاخص‌ها دارند، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۳). یکی از مزایای عمده این دو شاخص سادگی، قدمت و کاربرد وسیع آن‌ها است (۱۳). از مزایای دیگر، کاربرد عام در تمامی بخش-های مرتبط با آب است. روند تحقیقات نشان می‌دهد محققان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت همدان - بهار

مشخصات برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود این ایستگاه‌ها در محدوده دشت پراکنده و شامل تمامی شکل‌های برداشت آب زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) می‌باشد. لازم به ذکر است که معیار همگنی در قضاوت اولیه برای مشخص کردن ایستگاه‌های همگن، موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و نوع برداشت طبیعی (چشمه) و مصنوعی (قنات و چاه) بوده است.

تغذیه سفره آب زیرزمینی عموماً از ریزش‌های جوی و آبراهه-های متعدد منشعب از دامنه‌های الوند کوه است (۲۶). به علاوه تغذیه نامتعارفی نیز از طریق تخلیه فاضلاب‌های مسکونی شهر همدان در مناطق شهرک فرهنگیان، جورقان و مریانج در جنوب شرق دشت انجام می‌شود. این دشت به دلیل تامین آب شرب شهرستان‌های همدان و بهار، آب کشاورزی دشت بهار و آب صنعتی کارخانجات، الگوی مناسبی برای تجزیه و تحلیل‌های مورد نظر در این تحقیق بوده و نتایج حاصل از آن در مدیریت کمی و کیفی منابع آب دشت بهار قابل اهمیت است. نام و

جدول ۱ - موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری

موقعیت جغرافیایی		نام محلی	موقعیت جغرافیایی		نام محلی
عرض	طول		عرض	طول	
۳۸۵۸۲۸۴	۲۶۸۰۱۵	مریانج	۳۸۶۷۵۰۵	۲۷۲۷۱۰	بهرام آباد
۳۸۵۶۳۹۴	۲۷۳۳۴۳	شهرک فرهنگیان	۳۸۶۵۴۶۳	۲۷۳۰۲۱	دهپیز خلیج
۳۸۶۸۷۵۴	۲۴۵۴۵۸	باباعلی	۳۸۶۱۳۹۹	۲۶۸۷۹۲	یکن آباد
۳۸۵۶۷۲۷	۲۷۴۶۸۴	قاسم‌آباد	۳۸۶۸۳۸۹	۲۶۵۴۸۵	شمال بهار عباسی
۳۸۶۹۴۴۵	۲۶۲۶۰۲	بین بهار کریم‌آباد	۳۸۶۴۶۲۳	۲۶۲۰۶۵	دانه پروتین بهار
۳۸۶۸۷۱۵	۲۷۶۶۴۲	روبروی کارخانه شیشه	۳۸۶۸۷۷۰	۲۶۸۲۷۴	گنج تپه
۳۸۷۱۶۱۴	۲۵۹۹۴۰	شمال بهادر بیگ	۳۸۷۳۱۳۳	۲۷۱۴۲۲	شمال دستجرد
۳۸۶۲۶۷۳	۲۷۵۵۹۳	جورقان	۳۸۷۱۶۲۰	۲۷۳۶۶۱	دستجرد
۳۸۷۹۹۷۰	۲۶۸۶۳۱	دو راهی جمشید آباد	۳۸۷۳۹۰۱	۲۷۵۴۸۸	لتگاه
۳۸۷۲۸۳۱	۲۷۸۷۰۸	آق بلاغ	۳۸۶۸۲۱۱	۲۵۶۶۳۶	صالح آباد
۳۸۶۶۴۴۵	۲۷۱۰۵۲	محدوده آب شرب	۳۸۶۹۴۴۵	۲۶۲۶۰۲	صالح آباد-بهار
۳۸۷۲۲۶۶	۲۷۲۶۲۹	دهنجد	۳۸۶۸۵۰۰	۲۶۲۱۰۰	غرب صالح آباد
۳۸۶۲۶۷۳	۲۷۵۵۹۳	جورقان	۳۸۶۷۵۹۹	۲۶۱۶۲۲	بهار-صالح آباد
۳۸۵۶۸۰۰	۲۷۱۸۱۹	همدان نجفی	۳۸۷۱۹۲۴	۲۵۹۲۹۱	کریم آباد
۳۸۷۷۳۷۳	۲۵۹۳۷۸	خوشاب علیا	۳۸۷۵۵۷۴	۲۶۲۹۱۴	هارون آباد
۳۸۷۷۱۲۴	۲۷۸۱۲۰	جنوب حسین‌آباد	۳۸۷۲۱۷۰	۲۶۵۹۷۹	حسام آباد وطنی
۳۸۷۷۱۴۱	۲۷۸۲۲۳	حسی آباد کارخانه قند	۳۸۵۹۹۲۱	۲۷۴۰۶۰	گرچقا
۳۸۶۶۰۱۸	۲۷۷۳۲۱	کارخانه شیشه دینی	۳۸۵۹۹۱۲	۲۷۴۰۶۱	گراچقا فتحی
۳۸۷۴۳۲۱	۲۶۸۸۸۰	لالجین	۳۸۵۹۷۱۰	۲۷۲۳۸۵	علی‌آباد گرچقا
۳۸۶۴۷۰۵	۲۷۳۱۰۰	دهپیز	۳۸۶۷۶۲۱	۲۷۵۶۵۱	امزاجرد حیدری
۳۸۶۶۲۹۱	۲۵۵۸۷۵	ارومند	۳۸۶۹۲۱۰	۲۷۴۱۱۰	امزاجرد
۳۸۶۵۶۵۶	۲۶۰۸۳۵	شرق کشتارگاه	۳۸۶۶۵۱۹	۲۵۶۰۹۳	آبرومند مرادی
۳۸۶۲۷۰۰	۲۶۵۵۰۰	پلیس‌راه	۳۸۷۰۹۰۵	۲۵۵۷۲۹	بهادریک
۳۸۷۵۵۷۶	۲۶۲۹۱۳	هارون‌آباد	۳۸۶۹۱۲۱	۲۶۳۴۹۳	بند سوم بهار
۳۸۷۶۴۱۴	۲۶۲۴۵۹	هارون‌آباد تغذیه مصنوعی	۳۸۷۲۹۰۰	۲۶۶۱۱۵	حسام‌آباد

