



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## تمایل به خوردگی یا رسوبگذاری و روند آن در منابع آب مناطق روستایی شهرستان کاشان

مهدی هادی<sup>۱\*</sup>، زهرا ابوسعدی<sup>۲</sup>، حسن پاسالاری<sup>۳</sup>

- ۱- مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

**زمینه و هدف:** رسوبگذاری و خوردگی باعث کاهش کیفیت آب و آسیب به تجهیزات لوله‌کشی در سیستم‌های تامین آب می‌شوند. در این مطالعه تمایل به خوردگی یا رسوبگذاری منابع آب زیرزمینی شامل چشمه، قنات، چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در مناطق روستایی کاشان طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفت.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۶  
تاریخ ویرایش: ۹۷/۱۲/۲۵  
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۷  
تاریخ انتشار: ۹۸/۰۳/۲۹

**روش بررسی:** بر مبنای پارامترهای pH، دما، کلسیم، کربنات، بی‌کربنات، کل جامدات محلول، مقادیر شاخص‌های پایداری آب شامل لانژلیر (LSI)، رایزنار (RSI)، پوکوریوس (PSI) و همچنین مقدار و روند شاخص کمی پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم (CCPP) به تفکیک منابع آب تعیین و تحلیل شد.

**یافته‌ها:** مقدار متوسط شاخص‌های LSI، RSI و PSI و CCPP به ترتیب برابر با  $0.41 \pm 0.02$ ،  $0.3 \pm 0.03$ ،  $6.99 \pm 0.02$  و  $7.4 \pm 2.44$  mg/L تعیین شد. براساس شاخص CCPP مقدار پتانسیل رسوبگذاری چشمه، قنات، چاه عمیق و نیمه‌عمیق به ترتیب برابر با  $17.23 \pm 3.16$ ،  $41.23 \pm 11.22$ ،  $15.66 \pm 1.38$  و  $23.15 \pm 4.46$  mg/L است. از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ شاخص CCPP افزایش محسوسی داشته به گونه‌ای که به‌طور میانگین  $1/6$  mg/L در سال افزایش یافته است.

**واژگان کلیدی:** شاخص‌های پایداری آب، خوردگی، رسوبگذاری، منابع آب زیرزمینی

**نتیجه‌گیری:** منابع آب منطقه رسوبگذار هستند به نحوی که این تمایل از بیشترین تا کمترین مربوط به چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه‌عمیق، چشمه و قنات است. مقدار تشکیل رسوب به ازای هر متر مکعب آب منطقه در حدود ۲۱ برآورد شد که شاید در افزایش رسوبات در جداره سیستم‌های توزیع آب مشکل ساز باشد. مدیریت برداشت آب در منطقه همراه با کاهش مقدار TDS در منابع آب (شاید از طریق کنترل تخلیه زه‌آب‌های کشاورزی)، در کاهش تمایل آب به رسوبگذاری موثر است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
hadi\_rfm@yahoo.com

## مقدمه

پدیده‌های رسوبگذاری و خوردگی آب از عوامل مهم کاهش عمر مفید تجهیزات انتقال و توزیع آب و کاهش کیفیت آب محسوب می‌شوند. از این رو کنترل این پدیده‌ها می‌تواند تاثیر بسزایی در بهداشت و کیفیت آب و کاهش هزینه‌های نگهداری تاسیسات انتقال و توزیع داشته باشند. خوردگی به مفهوم برهم‌کنش فیزیکوشیمیایی آب با محیط اطراف است که سبب تغییر در خواص آب می‌شود (۱). به بیانی دیگر خوردگی در شبکه توزیع آب یک پدیده الکتروشیمیایی و فیزیکوشیمیایی پیچیده است که ناشی از تاثیر عوامل متعدد شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و یا بیولوژیکی است (۲). همه ساله هزینه قابل توجهی جهت کنترل خوردگی در صنعت آب اختصاص داده می‌شود. مطالعات در کشورهای صنعتی نشان می‌دهد خسارات ناشی از خوردگی حدود ۶ درصد درآمد ناخالص ملی در این کشورها بوده است که سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته و مسائل اقتصادی، اجتماعی، فنی-مهندسی و زیباشناختی را به دنبال دارد (۳). همچنین رسوبگذاری آب می‌تواند باعث مشکلاتی مانند افزایش هزینه‌های پمپاژ ناشی از کاهش سطح مقطع لوله‌ها در اثر رسوب محصولات فرعی واکنش‌ها شود (۴، ۵). رایج‌ترین علائم مشکلات خوردگی در شبکه توزیع آب شکایت مشتریان ناشی از آب قرمز و تغییر رنگ آب است (۶). در خطوط انتقال آب آشامیدنی تمایل آب به خوردگی باعث رها شدن آهن، روی، سرب و مس از سطح داخلی لوله‌های فلزی می‌شود (۷، ۸). براساس مطالعه انجام شده توسط Schock و همکاران (۹) رها شدن آهن در شبکه توزیع می‌تواند تحت تاثیر تغییرات دما، قلیائیت، کلریدها، سولفات و زمان ماند هیدرولیکی آب باشد. در بیشتر تاسیسات تصفیه آب پارامترهای pH، قلیائیت و سختی کلسیمی و TDS برای کنترل خوردگی پایش به منظور جلوگیری از آن در شبکه توزیع آب تعدیل می‌گردند. Loewenthal و همکاران در سال ۲۰۰۴ در کشور آفریقای جنوبی اعلام کردند که خوردگی و رسوبگذاری از مشکلات متداول در خطوط انتقال و توزیع آب‌های زیرزمینی است و مکانیزم اثر و شدت آن به دو عامل یکی کیفیت آب و دیگری

جنس لوله بستگی دارد. صرف نظر از علل این مشکلات، از راه‌حل‌های ممکن (برای کنترل خوردگی یا رسوبگذاری) تنظیم pH، تنظیم غلظت کربنات کلسیم و متعادل‌سازی آب هستند (۱۰، ۱۱). آنالیز حساسیت فاکتورهای دخیل در این دو پدیده نشان می‌دهد که pH و قلیائیت بیشترین تاثیر را بر پتانسیل خوردگی در مقایسه با سایر فاکتورها دارند (۱۲).

