



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

مقاله پژوهشی



بررسی علل تشکیل رسوب در خطوط توزیع آب استان سمنان و راهکارهای جلوگیری از تشکیل آن

مهسا جهانگیری راد^{۱*}، محمد رفیعی^۲

- ۱- مرکز تحقیقات پالایش آب، دانشگاه آزاد اسلامی، علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: خوردگی و رسوبگذاری از جمله شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفی آب است. تحقیق حاضر با هدف بررسی علت رسوبگذاری در شبکه توزیع آب شهر سمنان صورت گرفت.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

روش بررسی: بدین منظور از ۵ نقطه (۳ نقطه مخازن ذخیره و ۲ نقطه شبکه توزیع) در دو نوبت نمونه برداشت گردید و جهت آنالیزهای فیزیکی-شیمیایی مورد آنالیز قرار گرفت. غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های رایج توسط دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) تعیین گردید. رسوب تشکیل شده در شبکه توزیع آب نیز جهت مطالعه ساختار و عناصر اصلی تشکیل دهنده آن توسط دستگاه طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) و طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) مورد بررسی قرار گرفت. از شاخص‌های پایداری نظیر لائزلیه، ریزناز و پتانسیل رسوب کربنات کلسیم جهت بررسی وضعیت خوردگی و رسوبگذاری آب استفاده گردید.

واژگان کلیدی: کربنات کلسیم، سیلیس، رسوبگذاری، سختی گیری، شاخص‌های پایداری آب

یافته‌ها: با توجه به نتایج به‌دست آمده کیفیت اکثر نمونه‌های برداشت شده از لحاظ فیزیکی-شیمیایی در محدوده مجاز استاندارد ۱۰۵۳ ایران قرار دارد. نتایج همچنان نشان می‌دهد آب منطقه سختی بالایی دارد. غلظت منیزیم و سولفات نیز در یکی از مخازن بیش از حد مجاز بوده است. نتایج همچنین ساختار اصلی رسوب را کربنات کلسیم (کلسیت) و اکسید سیلیس نشان داد. براساس شاخص لائزلیه وضعیت آب رسوبگذار نشان داده شده است؛ همچنین به دلیل بالا بودن میزان سختی در آب و رسوب تشکیل یافته در شبکه توزیع نتایج به‌دست آمده از شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم، آب را به شدت فوق اشباع از لحاظ کربنات کلسیم نشان می‌دهد. آنالیز تعادل آنیونی و کاتیونی آب نشان دهنده حضور سختی موقت به‌صورت بی کربنات کلسیم و منیزیم و در مقادیر کمتر سولفات و کلراید منیزیم به‌صورت سختی دائم است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست، به دلیل سختی کربناته بالا در آب و حضور سیلیس و کلسیت در رسوب جهت جلوگیری از تشکیل رسوب استفاده از فرایند سختی گیری با آهک در pH حدود ۱۰ جهت حذف همزمان کلسیت و سیلیس محلول و کلوییدی توصیه می‌گردد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
m.jahangiri@iautmu.ac.ir

Please cite this article as: Jahangiri-rad M, Rafiee M. Factors affecting scale formation in water distribution networks of Semnan city and preventive measures. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(3):499-516.