تیتراسیون با نیترات نقره و سنجش سختی از روش تیتراسیون با محلول EDTA استفاده شده بود. برای اطلاعات بیشتر می-توان به دستورالعمل‌های ادارات آب مراجعه نمود. نمونه‌برداری-ها به شکل لحظه‌ای در ظروف شیشه‌ای استریل عاری از آلودگی و بعد از ۲۰-۱۰ دقیقه از پمپاژ آب از محل دهانه خروجی چاه، برای قنوت و چشمه‌ها نیز از محل مظهر انجام شده بود. به منظور جلوگیری از هر گونه تغییر کیفی، نمونه‌های برداشتی در یخدان مخصوص، با دمای کمتر از ۴ درجه سانتی-گراد حفظ، و در پایان، به آزمایشگاه امور آب استان تحویل داده شده بود.

روش انجام تحقیق

روش‌های متفاوتی برای پیش‌بینی رسوب‌گذاری و یا تمایل به ایجاد خوردگی وجود دارد. این روش‌ها معمولاً بر مبنای تعادلات شیمیایی استوار شده‌اند و فقط می‌توانند اتفاقات را مشخص کنند ولی دینامیک مساله را بررسی نمی-نمایند. ساده‌ترین روش‌ها برای بررسی این مساله به کارگیری آنالیز آب در سنجش تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی با استفاده از شاخص‌های لانژلییر (LSI) و رایزنر (RSI) است. این شاخص‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

در مجموع براساس مکان‌یابی محل‌های نمونه‌گیری از طرف اداره امور آب استان همدان طی نه سال، اطلاعات حدود ۲۰۴ نمونه آب از ۱۷۳ حلقه چاه، ۲۳ رشته قنات و ۸ دهنه چشمه برداشت شده از سوی اداره فوق، مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب محل‌های نمونه‌گیری براساس حضور منابع آلاینده، توزیع آن‌ها، محل‌های تغذیه و تخلیه حوزه و موجودیت چاه‌ها بود. مکان‌های مورد استفاده در این مطالعه یک شبکه تقریباً مناسب، با پراکنش مکانی قابل قبول از انواع منابع آب زیرزمینی بود. در این تحقیق از اطلاعات آنالیز شیمیایی سالیانه اندازه‌گیری شده آب توسط اداره امور آب استان همدان در یک دوره نه ساله به عنوان متغیرهای اولیه استفاده شد. داده‌ها در طی سال‌های ۱۳۷۳ الی ۱۳۸۵ خورشیدی شامل اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای کیفی مربوط به کاتیون‌ها و آنیون‌های هر نمونه از طریق آزمایش‌های مربوطه بود. پارامترهای کیفی مورد استفاده در این مطالعه شامل هدایت الکتریکی^۱ املاح محلول در آب (EC)، اسیدیته (pH)، یون‌های بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلر (Cl^-)، سولفات (SO_4^{2-})، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، درصد سدیم (Na)، قلیائیت، سختی کل^۲ (TH) و باقی مانده جامد املاح^۳ (TDS) بودند. به جز، pH و SAR که به ترتیب بدون بعد و دارای واحد استاندارد هستند، واحد بقیه پارامترها بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر ثبت شده است. نمونه‌برداری سالیانه، در دو فصل بهار و تابستان به دلیل بالا بودن مصرف در این دو فصل و قابلیت دسترسی به آن‌ها، برای هر یک از شاخص‌های کیفی انجام شده بود. نمونه‌برداری و سنجش پارامترهای کیفی براساس روش‌های استاندارد نمونه‌برداری آب و فاضلاب توسط کارشناسان اداره آب استان همدان صورت گرفته است (۲۷). اندازه‌گیری pH، با استفاده از دستگاه pH متر، اندازه‌گیری EC و TDS با دستگاه قابل حمل Conduct meter و اندازه‌گیری سایر پارامترها نیز از روش تیتراسیون در حضور شناساگرها صورت گرفته بود. به طور نمونه برای یون کلر از