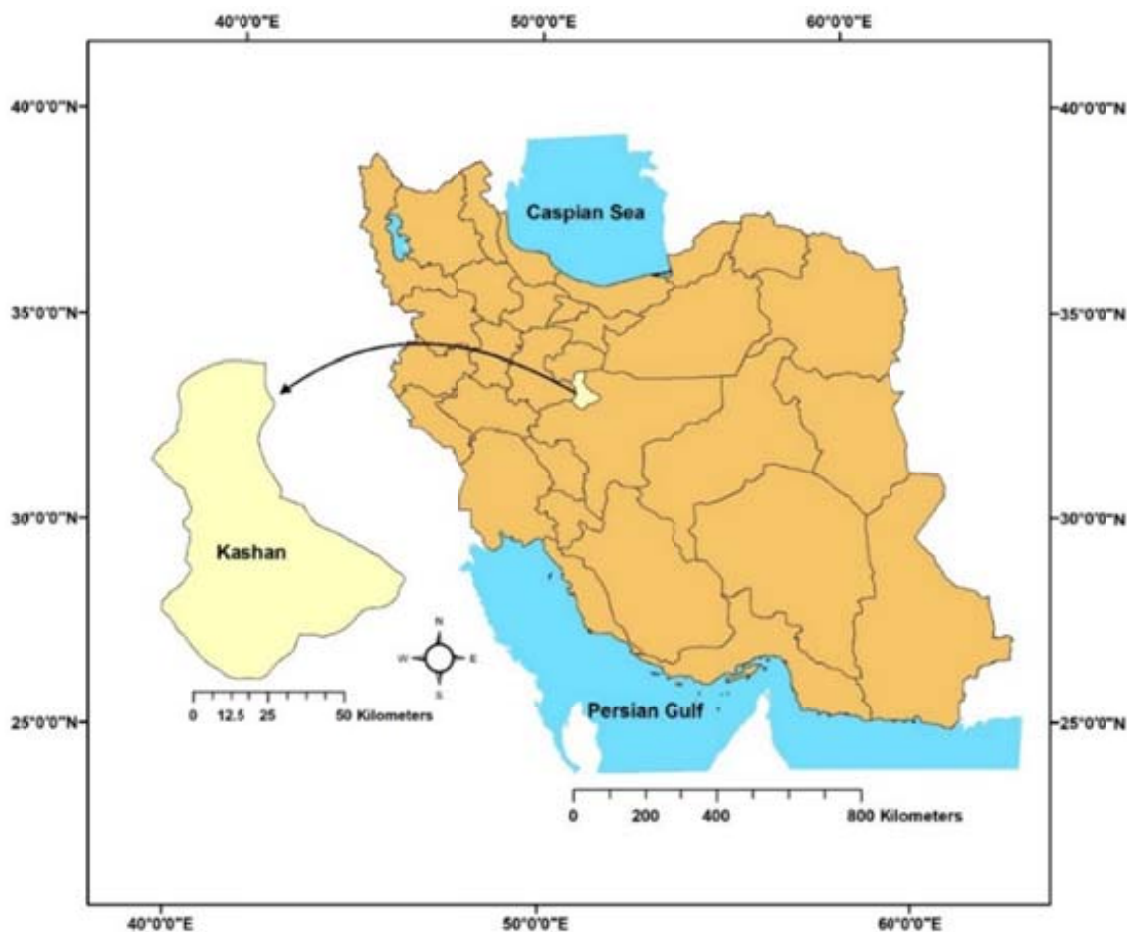
پدیده‌های خوردگی و رسوبگذاری با استفاده از شاخص‌های کیفی خوردگی شامل شاخص اشباع لانژلییر (LSI) (۱۳)، شاخص پایداری رایزنار (RSI) (۱۴)، شاخص رسوبگذاری پوکوریوس (PSI) (۱۵) و همچنین شاخص کمی مهم دیگری با عنوان پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم (CCPP) (۱۶) قابل پیش‌بینی و بررسی هستند. اولین شاخص به منظور بررسی مشخصات خورنده و یا رسوبگذار بودن آب توسط لانژلییر (۱۳) ارائه شد. در شاخص پایداری رایزنار (۱۴) سعی شده است از اطلاعات تجربی نیز به منظور بررسی شدت خوردگی در لوله‌های انتقال آب شهری کمک گرفته شود. در شاخص PSI (۱۵) رابطه بین وضعیت فوق اشباع آب و رسوبگذاری با لحاظ شدن دو پارامتر ظرفیت بافری آب و حداکثر مقدار ته‌نشست ناشی از آب در شرایط تعادل مد نظر قرار گرفته است. شاخص CCPP نیز برخلاف شاخص‌های دیگر یک شاخص کمی و بر حسب میلی گرم کربنات کلسیم بر لیتر است (۱۶). در این مطالعه با استفاده از اطلاعات کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی، چاه‌ها، قنوات و چشمه‌های مناطق روستایی شهرستان کاشان، مقادیر شاخص‌های کیفی خوردگی شامل LSI، RSI، PSI و همچنین شاخص کمی CCPP که بر مبنای روابط تعادلی کربنات کلسیم هستند محاسبه گردید و با استفاده از روش‌های آماری، وضعیت خوردگی یا رسوبگذاری آب در این منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش از اطلاعات اندازه‌گیری کیفی آب‌های زیرزمینی ثبت شده (از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲) توسط شرکت آب و فاضلاب روستایی شهرستان کاشان (شکل ۱) که شامل داده‌های مربوط

است با  $280/8 \pm 2863/4$ ،  $1789/8 \pm 727/7$ ،  $722/8 \pm 60/5$  و  $615/5 \pm 113/2$  روند کاهشی داشته است که این روند کاهشی در مورد پارامتر کلسیم در منابع آبی چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، قنات و چشمه‌ها دیده می‌شود. مقدار پارامتر کلیاتیت نیز برای چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، چشمه و قنات به ترتیب برابر با  $299/9 \pm 45$ ،  $225/7 \pm 21/5$ ،  $235/6 \pm 15/3$  و  $201/4 \pm 6/3$  است. با توجه به اینکه پارامتر دما برای هر منبع در دسترس نبود مقدار متوسطی معادل  $23^{\circ}\text{C}$  به عنوان متوسط دمای آب براساس پیشنهاد شرکت مهندسی آب و فاضلاب شهرستان کاشان منظور شد.

به چشمه‌ها (۸ چشمه)، قنات (۲۸ قنات)، چاه‌های عمیق (۱۲ چاه) و نیمه عمیق (۵ چاه) روستاهای شهرستان کاشان است، استفاده شد. در این مطالعه همچنین روند تغییرات شاخص‌ها از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ بررسی گردید. در جدول ۱ آمار توصیفی مشخصات کیفی آب‌های زیرزمینی، چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، قنات و چشمه‌های آب در روستاهای شهرستان آورده شده است. با بررسی مقدار pH در جدول ۱ مشاهده می‌شود کمترین و بیشترین pH به ترتیب مربوط به چاه‌های عمیق و قنات است. مقدار پارامتر TDS در چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، قنات و چشمه به ترتیب برابر