مقدمه

رسوب در سیستم‌های آبرسانی عمدتاً مربوط به سختی کربناته و یا سختی موقت آب از جنس کربنات‌های کلسیم و منیزیم است. آب‌های دارای بی کربنات‌های کلسیم و منیزیم هنگامی که در معرض افزایش دما، تغییرات فشار و هوادهی قرار می‌گیرند، بخشی و یا تمام دی اکسید کربن تعادلی خود را از دست می‌دهند و به صورت کربنات نامحلول، روی جدار داخلی لوله‌ها و اتصالات آنها رسوب می‌کنند. به عبارت دیگر حلالیت آنها در آب به درجه حرارت، فشار محیط، pH و غلظت بستگی دارد و با وجود دی اکسید کربن این حلالیت افزایش یافته و باعث انحلال املاحی مانند نمک‌های کلسیم و منیزیم می‌شود، همچنین حضور مواد آلی مانند اسیدهای آلی هم می‌توانند حلالیت آب را افزایش دهند (۱). تغییرات ناگهانی عوامل مذکور باعث کاهش حلالیت مواد محلول در آب شده و در نتیجه ته نشینی و رسوب حاصل می‌شود. رایج‌ترین منبع کلسیم محلول در آب، انحلال ساختارهای زمین شناسی حاوی کلسیم توسط آب‌های طبیعی است. کربنات کلسیم به طور گسترده‌ای به شکل سنگ آهک و دولومیت (کربنات منیزیم-کلسیم) در طبیعت وجود دارد. بسیاری از ویژگی‌های عظیم زمین شناسی منشا سنگ‌های آهکی دارند (۲). ارتباط بین رسوب کربنات کلسیم در آب‌های صنعتی و ویژگی‌های توپوگرافی منطقه توسط تعدادی از محققان نیز توصیف شده است (۳). به طور کلی هر گونه رسوب کربنات کلسیم می‌تواند توسط آب مجدد حل شود. در این ارتباط گاز دی اکسید کربن در چرخه کربنات کلسیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آب در تماس با هوا به آسانی گاز CO_2 را جذب خواهد کرد که در شرایط مناسب به یک اسید کربنیک ضعیف تبدیل می‌شود. این اسید ضعیف می‌تواند به آسانی مواد معدنی مانند کربنات کلسیم را حل کند تا بی کربنات کلسیم محلول را تشکیل دهد (۴).

این واکنش سبب می‌گردد تا کربنات کلسیم مجدد حل شود، جا به جا گردد و در شرایطی خاص، در مقطعی دوباره به عنوان کربنات کلسیم رسوب نماید. اگرچه آب می‌تواند CO_2 را از تماس با هوا جذب کند، اما تصور می‌شود که بخش عمده CO_2 در آب از تماس آب با مواد تجزیه شده در خاک ایجاد گردد.

رسوب کربنات کلسیم می‌تواند مجدد به آسانی حل گردد و تحت شرایط مختلفی مجدد رسوب نماید. به طور کلی، هر شرایطی که حلالیت بی کربنات کلسیم را تغییر دهد، می‌تواند منجر به رسوب شود. خوشبختانه چنین رسوب‌هایی به آسانی در اسید محلول هستند و در بیشتر موارد با تنظیمات pH یا اسیدی شدن کنترل می‌شوند (۵). تقریباً می‌توان ادعا نمود که یکی از رایج‌ترین علل رسوب در لوله‌ها کربنات کلسیم است. بطور کلی تمام آب‌های طبیعی حاوی مقادیری متفاوت از کلسیم هستند. در پی تماس آب با اتمسفر و یا محصولات موجود ناشی از تجزیه در خاک، گاز دی اکسید کربن به آب وارد می‌گردد. نتیجه این شرایط تشکیل کربنات کلسیم و رسوب آن در برخی نواحی که شرایط مهیا است، می‌باشد. رسوب کربنات کلسیم در صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به علاوه بخش اعظم آب‌هایی که از چاه‌ها (منابع زیرزمینی) برداشت می‌گردند حاوی مقادیر زیادی از کلسیم و غلظت‌های بالایی از دی اکسید کربن (به دلیل وجود فشار نسی بالایی هستند (۶).