- 1- Electrical conductivity
- 2- Total hardness
- 3- Total dissolved solid

$$LSI = pH - pH_c \quad (1)$$

$$RSI = 2(pH_c) - pH \quad (2)$$

$$pH_c = p(Ca+Mg+Na+k) + p(Ca+Mg) + p(CO_3+HCO_3) \quad (3)$$

جدول ۲ - طبقات مختلف خوردگی و رسوب گذاری

(۱۳ و ۳۰)

اندیس لائزیر		اندیس رایزنر	
مقدار	توصیف	مقدار	توصیف
<۰	خورنده	<۶	رسوب‌گذار
>۰	رسوب‌گذار	>۶	خورنده

در این مطالعه تشخیص درجات مختلف شدت خوردگی و رسوب‌گذاری براساس مطالعات کوین (۳۰) بود. کوین (۳۰) برای شاخص رایزنر ۷ سطح توصیفی شامل: رسوب‌گذاری شدید (<۴)، رسوب‌گذاری زیاد (۴-۵)، رسوب-گذاری متوسط (۵-۶)، رسوب‌گذاری کم و خوردگی کم (۶-۷)، خوردگی متوسط (۷-۷/۵)، خوردگی زیاد (۷/۵-۹) و خوردگی شدید (>۹) قایل شد. وی برای اندیس لائزیر نیز ۵ سطح توصیفی رسوب‌گذار تا خورنده را پیشنهاد داد.

برای تفسیر مناسب‌تر نتایج، تیپ و رخساره آب دشت همدان-بهار نیز از طریق دیاگرام پی‌پر استخراج گردید. تیپ و رخساره آب حاصل وجود املاحی است که در رسوب‌گذاری یا خوردگی موثر هستند. در نمودار پی‌پر مثلث آنیون‌ها و کاتیون‌ها هر کدام شامل ۵ تیپ آب است که از اتصال ۵۰٪ اضلاع متقابل به یکدیگر حاصل می‌شود. میدان لوزی پی‌پر با ۸ منطقه رخساره آب، که ۴ رخساره از اتصال نقاط ۱۰٪ به موازات اضلاع لوزی و ۴ رخساره دیگر از اتصال نقاط ۵۰٪ به دست می‌آیند (۲۹). ترسیم دیاگرام پی‌پر با استفاده از نرم‌افزار GWW ver.1.10 در نسخه تحت ویندوز آن انجام شد (۳۱).

نتایج و تفسیر

جدول ۳ خلاصه نتایج مربوط به آنالیزهای شیمیایی منابع آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. جدول ۳ براساس میانگین

که در آن LSI، شاخص لائزیر، RSI، شاخص رایزنر، pH، اسیدیته آب (اندازه‌گیری شده)، pH_c، اسیدیته محاسباتی براساس نتایج تجزیه شیمیایی آب با فرض اشباع بودن از کلسیت یا کربنات کلسیم، p(Ca+Mg+Na+k) نمایه کاتیون‌های آب، p(Ca+Mg) نمایه کلسیم و منیزیم آب و p(CO₃+HCO₃) نمایه کربنات و بی‌کربنات است.

برای داشتن مولفه‌های رابطه ۳ به کمک جداول راهنما، در محیط نرم‌افزاری اکسل^۱ نمودارهای مرجع استخراج شدند (۲۸). نمودارهای فوق با برازش مدل‌های رگرسیونی بر داده‌های جداول راهنما، نمایه: کاتیون‌ها، کلسیم + منیزیم، کربنات + بی‌کربنات با ضریب تعیین (R²) بالا به دست آمد. برای نمایه کاتیون‌های آب مدل چندجمله‌ای^۲ درجه دو، برای نمایه کلسیم + منیزیم آب و نمایه کربنات + بی‌کربنات مدل لگاریتمی^۳ مناسب بود. انجام مراحل فوق به منظور سهولت در محاسبات و افزایش دقت بوده است.

در گام بعدی، مقادیر شاخص‌ها از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد. در شاخص لائزیر اگر pH < pH_c باشد، آب دارای شاخص لائزیر منفی بوده و باعث حل شدن کربنات کلسیم خواهد شد که در این حالت آب خورنده است. اگر pH > pH_c باشد، شاخص لائزیر مثبت بوده و آب از کربنات کلسیم اشباع خواهد بود که در این حالت آب رسوب‌گذار است. در شاخص رایزنر آب موقعی خورنده است که عدد اندیس از ۶ تجاوز نماید و تمایل به رسوب‌گذاری وقتی است که مقدار شاخص از ۶ کاهش یابد (۲۹). جدول ۲ خلاصه‌ای از حدود هر یک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

- 1- Excel
- 2- Polynomial model
- 3- Logarithm model

استانداردهای بین‌المللی و استفاده از ۹ دوره اطلاعات شیمیایی آب نشان‌دهنده دقت و قابلیت اطمینان کار است.