شکل ۱- موقعیت کاشان در نقشه ایران

جدول ۱- آمار توصیفی پارامترهای کیفی آب به تفکیک منبع

EC μs/cm	HCO <sub>3</sub> mg/L	CO <sub>3</sub> mg/L	TH mg/L	Alk mg/L	TDS mg/L	Cl mg/L	Ca mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	T °C	pH -	آماره	پارامتر شاخص
۲۶۰۰/۶	۲۷۳/۳	۰/۲	۷۶۴	۲۲۵/۷	۱۷۸۹/۸	۷۳۴	۲۱۹/۲	۳۶۲/۲	۲۳	۷/۸	μ	چاه‌های نیمه عمیق
۴۱۷۵/۳	۱۰۵/۸	۱/۱	۱۰۹۳/۵	۸۶/۸	۲۹۳۶/۹	۱۴۸۴/۷	۳۰۰/۷	۴۷۵/۷	۰/۰	۰/۳	SD	
۱۰۳۴/۶	۲۶/۲	۰/۳	۲۷۱/۰	۲۱/۵	۷۲۷/۷	۳۶۷/۹	۷۴/۵	۱۱۷/۹	۰/۰	۰/۱	SE	
۱۳۶۴/۰	۴۹۶/۷	۶/۰	۳۴۵۰/۰	۳۸۷/۱	۹۵۴۸/۰	۴۲۶۰/۰	۱۱۶۰/۰	۲۰۰/۱۶	۲۳/۰	۸/۴	Max	
۴۲۳/۰	۱۱۹/۰	۰/۰	۱۱۲/۵	۹۹/۷	۲۸۶/۰	۱۴/۲	۲۰/۰	۱۰/۱	۲۳/۰	۷/۲	Min	
۳۶۳۵/۲	۲۹۹/۵	۰/۵	۱۰۳۵/۰	۲۴۷/۲	۲۵۱۷/۵	۱۱۰/۱/۹	۲۸۷/۴	۴۴۴/۱	۲۳/۰	۷/۹	UB	
۱۵۶۶/۰	۲۴۷/۱	-۰/۱	۴۹۳/۱	۲۰۴/۲	۱۰۶۲/۰	۳۶۶/۱	۱۳۸/۴	۲۰۸/۳	۲۳/۰	۷/۷	LB	
۴۲۰۴/۴	۳۶۴/۳	۰/۴	۹۶۴/۱	۲۹۹/۹	۲۸۶۳/۴	۸۴۷/۵	۲۵۵/۹	۶۷۹/۵	۲۳/۰	۷/۶	μ	چاه عمیق
۲۴۰۲/۷	۳۲۳/۴	۲/۶	۴۲۳/۶	۲۶۵/۲	۱۶۵۵/۷	۶۸۱/۵	۱۱۱/۳	۵۵۹/۷	۰/۰	۰/۵	SD	
۴۰۷/۵	۵۴/۹	۰/۴	۷۱/۸	۴۵/۰	۲۸۰/۸	۱۱۵/۶	۱۸/۹	۹۴/۹	۰/۰	۰/۱	SE	
۹۷۱۰/۰	۱۵۲۵/۰	۲۸/۸	۲۰۰۰/۰	۱۲۵۱/۵	۶۷۹۷/۰	۳۱۵۹/۵	۰/۵۱۲	۳۱۹۶/۸	۰/۲۳	۸/۴	Max	
۵۷۴/۰	۸۵/۴	۰/۰	۲۴۶/۰	۷۰/۹	۳۴۰/۰	۱۸/۵	۴۲/۰	۲۴/۰	۲۳/۰	۶/۱	Min	
۴۶۱۱/۹	۴۱۹/۱	۰/۹	۱۰۳۶/۰	۳۴۴/۹	۳۱۴۴/۲	۹۶۳/۰	۲۷۴/۸	۷۷۴/۴	۲۳/۰	۷/۷	UB	
۳۷۹۶/۹	۳۰۹/۴	۰/۰	۸۹۲/۳	۲۵۵/۰	۲۵۸۲/۶	۷۳۱/۹	۲۳۷/۰	۵۸۴/۶	۲۳/۰	۷/۵	LB	
۱۰۹۷/۳	۲۴۳/۲	۱/۳	۲۸۰/۳	۲۰/۱/۴	۷۲۲/۸	۱۲۵/۲	۷۵/۹	۱۸۳/۱	۲۳/۰	۷/۹	μ	قنات
۱۰۵۵/۴	۸۰/۴	۴/۸	۱۸۸/۰	۶۵/۸	۶۳۰/۲	۲۸۸/۸	۵۲/۵	۱۶۱/۱	۰/۰	۰/۳	SD	
۱۰۱/۴	۷/۷	۰/۵	۱۸/۰	۶/۳	۶۰/۵	۲۷/۷	۵/۰	۱۵/۵	۰/۰	۰/۰	SE	
۸۵۰۰/۰	۵۱۲/۴	۳۶/۰	۱۵۳۰/۰	۴۲۲/۳	۵۳۳۲/۰	۲۲۵۰/۷	۴۲۴/۰	۱۰۹۶/۸	۲۳/۰	۸/۹	Max	
۲۴۶/۰	۳۶/۶	۰/۰	۲۷/۵	۳۰/۸	۱۷۰/۰	۳/۶	۱۴/۰	۰/۵	۲۳/۰	۷/۱	Min	
۱۱۹۸/۶	۲۵۰/۹	۱/۸	۲۹۸/۳	۲۰۷/۷	۷۸۳/۳	۱۵۲/۹	۸۱/۰	۱۹۸/۶	۲۳/۰	۸/۰	UB	
۹۹۵/۹	۲۳۵/۴	۰/۸	۲۶۲/۲	۱۹۵/۰	۶۶۲/۳	۹۷/۵	۷۰/۹	۱۶۷/۷	۲۳/۰	۷/۹	LB	
۹۰۹/۰	۲۸۵/۵	۰/۵	۲۵۵/۷	۲۳۵/۶	۶۱۵/۵	۷۰/۹	۷۶/۰	۹۸/۲	۲۳/۰	۷/۷	μ	چشمه
۷۸۵/۹	۹۲/۰	۳/۳	۱۱۷/۵	۷۵/۳	۵۵۸/۹	۶۴/۰	۳۴/۹	۱۰۳/۰	۰/۰	۰/۳	SD	
۱۵۹/۲	۱۸/۶	۰/۷	۲۳/۸	۱۵/۳	۱۱۳/۲	۱۳/۰	۷/۱	۲۰/۹	۰/۰	۰/۱	SE	
۷۲۱۶/۰	۵۰۰/۲	۳۰/۰	۵۰۰/۰	۴۱۱/۰	۵۰۵۱/۰	۲۶۹/۸	۱۵۴/۰	۳۴۵/۶	۲۳/۰	۸/۵	Max	
۲۶۲/۰	۱۲۸/۱	۰/۰	۹۰/۰	۱۰۶/۷	۱۷/۰	۱۰/۷	۱۴/۰	۰/۵	۲۳/۰	۷/۱	Min	
۱۰۶۸/۲	۳۰۴/۱	۱/۲	۲۷۹/۵	۲۵۰/۸	۷۲۸/۷	۸۳/۹	۸۳/۱	۱۱۹/۱	۲۳/۰	۷/۸	UB	
۱۳/۵	۷۰/۵	۲/۵	۲۳۱/۸	۲۲۰/۳	۵۰۲/۲	۵۷/۹	۶۸/۹	۷۷/۳۲	۲۳	۷/۶۸	LB	

μ: مقدار میانگین، SD: مقدار انحراف معیار، SE: مقدار خطای استاندارد، UB: حد بالای اطمینان ۹۵ درصد برای میانگین، LB: حد پایین اطمینان ۹۵ درصد برای میانگین

تعیین مقدار شاخص‌ها، مقایسه میانگین مقادیر تعیین شده با مقادیر آستانه با استفاده از آزمون آماری t-test در نرم افزار R انجام شد. حدود اطمینان آماری در انجام تمام آزمون‌های انجام شده ۹۵ درصد منظور شد. مقادیر شاخص‌های کیفی شامل لانژلیر (LSI)، رایزنار (RSI)، پوکوریوس (PSI) و همچنین شاخص کمی پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم (CCPP) به تفکیک منابع آب تعیین و تحلیل شد.

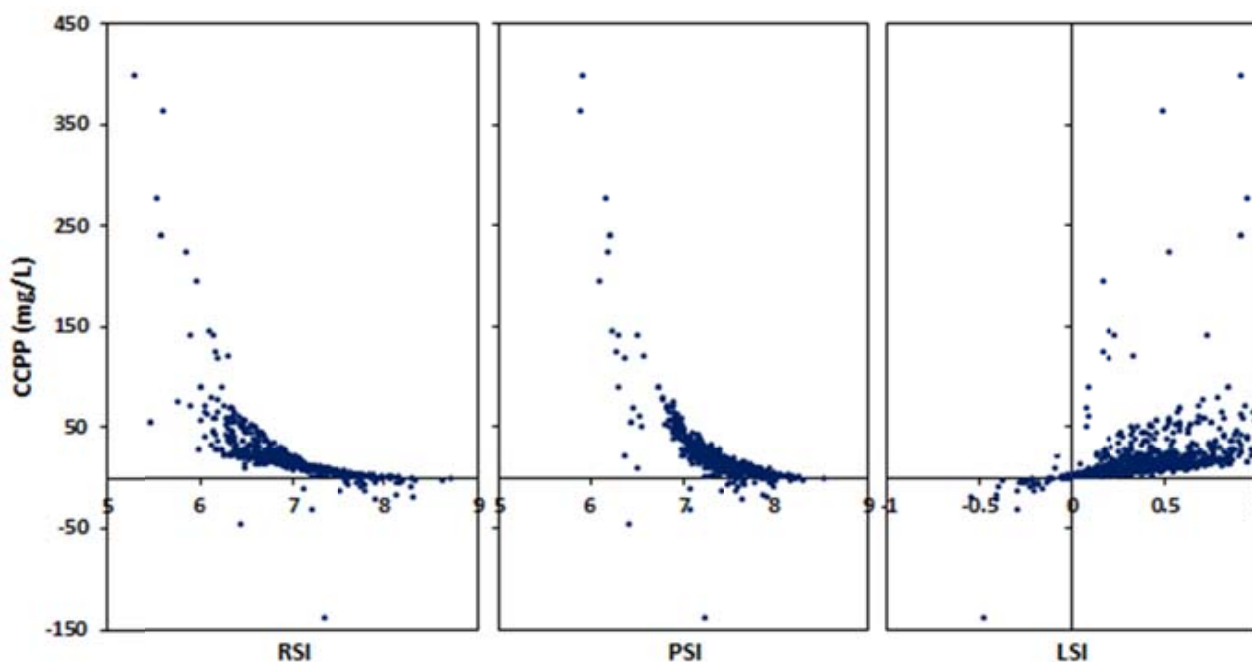
مقدار شاخص‌های خوردگی با استفاده از نرم افزار Water Corrosion Index Calculator محاسبه شد. این نرم افزار قادر است اطلاعات پارامترهای کیفی نمونه‌های آب را از فایل اکسل خوانده و مقدار شاخص‌ها را برای تعداد نامحدودی از نمونه آب طی چند ثانیه محاسبه و مجدد در فایل اکسل وارد نماید. در جدول ۲ روابط مربوط به محاسبه شاخص‌های خوردگی و حدود آستانه شاخص‌ها آورده شده است. بعد از