حل شدن کربنات کلسیم در محلول‌های آبی، همان طور که تحت تاثیر فشار جزئی دی اکسید کربن سیستم و با حضور نمک‌های دیگر قرار دارد، به دلیل اهمیت آن در رابطه با مشکل تشکیل رسوب در دیگ‌های بخار و لوله‌ها، رسوب آن در استخوان‌ها (کلسیفیکاسیون) و بر هم خوردن تعادل خون در سیستم‌های فیزیولوژیک نیازمند مطالعات دقیق است (۷). کلسیت پایدارترین شکل معدنی کربنات کلسیم است، وزن مولکولی آن $100/1$ و وزن مخصوص آن $2/7$ است. تحت شرایط ویژه تغییرات گسترده‌ای در ساختار کریستال کلسیت رخ می‌دهد. رنگ‌های مختلفی از رسوب کلسیت مشاهده گردیده است (زرد، آبی کمرنگ، بنفش، قرمز یا سبز)، اما بیشتر اشکال آن بی رنگ یا سفید هستند. کربنات کلسیم به رنگ سبز، ممکن است به دلیل حضور مس در ساختار باشد درحالی‌که رسوب صورتی را می‌توان به کبالت نسبت داد. حضور منگنز در ساختار کلسیت رنگ آن را صورتی کمرنگ تا قرمز می‌کند. کلسیت قرمز می‌تواند به علت حضور گالیم در آن باشد و رنگ آبی و سبز نیز می‌تواند ناشی از آهن فریک و آهن فروس باشد (۸).

بررسی‌ها نشان می‌دهد عمده‌ترین رسوبات تشکیل شده در

ظرفیت اسمی لوله‌ها روبرو هستند. این پدیده منجر به کاهش میزان آبرسانی به نواحی می‌گردد و به همین دلیل اقدامات اولیه جهت کندن رسوب و پاکسازی لوله‌ها صورت گرفته است. جهت پیشگیری از روند مجدد تشکیل رسوب و اقدامات کنترلی قبل از ورود آب به شبکه توزیع مطالعه حاضر با هدف بررسی علل تشکیل رسوب در برخی از خطوط لوله شبکه توزیع آب استان سمنان و راهکارهای کنترلی و یا حذف عوامل پیش‌ساز انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

_ منطقه مورد مطالعه

سمنان از پهناورترین استان‌های کشور ایران است. شهر سمنان مرکز و پرجمعیت‌ترین شهر این استان است. مساحت این استان برابر با 97491 km^2 بوده و از نظر مساحت هفتمین استان ایران است. این استان از جانب شمال به استان‌های خراسان شمالی، گلستان و مازندران، از جنوب به استان‌های خراسان جنوبی و اصفهان، از مشرق به استان خراسان رضوی و از مغرب به استان‌های تهران و قم محدود است. فرسایش شدید رطوبتی در دامنه‌های زاگرس غربی باعث ایجاد نواحی خشک و نیمه خشک در فلات مرکزی ایران و استان سمنان گردیده است در نواحی شمالی استان سمنان به دلیل همجواری با استان مازندران و گلستان و بهره‌مندی از رطوبت دریای خزر دارای محیط جنگلی با آب و هوای مرطوب است اما وجود رشته کوه البرز مانع رسیدن رطوبت به شهرهای اصلی استان می‌گردد و با توجه به اینکه استان از استعداد کشاورزی فراوان برخوردار است و زردآلو و انگور شاه‌رود، پسته دامغان، گردو شهمیرزاد، انجیر و انار سمنان، خربزه گرمسار دارای شهرت ملی است اما به دلیل کمبود آب بخش وسیعی از سطح استان کشت نمی‌شود و تنها دو درصد از کل مساحت استان زیر کشت آبی و دیم است. آبرسانی به استان سمنان به طور عمده از چشمه‌های موجود تامین می‌گردد. حدود ۵۰ درصد تامین آب آشامیدنی سمنان از چشمه روزیه است که میزان خروجی آب این چشمه حدودا 190 L/s است. علاوه بر این بخشی از آب شرب از چشمه آب گل رودبار که میزان خروجی آن حدودا 60 L/s است، تامین می‌گردد.