پارامترها در دوره ۹ ساله به تفکیک نوع منابع آب زیرزمینی ارایه شده است. انجام آزمایش‌های تعیین کیفیت براساس

جدول ۳- میانگین نتایج آنالیز شیمیایی آب زیرزمینی دشت همدان بهار ۱۳۸۲-۱۳۷۲

پارامتر کیفی	واحد	چاه	چشمه	قنات	میانگین	انحراف معیار
EC	میکروموس بر سانتی‌متر	۹۷۷/۱	۴۶۷/۵	۸۷۷/۱	۷۸۰/۶	۲۷۷/۷
TDS	میلی گرم در لیتر	۶۴۷/۹	۳۰۱/۲۶	۵۲۸/۱	۴۹۲/۴	۱۷۶/۰
pH	----	۷/۷	۷/۷۶	۷/۶	۷/۷	۰/۱
Ca	میلی اکی والان در لیتر	۴/۵	۲/۸۹	۴/۷	۴/۰	۱/۰
Mg	میلی اکی والان در لیتر	۳/۳	۱/۳۱	۱/۸	۲/۲	۱/۱
CO ₃	میلی اکی والان در لیتر	۰/۰	۰	۰/۰۰۹	۰/۰	۰/۰۱
HCO ₃	میلی اکی والان در لیتر	۵/۲	۳/۶۱	۵/۰	۴/۵۹	۰/۹

۴، ۵ و ۶ نشان می‌دهند ضریب تعیین (R^2) تمامی روابط در حد بالا است که خوبی مدل‌های برازش داده شده را تایید می‌نمایند.

در تحلیل وضعیت شیمیایی آب از دیدگاه شاخص‌های مورد بحث، در ابتدا نمایه: کاتیون‌های آب، کلسیم + منیزیم و کربنات + بی‌کربنات در قالب مدل‌های رگرسیونی براساس جداول راهنما استخراج شد (۲۸). همان گونه که روابط

$$P(\text{Cations}) = -0.0003 \text{ Cations}^2 + 0.0189 \text{ Cations} + 2.1223 \quad R^2 = 0.99 \quad (۴)$$

$$P(\text{Ca+Mg}) = -0.4347 \text{ Ln}(\text{Ca+Mg}) + 3.298 \quad R^2 = 1 \quad (۵)$$

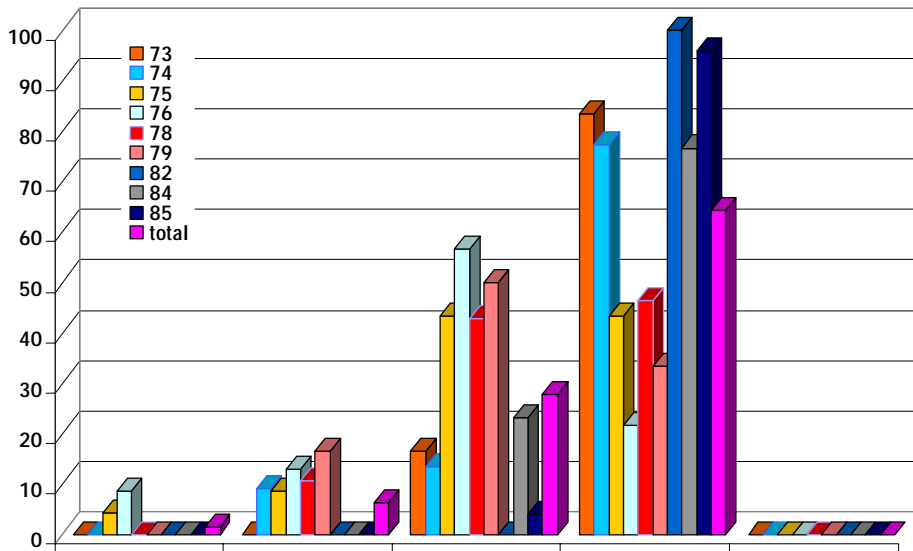
$$P(\text{CO}_3+\text{HCO}_3) = -0.4348 \text{ Ln}(\text{CO}_3+\text{HCO}_3) + 2.9982 \quad R^2 = 1 \quad (۶)$$

می‌شود و مشکلی از نظر سوراخ کردن مسیر ایجاد نمی‌کند. الگوی رایزنر نشان داد که در ۸۵/۲٪ از نمونه‌ها مقدار اندیس رایزنر ۶/۴۲ شد که دارای پتانسیل رسوب گذاری است (نمودار ۲). مشابه آنچه که در خصوص معیار لانژلیر براساس محدوده‌های توصیفی کوبین (۳۰) اشاره شد می‌توان گفت که منابع آب زیرزمینی دارای پتانسیل رسوب گذاری به همراه کمی خوردگی می‌باشند بدون آن‌که خوردگی مشکل اساسی برای سیستم آبرسانی ایجاد نماید. به عبارت دیگر این خوردگی با توجه به رسوب گذاری، مشکل خاصی را برای سیستم آبرسانی در کوتاه مدت ایجاد نمی‌کند. مقایسه هر دو شاخص لانژلیر و رایزنر نشان می‌دهد تمایل به رسوب گذاری و خوردگی با غالبیت رسوب گذاری در آب‌های زیرزمینی دشت وجود دارد. این امر سبب می‌شود تا اثرات خوردگی در لوای رسوب گذاری پنهان