جدول ۲- نحوه محاسبه شاخص‌های خوردگی و حدود آستانه خوردگی

منبع	روابط محاسباتی	حد آستانه	نوع	فرمول	شاخص
(۱۳)	$pH_s = pK_{a2} + pCa^{2+} - pK_{so} - \log(2[Alk_{initial}]) - \log \gamma_m$	$< 0.1$	کیفی	$LI = pH - pH_s$	LSI
(۱۴)	$Alk_{initial} = 2 \times \left[ [HCO_3^-] + \frac{(2 \times K_{a2} \times [HCO_3^-])}{10^{-pH}} + \frac{K_w}{10^{-pH}} \right]$ $C_T = \frac{[HCO_3^-]([H^+]^2 + K_{a1}[H^+] + K_{a1}K_{a2})}{K_{a1}[H^+]}$	$> 9$	کیفی	$RI = 2pH_s - pH$	RSI
(۱۵)	$pH_{eq} = -\log\{H^+\}$ $\alpha_1 = \frac{K_{a1}\{H^+\}}{\{H^+\}^2 + K_{a1}\{H^+\} + K_{a1}K_{a2}}$ $\alpha_2 = \frac{K_{a1}K_{a2}}{\{H^+\}^2 + K_{a1}\{H^+\} + K_{a1}K_{a2}}$ $C_T(\{H^+\} + 2\alpha_2) + \frac{K_w}{\{H^+\}} - \{H^+\} - Alk_{initial}$	$> 8.5$	کیفی	$PSI = 2pH_s - pH_{eq}$	PSI
(۱۶)	$X \approx \frac{C_T(\{H^+\} + 2\alpha_2) + \frac{K_w}{\{H^+\}} - \{H^+\} - Alk_{initial}}{(\alpha_1 + 2\alpha_2 - 2)}$ $K_{so} = ([Ca^{2+}] - X)(C_T - X)\alpha_2$	$< -5$	کمی	$CPP = X \times 100086.9$	CCPP

مقدار پارامتر X به روش سعی و خطا براساس روش ارائه شده توسط تروسل (۱۷) قابل تعیین است.

$[Alk_{initial}]$ : قلیائیت اولیه (mol/L)،  $Alk_{initial}$ : قلیائیت اولیه (eq/L)،  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$ : فاکتورهای یونیزاسیون کربنات کلسیم،  $\{H^+\}$ : اکتیویته پروتون در نقطه تعادل (mol/L)،  $K_{a1}$ : ثابت تعادل اصلاح شده اسید کربنیک و بی کربنات،  $K_{a2}$ : ثابت تعادل اصلاح شده بی کربنات و کربنات،  $K_w$ : ثابت تعادل اصلاح شده آب،  $K_{so}$ : ثابت حاصلضرب حلالیت کربنات کلسیم، X: مقدار کربنات کلسیم حل شده یا رسوب یافته در نقطه تعادل (mol/L)،  $C_T$ : غلظت کل گونه‌های کربناته (mol/L)، pH: مقدار pH واقعی (اندازه‌گیری شده)،  $pH_s$ : مقدار pH در نقطه اشباع کربنات کلسیم،  $pH_{eq}$ : مقدار pH در نقطه تعادل کربنات کلسیم،  $\gamma_m$ : ضریب اکتیویته یون‌های مونولنت در آب.



نمودار ۱- تعیین آستانه شاخص‌های کیفی لانتزلیر (LSI)، پوکوریوس (PSI) و رایزنار (RSI) براساس شاخص CCPP

عمیق، چاه‌های نیمه‌عمیق، قنات و چشمه‌ها به ترتیب برابر  $41/23 \pm 11/2$ ،  $23/156 \pm 4/46$ ،  $15/66 \pm 1/386$  و  $17/23 \pm 3/16$  mg/L تعیین شد. در نمودار ۲ روند تغییرات مقدار شاخص کمی CCPP به تفکیک منابع آب نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود در تمامی منابع مورد بررسی روند مقدار این شاخص از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ یک روند افزایشی ملایم است. در شکل ۲ نقشه تغییرات مکانی شاخص‌های خوردگی بر مبنای اطلاعات مربوط به حدود آستانه هر شاخص برای منطقه ترسیم شد. همچنین مقایسه مقدار شاخص CCPP با حدود آستانه  $-5$  و  $+5$  mg/L در سطح اطمینان ۹۵ درصد مطابق نمودار ۳ انجام شد.

#### یافته‌ها

براساس آمار توصیفی شاخص‌ها به تفکیک منبع آب در جدول ۳، مقدار متوسط شاخص لانتزلیر برای چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه‌عمیق، قنات و چشمه‌ها به ترتیب برابر با  $0/465 \pm 0/056$ ،  $0/452 \pm 0/066$ ،  $0/422 \pm 0/027$  و  $0/32 \pm 0/049$  است. مقدار متوسط شاخص رایزنار نیز به ترتیب قبل برابر  $41/23 \pm 11/2$ ،  $23/156 \pm 4/46$ ،  $16/66 \pm 1/386$  و  $17/23 \pm 3/15$  تعیین شد. مقدار متوسط شاخص PSI برای چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه‌عمیق، قنات و چشمه‌ها به ترتیب برابر با  $7/113 \pm 0/07$ ،  $7/297 \pm 0/088$ ،  $7/51 \pm 0/028$  و  $7/406 \pm 0/06$  تعیین شد. مقدار متوسط شاخص CCPP که بر خلاف سایر شاخص‌ها یک شاخص کمی و بر حسب mg/L است، برای چاه‌های

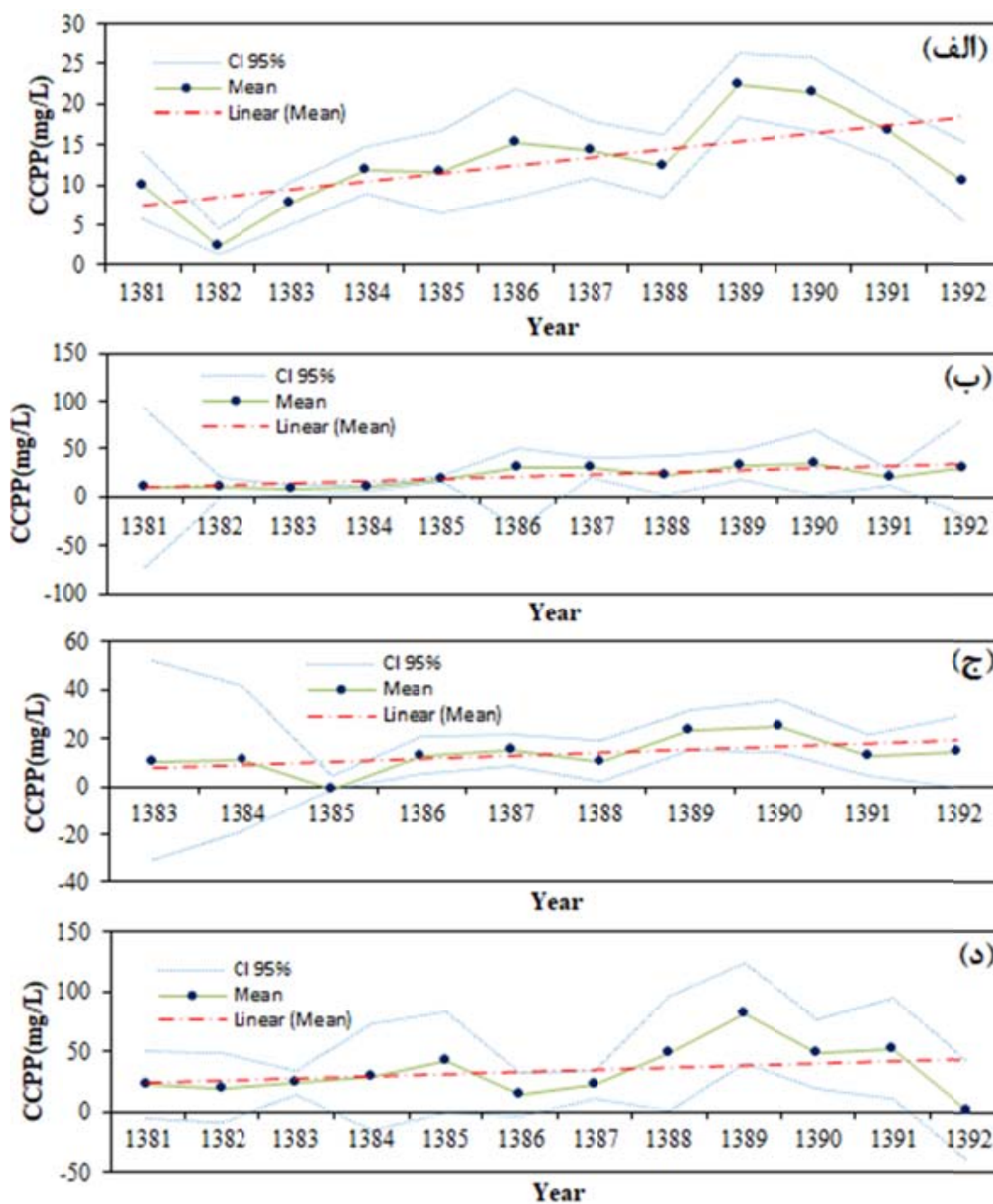
جدول ۳- آمار توصیفی مقدار شاخص‌ها به تفکیک منبع