سیستم‌های توزیع آب شامل کربنات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات کلسیم و کلرید منیزیم است، به طوری که در بعضی مواقع رسوب عوامل فوق الذکر به صورت کنترل نشده باعث انسداد لوله‌ها و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری از تاسیسات آبرسانی می‌گردد. در حال حاضر مسائل اقتصادی مرتبط با خوردگی و رسوبگذاری درصد قابل توجهی از درآمد سرانه کشورهای مختلف را به خود اختصاص می‌دهد. در آمریکا هزینه‌های تحمیل شده در اثر خوردگی و رسوبگذاری سالانه بیش از ۳۰۰ میلیارد دلار برآورد شده است که بیش از ۴-۵ درصد درآمد ناخالص ملی آن کشور است (۹). متأسفانه در ایران آمار دقیقی از خسارات خوردگی و رسوبگذاری در دسترس نیست، ولی بررسی تلفات آب تصفیه شده شهری نشان می‌دهد که سالانه به علت پوسیدگی‌های حاصله از خوردگی لوله‌های انتقال و توزیع آب بیش از ۳۰ درصد آب‌های توزیعی به هدر می‌رود که این زیان علاوه بر هزینه‌های صرف شده برای تعویض و ترمیم لوله‌های آسیب دیده است. تحقیقات متعددی در ارتباط با وضعیت پایداری آب (رسوبگذاری و خوردگی) در شبکه توزیع آب شهرهای مختلف ایران انجام شده است. Fazlzadeh Davil و همکاران به بررسی وضعیت خوردگی و یا رسوبگذاری آب در شهر ایران پرداختند. نتایج آنها نشان‌دهنده پتانسیل خوردگی آب موجود در شبکه توزیع بود و کیفیت آب از لحاظ دیگر پارامترها در محدوده استاندارد آب آشامیدنی ایران قرار داشت (۱۰). در مطالعه دیگری که Shahmohammadi و همکاران در سال ۲۰۱۷ در ارتباط با وضعیت پایداری آب در شهر سرو آباد انجام دادند نتایج متغیری براساس شاخص رایزنار و لانزلیه به دست آمده بطوری که محققان آب برخی از مناطق رسوبگذار و دیگر مکان‌ها خورنده به دست آمد (۱۱). در تحقیقی که توسط Mirzaheygi و همکاران در سال ۲۰۱۷ جهت بررسی وضعیت پایداری آب در مناطق شرقی ایران صورت پذیرفت وضعیت آب خورنده پیش بینی گردید و مقادیر کل جامدات محلول، سولفات و کلراید از حد استاندارد بالاتر بود (۱۲). طبق بازرسی‌های میدانی صورت گرفته و همچنین گزارشات مربوطه خطوط توزیع آب در شهر سمنان به خصوص در نواحی جنوبی با رسوب شدید و کاهش



شکل ۱- موقعیت مکان‌های نمونه برداری استان سمنان (شماره‌های ۲ و ۳ و ۴ مربوط به مخازن ذخیره و شماره‌های ۱ و ۵ نمونه‌های برداشت شده از شبکه توزیع را نشان می‌دهند)

در اندیس لائزلیه اثرات کلسیم، قلیائیت کل، کل جامدات محلول و دما جهت تعیین وضعیت آب مورد آنالیز قرار می‌گیرد (۱۱). اولین اندیس به منظور پیش بینی مشخصات خوردگی و یا رسوبگذار بودن آب توسط لائزلیه ارائه شد. او از تئوری‌های پیشرفته حاکم بر محلول‌های آبی به منظور آنالیز مشخصات آب کمک گرفت. لائزلیه پیشنهاد کرد اختلاف بین pH محاسبه شده از آنالیزهای شیمیایی و مقدار pH اندازه گیری شده می‌توان جهت تعیین وضعیت آب استفاده نمود (۱۴). این شاخص با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$LSI = pH_a - pH_s \quad (1)$$

در معادله بالا pH_a و pH_s به ترتیب، pH آب در شرایط واقعی محیط و pH آب در شرایطی که اشباع از کربنات سدیم است، می‌باشد و از طریق معادله ۲ محاسبه می‌گردد.