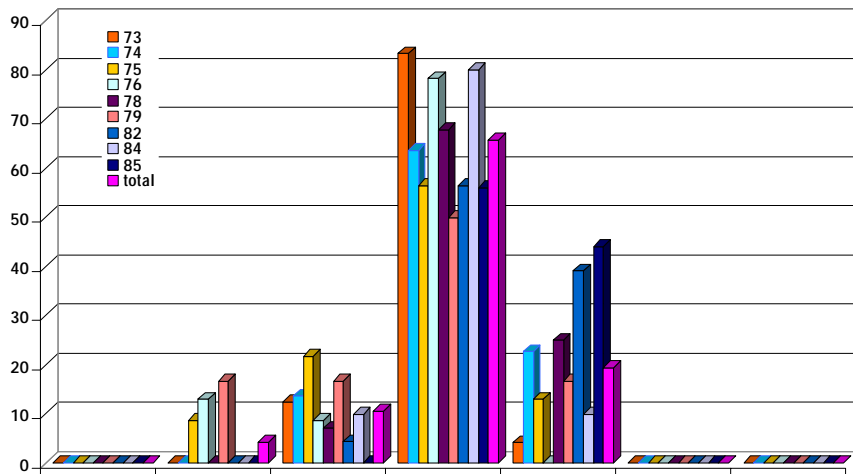
در گام بعدی پس از استخراج معادلات نمایه‌ها، از روابط ۱ و ۲ شاخص‌های رایزنر و لانژلیر برای آب محاسبه شد. به این ترتیب اشکال ۲ و ۳ برای دو شاخص رایزنر و لانژلیر به دست آمد. اشکال فوق درصد شدت‌های مختلف خوردگی و رسوب گذاری را از دیدگاه کوبین (۳۰) نشان می‌دهد. مطابق تعریف در صورت مثبت بودن شاخص لانژلیر، آب رسوب‌زا و در صورت فزونی شاخص رایزنر از عدد ۶، آب پتانسیل خوردگی را دارد. براساس الگوی لانژلیر در ۶۴/۲۵٪ از نمونه‌ها عدد لانژلیر ۰/۰۲ تا ۰/۶۳ بود. مثبت بودن آن دلیل بر تمایل به رسوب گذاری آب است (نمودار ۱). براساس محدوده‌های توصیفی کوبین (۳۰) منابع آب بررسی شده در محدوده توصیفی رسوب گذاری کم تا متوسط به همراه خوردگی کم قرار دارد که خوردگی در واقع سبب شستشوی املاح رسوبی در بستر جریان

یکسانی شرایط فیزیکی و شیمیایی آب مورد مطالعه و اشتراک پایه‌ای هر دو شاخص باشد.

بماند. لیکن رسوب‌گذاری در مجاری انتقال آب به عنوان عاملی منفی در کاهش سطح مقطع عمل می‌کند. تشابه آشکار در تحلیل اطلاعات آب مورد مطالعه، کارایی دو شاخص لانژلیبر و رایزنر را نشان می‌دهد. عمده‌ترین دلیل این تشابه شاید در



نمودار ۱ - درصد کلی خوردگی و رسوب‌گذاری بر اساس اندیس LSI (لانژلیبر)



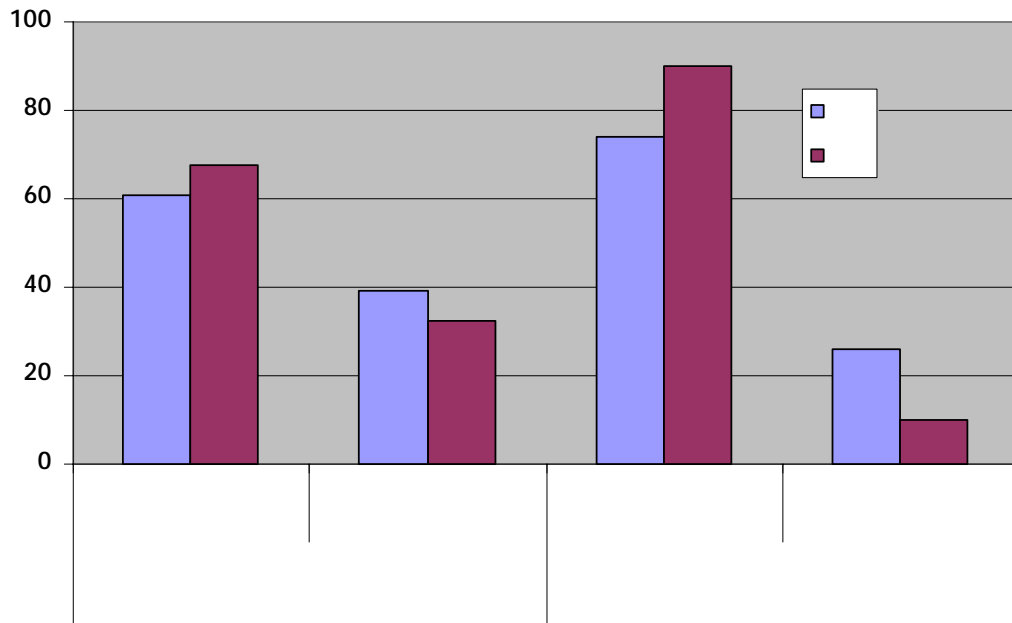
نمودار ۲ - درصد کلی خوردگی و رسوب‌گذاری بر اساس اندیس RSI (رایزنر)