منبع				آماره	شاخص
چشمه	قنات	چاه عمیق	چاه نیمه عمیق		
۰/۳۲	۰/۴۲۲	۰/۴۶۵	۰/۴۵۲	$\mu$	LSI
۰/۲۴۲	۰/۲۷۹	۰/۳۲۸	۰/۲۶۵	SD	
۰/۰۴۹	۰/۰۲۷	۰/۰۵۶	۰/۰۶۶	SE	
۰/۹۲۸	۱/۲۲۸	۱/۲۱۱	۱/۲۱۷	Max	
-۰/۲۹۱	-۰/۵۴۸	-۰/۴۷۳	-۰/۰۲۳	Min	
۰/۳۶۹	۰/۴۴۹	۰/۵۱۲	۰/۵۱۸	UB	
۰/۲۷۱	۰/۳۹۵	۰/۴	۰/۳۸۶	LB	
۷/۱۰۴	۷/۱۰۴	۶/۶۴۹	۶/۸۶۸	$\mu$	RSI
۰/۴۱۳	۰/۴۵۱	۰/۴۶۴	۰/۵۰۸	SD	
۰/۰۸۴	۰/۰۴۳	۰/۰۷۹	۰/۱۲۶	SE	
۸/۲۹۱	۸/۷۱۵	۷/۷۰۲	۸/۱۴۱	Max	
۶/۰۴۴	۵/۹۰۳	۵/۲۸۷	۵/۴۵۹	Min	
۷/۱۸۸	۷/۱۴۷	۶/۷۲۸	۶/۹۹۴	UB	
۷/۰۲	۷/۰۶۱	۶/۵۷	۶/۷۴۲	LB	
۷/۴۰۶	۷/۵۱	۷/۱۱۳	۷/۲۹۷	$\mu$	PSI
۰/۲۹۴	۰/۲۹	۰/۴۱۲	۰/۳۵۴	SD	
۰/۰۶	۰/۰۲۸	۰/۰۷	۰/۰۸۸	SE	
۸/۲۲۱	۸/۵۴۱	۷/۹۰۶	۸/۲۵۸	Max	
۶/۸۱۸	۶/۷۲۲	۵/۹۰۳	۶/۴۳۸	Min	
۷/۴۶۶	۷/۵۳۸	۷/۱۸۳	۷/۳۵۸	UB	
۷/۳۴۶	۷/۴۸۲	۷/۰۴۳	۷/۲۰۹	LB	
۱۷/۲۳۲	۱۵/۶۶۶	۴۱/۲۳۲	۲۳/۱۵۶	$\mu$	CCPP
۱۵/۵۹۵	۱۴/۴۳۵	۶۶/۱۵۴	۱۸/۰۳۶	SD	
۳/۱۶	۱/۳۸۶	۱۱/۲۱۹	۴/۴۶۹	SE	
۷۱/۳۹	۸۹/۴۸۸	۳۹۹/۷۹۵	۷۵/۷۳	Max	
-۸/۶۰۲	-۲۱/۴۱۳	-۱۳۹/۳۷۲	۱/۲۵۹	Min	
۲۰/۳۹۲	۱۷/۰۵۲	۵۲/۴۵۱	۷/۶۲۵	UB	
۱۴/۰۷	۱۴/۲۸	۳۰/۰۱	۱۸/۶۸	LB	

$\mu$ : مقدار میانگین، SD: مقدار انحراف معیار، SE: مقدار خطای استاندارد، UB: حد بالای اطمینان ۹۵ درصد برای میانگین،

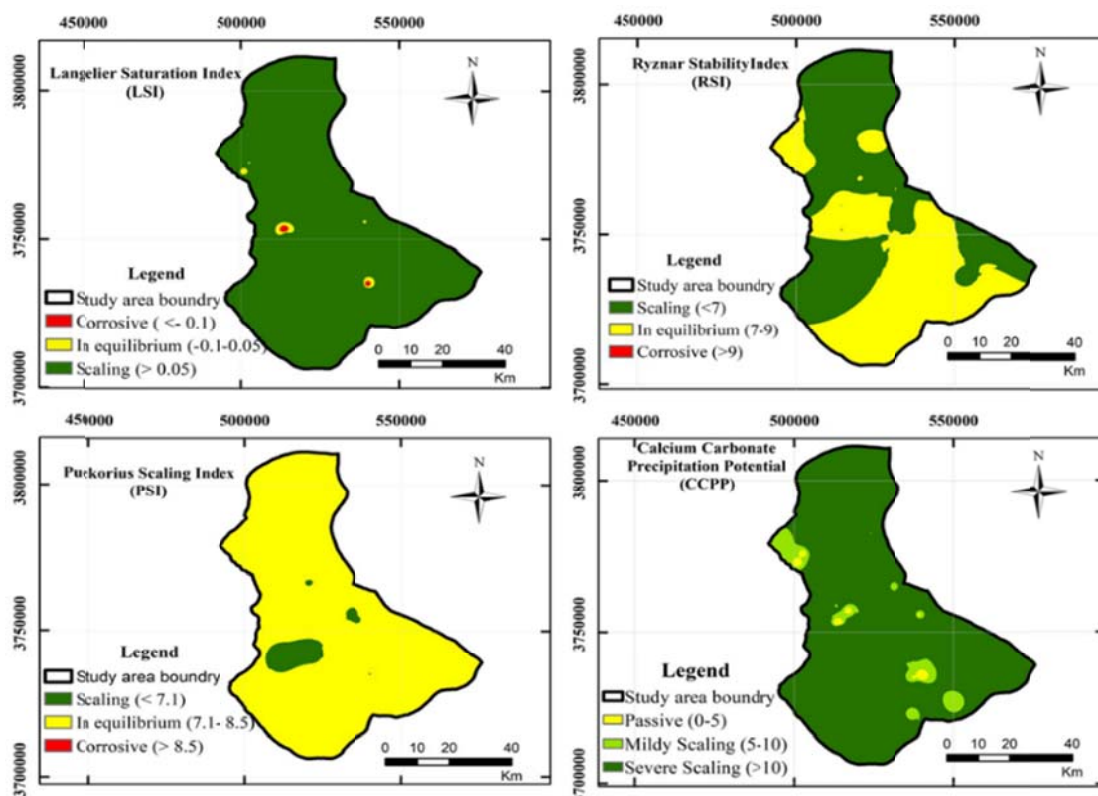
LB: حد پایین اطمینان ۹۵ درصد برای میانگین



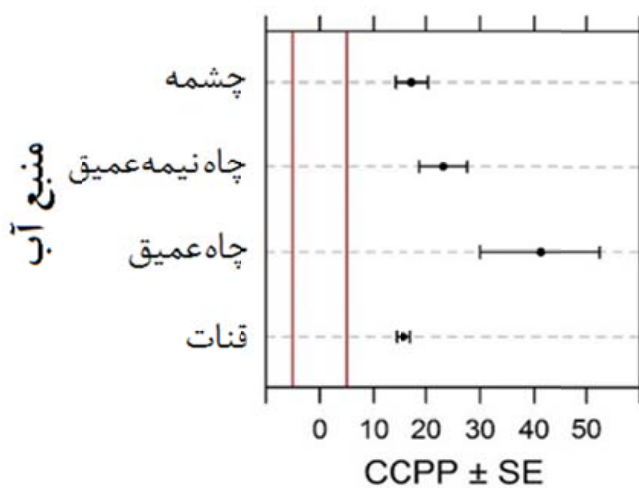


نمودار ۲- روند تغییرات شاخص CCPP برای (الف) قنات، (ب) چاه نیمه عمیق، (ج) چشمه و (د) چاه عمیق