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

در معادله بالا نحوه محاسبه مقادیر A, B, C, D در مطالعات گذشته آورده شده است (۱۴). مقادیر LSI و تفسیر آنها در جدول ۱ آورده شده است.

نمونه برداری

در مطالعه حاضر از آب ۵ نقطه (۳ نقطه مخازن ذخیره آب و ۲ نقطه آب در شبکه توزیع) در دو ماه اردیبهشت و تیر ماه نمونه برداری گردید (شکل ۱). نمونه برداری در ظروف پلی اتیلنی صورت گرفت و در دمای $4^\circ C$ به آزمایشگاه منتقل گردید. اندازه گیری pH و دما در محل نمونه برداری انجام گردید. نمونه‌ها جهت بررسی کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی، میزان قلیائیت کل در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۴). اندازه گیری غلظت بی کربنات، کربنات، فلوراید، کلراید، بروماید، سولفات، نیتريت، نیترات، سولفات، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نمونه‌ها توسط دستگاه یون کروماتوگراف انجام گرفت (۱۳).

نمونه رسوب موجود در لوله نیز در ظرف شیشه‌ای قرار داده شد و عناصر تشکیل دهنده آن توسط طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) و ساختارهای غالب آن توسط طیف سنجی فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) مورد بررسی قرار گرفت.

روش تعیین پتانسیل رسوبگذاری و یا خوردگی با استفاده از شاخص‌ها

شاخص لائزلیه (LI)

جدول ۱- تفسیر مقادیر اندیس لانژلیه

مقدار اندیس	تفسیر
$LSI < 0$	تمایل به انحلال $CaCO_3$ (خورنده)
$LSI = 0$	عدم خوردگی و رسوبگذاری
$LSI > 0$	تمایل به ترسیب $CaCO_3$ (رسوبگذار)

شاخص ریزنار (RI)

بالا حرکت نماییم تمایل آب به خوردگی بیشتر می‌شود، و بر عکس در مقادیر پایین‌تر از ۷ رسوب کربنات کلسیم بر روی جدار لوله شکل خواهد گرفت (۱۲). در جدول ۲ نحوه تفسیر وضعیت آب با توجه به شاخص ریزنار آورده شده است.

$$RI = 2pH_s - pH$$

(۳)

در این ایندکس که در سال ۱۹۴۴ توسط ریزنار ابداع گردید (معادله ۳) با استفاده از فرمول‌های تجربی شدت خوردگی آب در لوله‌های آبرسانی شهری مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق نظر ریزنار هنگامی که شاخص بالاتر از ۷ می‌رود رسوبی بر روی لوله تشکیل نمی‌گردد و هرچه از عدد ۷ به

جدول ۲- تفسیر مقادیر اندیس ریزنار

مقدار اندیس	تفسیر
$RI < 6$	افزایش تمایل به رسوبگذاری با افزایش مقدار ایندکس
$6 < RI < 7$	تشکیل رسوب کربنات کلسیم منجر به ایجاد فیلم محافظ نمی‌شود
$RI > 7$	بروز خوردگی ملایم در لوله‌های فولادی افزایش می‌یابد

– شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم (CCPP)

این شاخص نشان دهنده مقدار کربنات کلسیمی است که جهت رسیدن به تعادل با CaCO_3 نیاز به رسوب و یا حل شدن دارد. در حالت تعادل آب با CaCO_3 اشباع بوده و مقدار CCPP صفر است (۱۳). این شاخص به صورت مستقیم قابل محاسبه نبوده بلکه مقادیر pH، دما، غلظت کلسیم و قلیاییت آن در مقدارش نقش داشته و به صورت mg/L CaCO_3 بیان می‌گردد. نحوه محاسبه این شاخص

در معادله ۴ ارائه گردیده است.

$$CCPP = 50000 \times ([ALK_i] - [ALK_{eq}]) \quad (4)$$

در معادله ۴ ALK_i نشان دهنده مقدار قلیاییت موجود در آب و ALK_{eq} نشان دهنده میزان قلیاییت در شرایط تعادل است. نحوه محاسبه ALK_{eq} توسط مریل و اسنیک (۱۹۷۸) بیان گردیده است (۱۵). در جدول ۳ وضعیت آب بر مبنای شاخص (CCPP) آورده شده است.