می‌رسد اندیس رایزنر به واسطه تعداد بیشتر سطوح ارزیابی (۷ سطح) نسبت به اندیس لانژلیبر کاربردی‌تر است. زیرا هر چه تعداد سطوح ارزیابی در هر متغیر مجهولی بیشتر باشد، نتایج

مقایسه نمودارهای ۱ و ۲ نشان می‌دهد که شاخص رایزنر درجات مختلف خوردگی و رسوب‌گذاری آب را در ۷ کلاس و شاخص لانژلیبر در ۵ کلاس ارزیابی نموده است. به نظر

نمودار ۳ نتایج خوردگی و رسوب گذاری را به تفکیک منبع آبی براساس شاخص لائزلیرو رایزور نشان می‌دهد. لحاظ منابع مختلف آب برای مقایسه نوع منبع (شکل برداشت) در بحث خوردگی و رسوب گذاری بود.

ارزیابی به واقعیت نزدیک خواهد شد. مشابه چنین نتیجه‌ای را کریم و همکاران (۸) مبنی بر کاربردی بودن شاخص رایزور نسبت به شاخص لائزلیرو در خصوص آب اهواز پیشنهاد دادند. لذا با توجه به محدوده سرعت مجاز ۱-۲ متر در ثانیه در مجاری انتقال آب شرب و کشاورزی شاخص رایزور قابل توصیه است.

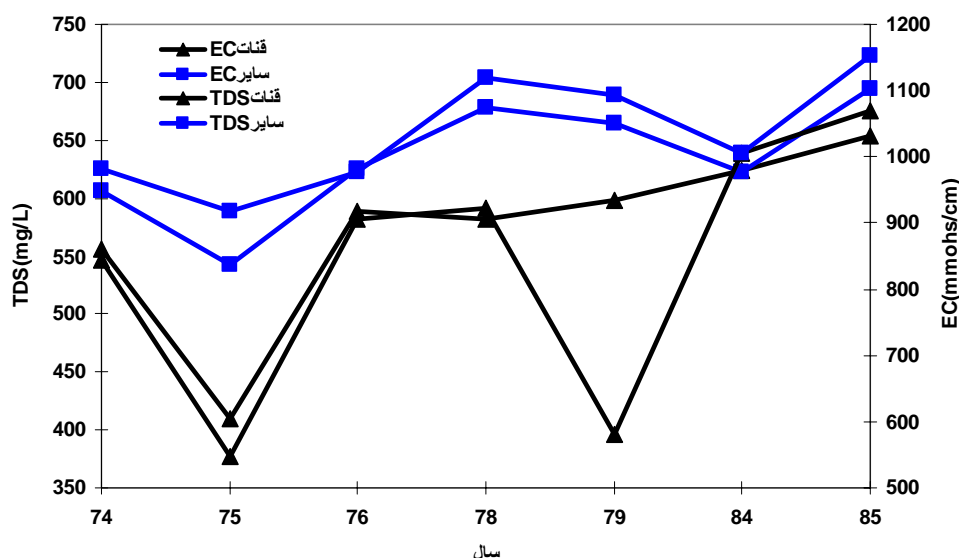


نمودار ۳ - درصد کلی خوردگی و رسوب گذاری بر اساس اندیس‌های لائزلیرو و رایزور

می‌شوند. در حالی که در قنوات بخشی از مسیر جریان با نقب زدن به عنوان کوره قنات حذف می‌شود. لذا طبیعی است که میزان املاح محلول در آب قنوات کمتر باشد. شاید مقایسه میزان هدایت الکتریکی املاح (EC) و باقی مانده املاح (TDS) قنوات در مقایسه با سایر منابع آب زیرزمینی دشت مناسب باشد و می‌تواند دلیلی بر کمتر بودن نسبی خوردگی و رسوب گذاری در قنوات باشد (نمودار ۴).

در نمودار ۳ بیشترین درصد خوردگی و رسوب گذاری به ترتیب به آب چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات تعلق دارد. نتایج نمودار ۳ نیز با کمی تفاوت مشابه نمودار ۱ و ۲ است.