شکل ۲- نقشه تغییرات مکانی شاخص‌های خوردندگی

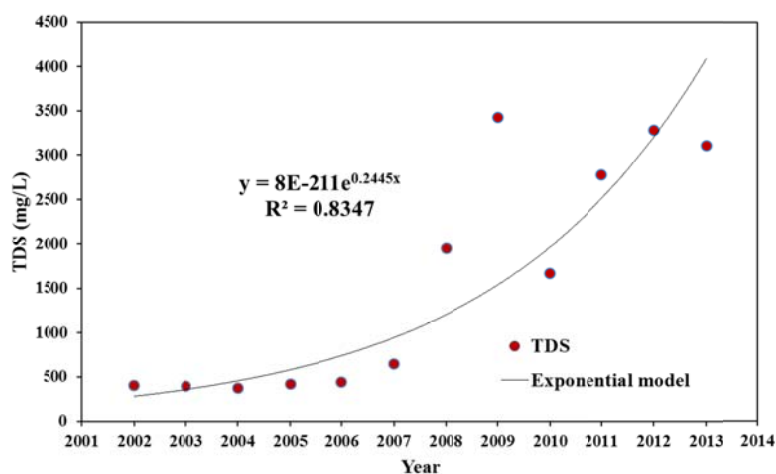


نمودار ۳- آزمون میانگین شاخص CCPP با حدود آستانه ۵- و ۵+ به تفکیک منابع آب

## بحث

کاشان در یک منطقه اقلیمی خشک واقع شده است و زندگی انسان در کاشان به منابع آب زیرزمینی بستگی دارد. قنات یک سیستم قدیمی تامین آب است که عمدتاً متشکل از مجموعه‌ای از شفت‌های عمودی است. قنات هنوز سیستم قابل اعتمادی جهت تامین آب در کاشان محسوب می‌شود. تقریباً نصف آب مورد نیاز برای کشاورزی و سایر مصارف در کاشان توسط بیش از ۵۰۰ قنات فعال تامین می‌شود (۱۸). با این حال، استفاده از منابع آب زیرزمینی به علت برداشت آب از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، موجب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت آب منطقه و افزایش شوری آب شده است (۱۸). مطابق جدول ۱ مقدار متوسط پارامتر کیفی TDS به ترتیب برای چاه‌های نیمه‌عمیق، چاه‌های عمیق، قنات و چشمه‌ها به ترتیب برابر با  $8/280 \pm 4/2863$ ،  $7/727 \pm 8/1789$ ،  $2/113 \pm 5/615$  و  $5/60 \pm 8/722$  می‌باشد. آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده مقادیر بالاتر از  $500 \text{ mg/L}$  برای TDS در آب شرب را توأم با اثرات نامطلوب زیبایی شناختی برای مصرف کننده می‌داند (۱۹). مقدار این پارامتر به ترتیب قبل  $57/3$ ،  $72/5$ ،  $45/1$  و  $23/1$  برابر بیشتر از مقدار حداکثر استاندارد توصیه شده برای شرب است. همان‌طور که دیده می‌شود مقدار TDS در چاه‌های عمیق بیشتر از چاه‌های نیمه عمیق است. در مطالعه Kang و همکاران (۲۰)، بررسی ارتباط

شوری و TDS با عمق آب زیرزمینی نشان داد که با افزایش عمق مقدار TDS افزایش می‌یابد. در نمودار ۴ روند افزایش TDS با گذشت زمان در مجموعه داده‌های چاه‌های نیمه عمیق برای منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. مطابق شکل در فاصله سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ مقدار TDS سالیانه در حدود  $2000 \text{ mg/L}$  افزایش یافته است که این مسئله می‌تواند با الگوی برداشت آب از این منابع در ارتباط باشد. Hansen و همکاران (۲۱) افزایش مقدار TDS در منابع آب زیرزمینی را با فعالیت‌های کشاورزی مرتبط دانسته‌اند. آنها معتقدند افزایش مقدار سولفات و بی‌کربنات در اثر فعالیت‌های کشاورزی و ورود این ترکیبات به منابع آب زیرزمینی می‌تواند منجر به افزایش مقدار TDS آب شود. مقدار ضریب تعیین همبستگی بین TDS و پارامترهای سولفات و بی‌کربنات برای چاه‌های نیمه عمیق به ترتیب برابر با  $82/0$  و  $41/0$  تعیین شد که نشان‌دهنده سهم قابل توجه سولفات و بی‌کربنات در افزایش پارامتر TDS است. در واقع برداشت منابع آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و استفاده از آن و سپس برگشت زه‌آب‌های کشاورزی که حاوی ترکیبات چون سولفات (ناشی از کودهای سولفاته) و بی‌کربنات (ناشی از انحلال زه‌آب‌های غنی از دی‌اکسیدکربن در فصول رشد گیاهان) هستند در طول زمان منجر به بالا رفتن محتوای TDS در چاه‌های نیمه عمیق منطقه شده است.



نمودار ۴- روند افزایش نمایی مقدار TDS در چاه‌های نیمه عمیق کاشان از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳

جهت محاسبه شاخص CCPP ارائه کردند. در جدول ۱ نحوه محاسبه این شاخص و مقدار آستانه بروز خوردگی بر مبنای آن آورده شده است. مطابق نمودار ۲ میانگین شاخص CCPP به صورت معنی‌داری با گذشت زمان افزایش یافته است به نحوی که مقدار این شاخص با گذشت هر سال به اندازه ۱، ۳/۲، ۲/۱ و ۸/۱ mg/L به ترتیب برای قنات، چاه‌های نیمه عمیق، چشمه‌ها و چاه‌های عمیق افزایش یافته است. همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین مقدار این افزایش مربوط به چاه‌های نیمه‌عمیق است که مقدار TDS در آنها مطابق نمودار ۴ روند افزایشی‌نمایی با گذشت زمان دارد. در صورتی که افزایش TDS بتواند با برداشت آب در ارتباط باشد می‌توان افزایش تمایل به رسوبگذاری را نیز با برداشت بی‌رویه آب هم‌راستا دانست. البته در این مطالعه به دلیل عدم وجود اطلاعات میزان برداشت آب، ارتباط برداشت آب با میزان TDS بررسی نشد. در شکل ۲ نقشه تغییرات مکانی شاخص‌های رایزنار، لانژلیر، CCPP و پوکوریوس نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود براساس همه شاخص‌های بررسی شده، وضعیت آب منطقه بر مبنای میانگین شاخص‌ها رسوبگذار بوده و حتی براساس شاخص CCPP در غالب مناطق تمایل به رسوبگذاری شدید وجود دارد.

در نمودار ۳، آزمون فرض مقایسه مقدار میانگین شاخص CCPP با حدود آستانه ۵- و ۵+ به تفکیک منبع آب انجام شد. در این شکل، از طریق محاسبه مقدار خطای استاندارد (SE) برای شاخص، حدود اطمینان ۹۵ درصد میانگین برآورد و به کمک خطوط مشکی در اطراف میانگین نشان داده شد. با توجه به اینکه محدوده حدود اطمینان ۹۵ درصد شاخص CCPP برای منابع آب از مقدار آستانه ۵+ بزرگتر است، در سطح خطای ۵ درصد میانگین این شاخص برای تمامی منابع از ۵ mg/L+ بیشتر و از این‌رو تمایل آب به رسوبگذاری برای تمامی منابع قابل تایید است.

حدود آستانه شاخص‌های کیفی بسته به مشخصات کیفی آب متفاوت خواهد بود و در مطالعات مختلف حدود آستانه این شاخص‌ها بر مبنای بررسی ارتباط آنها با شاخص کمی CCPP

افزایش مقدار TDS آب علاوه بر کاهش کیفیت آب جهت مصارف مختلف، می‌تواند تمایل آب به ایجاد رسوبات در سیستم‌های انتقال و توزیع آب را افزایش دهد (۲۲) که این مسئله از حیث کاهش قطر موثر لوله‌ها و افزایش مصرف انرژی جهت پمپاژ آب در سیستم‌های انتقال آب و همچنین کاهش ضریب انتقال حرارت در صورت استفاده از آب برای مصارف صنعتی حائز اهمیت است. استفاده از شاخص‌های خوردگی یا رسوبگذاری برای بهتر نشان دادن تمایل آب به انحلال یا رسوب کربنات کلسیم می‌تواند وضعیت کیفی آب منطقه مورد مطالعه را بهتر مشخص نماید (۲۳).