نکته قابل تامل در نمودار ۳ کمتر بودن نسبی مشکل رسوب گذاری و خوردگی در قنوات نسبت به سایر منابع است. به نظر می‌رسد سایر منابع آبی در مسیر حرکت خود به سمت محل برداشت، سبب حلالیت املاح خورنده و رسوب گذاری

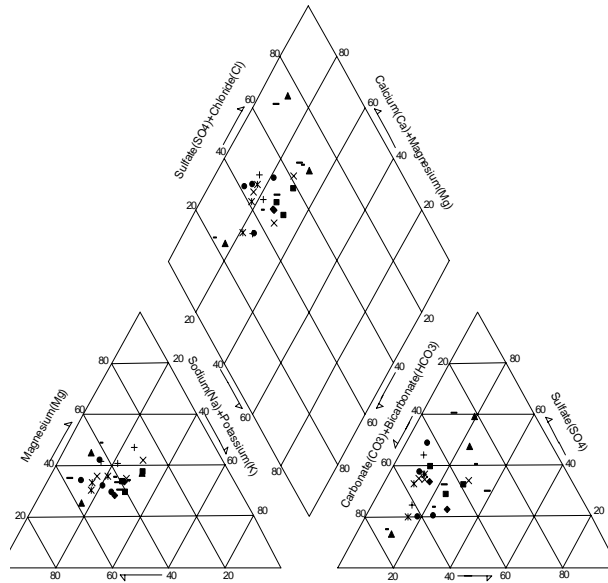


نمودار ۴- مقایسه EC و TDS قنات را در مقایسه با سایر منابع آبی

منیزیک، ۳٪ سولفات سدیک، ۳٪ کلرات کلسیک است. موقعیت نمونه‌ها در نمودار ۵ نشان دهنده تیپ بی کربنات کلسیم و تیپ بی کربنات سدیم می‌باشد. همان گونه که نادری (۱۶) و علیزاده و خیابانی (۱۷) و دیگر محققان بیان داشته‌اند وجود بی کربنات + کلسیم و سولفات عواملی در ایجاد شرایط رسوب و خوردگی محسوب می‌شود که تیپ و رخساره نمونه‌های مورد بررسی نیز موید آن است. در این بین تغییرات دمایی ناشی از تغییر فصل نیز شرایط را برای فعل و انفعالات شیمیایی مساعد می‌نماید (۲۰).

نمودار ۴ مقادیر EC و TDS قنات را در مقایسه با سایر منابع آبی نشان می‌دهد. براساس شکل فوق میانگین ۹ ساله پارامترهای EC و TDS قنات از میانگین مجموع چاه‌ها و چشمه‌ها کمتر است. لذا استناد به این نظر که در قنات حذف بخشی از مسیر حرکت جهت رسیدن آب به سطح زمین می‌تواند سبب کاهش حلالیت املاح و در نتیجه کاهش EC و TDS باشد منطقی به نظر می‌رسد.

بررسی تیپ و رخساره آب‌ها (نمودار ۵) نشان می‌دهد که در ۷۰٪ از موارد، آب دارای تیپ بی کربنات کلسیک، ۱۵٪ بی کربنات سدیک، ۳٪ سولفات کلسیک، ۶٪ بی کربنات



نمودار ۵- نمودار پی پی بر تیپ ۲

نتیجه گیری

مطالعه خوردگی و رسوب گذاری منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار نشان داد منابع آب زیرزمینی این دشت در محدوده کم تا متوسط رسوب گذاری و خوردگی قرار دارد که درصد خوردگی و رسوب گذاری منابع آب زیرزمینی قنوت در مقایسه با منابع آب زیرزمینی چاهها کمتر بود. لیکن رسوب گذاری در سیستم آب رسانی نسبت به خوردگی محسوس تر بود که کاهش سطح مقطع جریان شده و افت های مسیر را در پی دارد. ضمن آن که مشکلات عمده رسوب گذاری به واسطه وجود بی کربنات کلسیت و بی کربنات سدیک و تغییرات دمایی محیط بود. لذا با توجه به زیان های اقتصادی لازم است تا حد ممکن از رسوب گذاری در سیستم انتقال آب جلوگیری به عمل آید. از آن جایی که برخی مسایل مرتبط با خوردگی و رسوب گذاری تدریجی و برخی ناگهانی است لذا مطالعه حاضر لزوم ارزیابی توان آب از نظر خوردگی و رسوب گذاری را نشان داد.

منابع

- Horfar, A., 1996. Principal of corrosion technology. Center of University Publication.
- پورزمانی، ح. ۱۳۸۴. بررسی کیفیت منابع آب شرب از نظر خورنده بودن در شهرک صنعتی اشترجان اصفهان، همایش بهداشت محیط کشوری، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- حسینیان، م. ۱۳۶۷. روش های تعیین کیفیت خوردگی و رسوب گذاری، اولین کنگره ملی خوردگی ایران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- تجریشی، م. ۱۳۷۹. نگرانی های کیفی منابع آب در کشور. دومین کنفرانس آسیایی مدیریت آب و فاضلاب. تهران.
- مجوی، ا. و اسلامی، ا. 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، شماره ۲۸، صص. ۹۵-۹۰.