در این مطالعه سه شاخص کیفی لانژلیر، رایزنار و پوکوریوس و یک شاخص کمی با عنوان پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم جهت بررسی تمایل آب به پدیده‌های رسوبگذاری و خوردگی استفاده شدند. به‌طور کلی هر چهار شاخص مورد بررسی بر مبنای رفتار انحلالی کربنات کلسیم در محیط آبی هستند. کربنات کلسیم یکی از عمده‌ترین مواد معدنی موجود در آب است که به عنوان مهم‌ترین عنصر مسئول تشکیل رسوبات شناخته می‌شود (۲۴). مقادیر منفی و مثبت برای شاخص لانژلیر به ترتیب نشان دهنده تمایل آب به پدیده‌های خوردگی و رسوبگذاری است. محدوده نزدیک به صفر برای این شاخص بیانگر وضعیت تعادل آب است. شاخص رایزنار (۱۴) نوع اصلاح شده شاخص لانژلیر است و با افزایش تمایل آب به خوردگی مقدار این شاخص نیز افزایش می‌یابد. دیگر شاخص مورد بررسی شاخص پوکوریوس (PSI) (۱۵) است تفسیری مشابه به شاخص رایزنار دارد و متاثر از ظرفیت بافری آب بوده و مطابق جدول ۱ در محاسبه این شاخص از pH تعادل به جای pH واقعی آب استفاده می‌شود (۲۵، ۲۶). در بین ۴ شاخص مورد استفاده در این مطالعه، محاسبه شاخص CCPP نیازمند استفاده از روش‌های حل عددی کامپیوتری بوده و به روش دستی قابل محاسبه نیست. این مسئله باعث شده است تا در اغلب مطالعات انجام شده در زمینه پایش خوردگی آب از این شاخص استفاده نشود و یا به‌ندرت مورد استفاده قرار گیرد. Rossum و همکاران (۱۶) در سال ۱۹۸۳ الگوریتمی را

تعیین می‌شود (۲۳). براساس نتایج این مطالعه چنانچه مقدار شاخص لانژلیبر بین ۰/۱- تا ۰/۰۵ باشد، آب در وضعیت تعادل قرار دارد. مقدار متوسط شاخص لانژلیبر برای چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، قنوات و چشمه‌ها به ترتیب برابر با  $0/056 \pm 0/046$ ،  $0/066 \pm 0/045$ ،  $0/027 \pm 0/022$  و  $0/049 \pm 0/032$  تعیین گردید. همانطور که دیده می‌شود مقدار متوسط این شاخص برای تمامی منابع مورد بررسی بزرگتر از ۰/۰۵ است که تایید کننده تمایل آب به رسوبگذار بودن آب است (۱۳).

مقدار متوسط شاخص رایزنار برای چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، قنوات و چشمه به ترتیب برابر با  $0/079 \pm 0/049$ ،  $0/043 \pm 0/011$  و  $0/084 \pm 0/017$  تعیین گردید. براساس شاخص رایزنار و حدود آستانه تعیین شده برای این شاخص، چنانچه مقدار این شاخص بزرگتر از ۹ باشد، آب در وضعیت خورنده خواهد بود. براساس جدول ۱ مقادیر مشاهداتی این شاخص با اطمینان ۹۵ درصد در تمامی منابع آب کوچکتر از ۹ است که نشان دهنده تمایل آب به وضعیت رسوبگذار است. شاخص دیگری که در این مطالعه بررسی شد شاخص اشباع PSI است که وضعیت فوق اشباع آب و رسوبگذاری را با لحاظ کردن دو پارامتر اضافی یعنی ظرفیت بافری آب و حداکثر مقدار ته‌نشست ناشی از آب، در شرایط تعادل نشان می‌دهد. در این شاخص به جای استفاده از مقدار pH اندازه‌گیری شده، از pH تعادل ( $pH_{eq}$ ) که نشان‌دهنده اکتیویته تعادلی یون هیدروژن است استفاده می‌شود. در جدول ۲ به نحوه محاسبه pH تعادل و محاسبه شاخص اشاره شد. این شاخص یک شاخص تجربی بوده و مقادیر آن تقریباً مشابه شاخص رایزنار تفسیر می‌شوند. مقدار متوسط شاخص پوکوریوس برای چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، قنوات و چشمه‌ها برابر است با  $0/07 \pm 0/013$ ،  $0/088 \pm 0/029$ ،  $0/028 \pm 0/051$  و  $0/06 \pm 0/046$  تعیین گردید. مطابق نمودار ۱ مقادیر بالاتر از ۸/۵ برای این شاخص می‌تواند نشانه تمایل آب به خوردگی و مقادیر کمتر از مقدار تقریبی ۷/۱ نشانه تمایل آب به رسوبگذاری باشد. قرار گرفتن مقدار شاخص پوکوریوس بین مقادیر مذکور نشان‌دهنده

وضعیت تعادل آب است. با مشاهده شکل ۲ مشخص است که شاخص پوکوریوس نیز مانند شاخص رایزنار نتایج نسبتاً مشابهی را ایجاد کرده است و وضعیت تعادل و رسوبگذاری را غالب می‌داند.

در بین شاخص‌های استفاده شده در این مطالعه، به دلیل اینکه شاخص CCPP مقدار کربنات کلسیم حل شده یا رسوب یافته را به صورت کمی و بر مبنای روابط شیمیایی کربنات کلسیم برآورد می‌کند در مقایسه با سه شاخص کیفی لانژلیبر، رایزنار و پوکوریوس قابل اعتمادتر بوده و از این رو شاخص دقیق‌تری برای تعیین وضعیت خوردگی یا رسوبگذاری آب و برآورد میزان نسبتاً واقعی رسوب  $CaCO_3$  است (۲۳، ۲۷، ۲۸). با این حال تاکنون به دلیل پیچیده بودن محاسبه، از این شاخص کمتر استفاده شده و در ایران نیز در مطالعاتی که با هدف بررسی وضعیت خوردگی آب انجام شده‌اند از این شاخص به‌ندرت استفاده شده است. مطابق شکل ۲ مقایسه نتایج حاصل از تفسیر شاخص‌ها نشان می‌دهد که شاخص لانژلیبر قرابت تفسیری نزدیکتری به شاخص CCPP دارد و تمایل آب به رسوبگذار بودن را رفتار غالب برای تمامی منابع آب در منطقه می‌داند. از این رو به نظر می‌رسد در صورت عدم فراهم بودن امکان جهت محاسبه شاخص CCPP در برنامه‌های پایش کیفی آب در این منطقه، استفاده از شاخص لانژلیبر بتواند نتایج تقریباً مشابهی را فراهم کرده و لذا استفاده از آن به عنوان دومین شاخص قابل اعتماد بعد از CCPP توصیه می‌شود. شاخص لانژلیبر به دلیل سادگی محاسبه تاکنون کاربرد گسترده‌ای در پایش وضعیت خوردگی آب در مطالعات متعدد (۱۱، ۱۶، ۲۹، ۳۰) داشته و دارد.

با توجه به روند افزایشی تمایل آب منطقه و از جمله چاه‌های نیمه عمیق و عمیق که نرخ افزایش سالانه شاخص CCPP در این منابع بیشتر از قنوات و چشمه‌ها است انجام اقداماتی به منظور کاهش این نرخ و همچنین کاهش اثرات افزایش تمایل به رسوبگذاری در مصارف مربوط به آب بایستی مدنظر قرار گیرد. در این خصوص در اولین اقدام کاهش میزان برداشت آب از منابع زیرزمینی از طریق مدیریت صحیح مصرف آب می‌تواند

بی‌رویه از منابع آب و کاهش منابع آب در منطقه باشد. ورود یون‌هایی چون سولفات و بی‌کربنات به منابع آب زیرزمینی ضمن استفاده از کود در فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌تواند در افزایش مقدار TDS آب نقش داشته باشد. برگشت زه‌آب‌های کشاورزی به منابع آب شاید در بالا رفتن محتوای TDS آب و به مراتب افزایش تمایل به رسوبگذاری موثر باشد. از این‌رو در منطقه مورد مطالعه علاوه بر کنترل برداشت آب از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، مدیریت صحیح مصرف کودهای شیمیایی در کشاورزی و همچنین کنترل تخلیه زه‌آب‌های کشاورزی به منابع آب در جهت کاهش TDS آب ضرورت دارد.

#### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

موثر باشد. کاهش برداشت آب و کاهش تخصیص آن برای مصارف کشاورزی باعث کاهش تخلیه زه‌آب‌های کشاورزی به منابع آب و به مراتب کاهش نرخ افزایش TDS آب خواهد شد. کاهش TDS آب می‌تواند تمایل آب به رسوبگذاری را کاهش داده و وضعیت آب را به شرایط تعادل نزدیک کند.