۱۳. پاکشیر، م.، معلم، ع.، نظربلند، ع.ع. و عباسی، ش. ۱۳۸۳. محدودیت‌های شاخص‌های میزان خوردگی و رسوب‌گذاری آب در سیستم‌های صنعتی. فصل‌نامه آب و فاضلاب. شماره ۵۱. صص. ۶۰-۶۵.
14. Al-Rawajfeh, A.E. and Al-Shamaileh E.M. 2007. Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan. *Desalination J.* 206(1-3): 322-332.
15. Al-Rawajfeh, A.E., Glade, H. and Ulrich, J. 2005. Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO₂ release. *Desalination J.* 182 (1-3): 209-219.
۱۶. نادری، ن. ۱۳۸۵. سنجش تاثیر کیفیت آب بر کارایی سیستم خرد آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. وزارت نیرو. تهران.
۱۷. زارعی، ق.، نجوانی مقدم، م.م. و ذالفقاران، ا. ۱۳۸۵. بررسی علل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در شرایط اقلیمی ایران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. وزارت نیرو. تهران.
18. Dehghanisani, H., Yamamoto, T., Ould Ahmad, B., Fujiyama, H. and Miyamoto, K. 2005. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and performance of drip irrigation. *Transactions of the ASAE.* 48(2): 519-527.
19. Nakayama, F.S. and Bucks, D.A. 1991. Water quality in drip, trickle irrigation: A review. *J. Irri. Drain. Eng.* 12(4): 187-192.
۲۰. زهتابیان، غ. ۱۳۷۵. راهنمای عملی آبیاری، (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران، صص. ۳۲۴.
۲۱. فرزانه، ع. ۱۳۷۴. دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری از سیستم آبیاری میکرو: بخش اول فعل و
۶. رضانی، پ. ۱۳۸۰. بررسی خوردگی و رسوب-دهندگی آب آشامیدنی چاه‌های شهر رشت. فصل‌نامه آب و فاضلاب. شماره ۳۸. صص. ۴۱-۴۵.
۷. سواری، ج.، جعفرزاده، ن.، حسنی، ا.ج. و شمس خرم‌آبادی، ق. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات اندیس‌های خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی اهواز. دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.
۸. کریم، م.، تکدستان، ا.، مسلم، ز. و جعفری‌گل، ف. ۱۳۸۷. بررسی خاصیت خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه آبرسانی اهواز با استفاده از ضریب لانژلیه و رایزنر. دومین همایش تخصص مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.
۹. جعفرزاده، ن.، سواری، ج.، حسنی، ا.ج. و شمس خرم‌آبادی، ق. ۱۳۸۵. 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.
۱۰. نیک‌پور، ب.، نوشادی، م.، مرتضوی، م.ص. و یوسفی، ذ. ۱۳۸۵. بررسی کیفیت آب شرب شهر بهشهر از نظر شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری. اولین همایش تخصص مهندسی محیط زیست. دانشکده محیط زیست. دانشگاه تهران.
11. Puchorius, P.R. and Broke, J.M. 1991. A new practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling tower system. *Corrosion.* 47(4):280-284.
12. 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(1): 73-81.

26. American Society for testing and Materials. 1995. Annual book of ASTM standard. Water and environmental technology. Public Editor. Vol. 1102. Philadelphia.
۲۷. علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۵۰ صفحه.
۲۸. علیزاده، ا. و خیابانی، ح. آبیاری قطره‌ای، ۱۳۷۵. چاپ سوم، انتشارات آستان قدس رضوی، ص. ۲۷۵.
29. Kehew, A.E., 2001. Applied Chemical Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc, 368p.
30. Kevin, R. 2000, Scaling in geothermal heat pump systems, PP 11-15.
۳۱. قاسمی، ع.، زارع ابیانه ح. و سپهری، ن.ا. ۱۳۸۶. بررسی کیفی آب رودخانه‌های آبشینه و عباس‌آباد در استان همدان. مجموعه مقالات سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، صفحات ۳۸۱-۳۷۸.
- انفعالات شیمیایی آب و معضل گرفتگی قطره‌چکان-ها در سیستم آبیاری قطره‌ای. اداره کل آبیاری تحت فشار.
22. Agatemor, C. and Okolo P. 2008. Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin. Environmentalist 28(4): 379-384.
23. Patzay, G., Stahl G., Karman F.H. and Kalman, E. 1998. Modeling of scale formation and corrosion from geothermal water. Electrochimica Acta J. 43(1-2): 137-147.
۲۴. رحمانی، ع. و شکوهی، ر. ۱۳۸۶، بررسی کیفیت آب زیر زمینی دشت همدان بهار، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، همدان.
۲۵. امور آب استان همدان، ۱۳۸۶، گزارش مطالعات آب-های زیرزمینی چهار دشت همدان در سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴، دفتر مطالعات منابع آب استان همدان، امور آب استان همدان.