#### نتیجه‌گیری

براساس نتایج مطالعه، تمامی منابع آب منطقه تمایل قابل توجهی به رسوبگذاری دارند به نحوی که این تمایل از بیشترین تا کمترین مربوط به چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، چشمه و قنوات است. مقدار وزن رسوب به ازای هر متر مکعب آب در منطقه در حدود ۲۱ g برآورد می‌شود. این پتانسیل رسوبگذاری قابل توجه بوده و می‌تواند در افزایش رسوبات در جداره سیستم‌های توزیع آب مشکل‌ساز باشد. روند محسوسی از افزایش تمایل به رسوبگذاری آب براساس شاخص خوردگی CCPP دیده می‌شود که می‌تواند حاکی از تاثیر توأم برداشت

#### References

1. Nabizadeh Nodehi R, Mesdaghinia A, Nasserli S, Hadi M, Soleimani H, Bahmani P. Analysis of water corrosion tendency in water supply system using qualitative indices and calcium carbonate precipitation potential index. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017;9(4):457-70 (in Persian).
2. Poorzamani H, Ghazaie M, Samani A. Survey the quality of drinking water source in Esfahan osh-torejan industrial park based on corrosion properties. Eighth National Conference on Environmental Health; 2005; Tehran University of Medical Sciences, Tehran (in Persian).
3. Hosseinian S, The quality of corrosion and scalling determination methods. First National Congress on Corrosion; 1988; Tehran (in Persian).
4. Choi Y-S, Shim J-J, Kim J-G. Effects of Cr, Cu, Ni and Ca on the corrosion behavior of low carbon steel in synthetic tap water. *Journal of Alloys and Compounds*. 2005;391(1):162-69.
5. Dietrich A, Glindemann D, Pizarro F, Gidi V, Olivares M, Araya M, et al. Health and aesthetic impacts of copper corrosion on drinking water. *Water Science and Technology*. 2004;49(2):55-62.
6. Mullen ED, Ritter JA. Monitoring and controlling corrosion by potable water. *Journal-American Water Works Association*. 1980;72(5):286-91.
7. Vreeburg IJ, Boxall J. Discolouration in potable water distribution systems: A review. *Water Research*. 2007;41(3):519-29.
8. Millette JR, Hammonds AF, Pansing MF, Hansen EC, Clark PJ. Aggressive water: Assessing the extent of the problem. *Journal- American Water Works As-*

- sociation. 1980;72(5):262-66.
9. Schock MR, Schock SC. Effect of container type on pH and alkalinity stability. *Water Research*. 1982;16(10):1455-64.
  10. Loewenthal R, Morrison I, Wentzel M. Control of corrosion and aggression in drinking water systems. *Water Science and Technology*. 2004;49(2):9-18.
  11. Al-Rawajfeh AE, Al-Shamaileh EM. Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan. *Desalination*. 2007;206(1-3):322-32.
  12. Maeng M, Hyun I, Choi S, Dockko S. Effects of rainfall characteristics on corrosion indices in Korean river basins. *Desalination and Water Treatment*. 2015;54(4-5):1233-41.
  13. Langelier WF. The analytical control of anti-corrosion water treatment. *Journal- American Water Works Association*. 1936;28(10):1500-21.
  14. Ryznar JW. A new index for determining amount of calcium scale formed by a water. *Journal- American Water Works Association*. 1944;36:472-83.
  15. Puckorius P, Brooke J. A new practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling tower systems. *Corrosion*. 1991;47(4):280-84.
  16. Rossum JR, Merrill DT. An evaluation of the calcium carbonate saturation indexes. *Journal- American Water Works Association*. 1983;75(2):95-100.
  17. Trussell RR. Spreadsheet water conditioning. *Journal- American Water Works Association*. 1998;90(6):70-81.
  18. Jomehpour M. Qanat irrigation systems as important and ingenious agricultural heritage: case study of the qanats of Kashan, Iran. *International Journal of Environmental Studies*. 2009;66(3):297-315 (in Persian).
  19. USEPA. National Secondary Drinking Water Regulations. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1979.
  20. Kang M, Jackson RB. Salinity of deep groundwater in California: Water quantity, quality, and protection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2016;113(28):7768-73.
  21. Hansen JA, Jurgens BC, Fram MS. Quantifying anthropogenic contributions to century-scale groundwater salinity changes, San Joaquin Valley, California, USA. *Science of the Total Environment*. 2018;642:125-36.
  22. Fawell J, Lund U, Mintz B. Total dissolved solids in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization; 2003.
  23. Mesdaghinia A, Nabizadeh Nodehi R, Nasserli S, Imran SA, Samadi MT, Hadi M. Potential for iron release in drinking water distribution system: a case study of Hamedan city, Iran. *Desalination and Water Treatment*. 2016;57(31):14461-72.
  24. Antony A, Low JH, Gray S, Childress AE, Le-Clech P, Leslie G. Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: a review. *Journal of Membrane Science*. 2011;383(1):1-16.
  25. Davil MF, Mahvi AH, Norouzi M, Mazloomi S, Amarluie A, Tardast A, et al. Survey of corrosion and scaling potential produced water from Ilam water treatment plant. *World Applied Sciences Journal*. 2009;7(11):11-24.
  26. Taghipour H, Shakerkhatibi M, Pourakbar M, Belvasi M. Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, Northwestern Iran. *Health Promotion Perspectives*. 2012;2(1):103-11.
  27. Gebbie P. Water stability: What does it mean and how do you measure it. *Proceedings of the 63th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference*; 2000; Warrnambool.
  28. Rossum JR, Merrill DT. An Evaluation of the Calcium Carbonate Saturation Indexes. *Journal - American Water Works Association*. 1983;75(2):95-103.
  29. Atasoy AD, Yesilnacar MI. Effect of high sulfate concentration on the corrosivity: a case study from groundwater in Harran Plain, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010;166(1-4):595-607.
  30. Güler C, Thyne GD, McCray JE, Turner KA.



Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal. 2002;10(4):455-74.





Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Corrosion or scaling tendency and trend for water resources in rural areas of Kashan

M Hadi<sup>1,\*</sup>, Z Aboosaedi<sup>2</sup>, H Pasalari<sup>3</sup>

1- Center for Water Quality Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 5 February 2019

**Revised:** 16 March 2019

**Accepted:** 18 March 2019

**Published:** 19 June 2019

**Keywords:** Water stability indices, Corrosion, Scaling, Groundwater resources

**\*Corresponding Author:**

[hadi\\_rfm@yahoo.com](mailto:hadi_rfm@yahoo.com)

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Scaling and corrosion both are destructive to materials (usually metals) in water supply systems. A dataset (from 2002 to 2013) of groundwater resources (including springs, qanats, deep wells and semi-deep wells) were examined for water tendency to corrosion or scaling in rural regions of Kashan, a city in Isfahan, central Iran.

**Materials and Methods:** Water quality parameters including pH, temperature, Ca (mg/L),  $\text{CO}_3^{2-}$  (mg/L),  $\text{HCO}_3^-$  (mg/L) and TDS (mg/L) were used to estimate water stability indices. Value of qualitative indices including Langelier (LSI), Ryznar (RSI), Puckorius (PSI) and trend of Calcium Carbonate Precipitation Potential (CCPP) as a quantitative index were calculated and analyzed for all water resources.

**Results:** Mean of LSI, RSI and PSI for all water resources were estimated to be  $0.41 \pm 0.02$ ,  $6.39 \pm 0.03$ , and  $7.40 \pm 0.02$ , respectively. The CCPP value found to be  $17.23 \pm 3.16$ ,  $15.66 \pm 1.38$ ,  $41.23 \pm 11.22$ , and  $23.15 \pm 4.46$  mg/L for springs, qanats, deep wells and semi-deep wells, respectively. The CCPP index was significantly increased from 2002 to 2013, with an average of 1.6 units per year.

**Conclusion:** A significant scaling tendency was observed. This tendency in decreasing order was observed in deep wells, semi-deep wells, springs and qanats. The estimated  $\text{CaCO}_3$  scale weight per cubic meter of water was 21 g on average, which may be problematic for water distribution systems. Water withdrawal management and reduction in TDS of water resources, perhaps through decrease in agricultural drainage, can be effective to reduce the scaling tendency.