جدول ۳- تفسیر مقادیر شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم

مقدار اندیس	تفسیر
$CCPP < 0$	وضعیت فوق اشباع و مقادیر مثبت CCPP نشان می‌دهد چه مقدار کربنات کلسیم رسوب می‌کند.
$CCPP = 0$	وضعیت اشباع (حالت تعادل)
$CCPP > 0$	وضعیت غیر اشباع و مقادیر منفی CCPP نشان می‌دهد چه مقدار کربنات کلسیم باید حل شود تا به حالت اشباع برسد.

– تعادل آنیونی-کاتیونی آب و بررسی یون‌های اصلی تشکیل دهنده

جهت بررسی نحوه اتصال آنیون‌ها و کاتیون‌های شناسایی شده در نمونه‌ها و همچنین نوع اصلی سختی موجود در نمونه‌ها از نرم افزار water balance analyzer استفاده گردید (۱۶).

یافته‌ها

– آنالیز فیزیکی-شیمیایی آب

نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد pH در نمونه‌های برداشت شده در محدوده ۷/۲۴ تا ۷/۷ قرار دارد که نشان دهنده ویژگی خنثی و کمی متمایل به قلیایی آب دارد. مقادیر pH در محدوده حد مطلوب پیشنهادی آب شرب ۶/۵-۸/۵ قرار دارد. در ارتباط با کل مواد جامد محلول هیچکدام از نمونه‌ها از حداکثر مقادیر مجاز 1500 mg/L تجاوز نکرده است هرچند در نمونه مخزن شماره ۲ مقادیر TDS بسیار بالاتر از دیگر نمونه‌های برداشت شده است.

که در ۵ جدول نشان داده شده است غیر از مخزن ۲ که مقادیر شاخص منفی است بقیه نقاط با توجه به مثبت بودن و مقادیر بالای شاخص به شدت از لحاظ کربنات کلسیم رسوبگذار است. در ستون آخر جدول ۵، pH اشباع (pHs) نیز محاسبه گردیده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد کمترین میزان pH اشباع ۷/۴ است.

– آنالیز رسوب

آنالیز جزیی عناصر موجود در رسوب توسط ICP-OES مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. آنالیز ساختارهای به‌دست آمده توسط XRF در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد کلسیم با درصد وزنی ۳۳/۵۴ درصد مهمترین جزء شناخته شده در رسوب بوده است. بعد از آن عناصر با مقادیر درصد وزنی بیشتر در رسوب به ترتیب زیر بوده است، $Mg > Si > Fe > Al$. با توجه به آنالیز XRF به‌دست آمده از رسوب در شکل ۲، دو ساختار اصلی در رسوب قابل مشاهده است. یکی از آنها که پیک‌های تندتر و قوی‌تر دارد مربوط به ساختار کربنات کلسیم (کلسیت) است. دیگری مربوط به حضور ساختار اکسید سیلیس در نمونه است. نتیجه به‌دست آمده در این بخش با نتایج ICP نیز همخوانی دارد زیرا همانطور که مشاهده گردید بیشترین درصد وزنی عناصر آنالیز شده مربوط به کلسیم بوده است.

– بررسی یون‌های اصلی تشکیل دهنده

جهت بررسی تعادل آنیونی و کاتیونی و یون‌های اصلی تشکیل دهنده از نرم افزار water balance استفاده گردید و نتایج مربوط به نمونه‌های شماره ۱ تا ۴ در نمودار ۱ (a) تا (d) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در نمونه‌های ۱ و ۳ و ۴ بخش قابل توجهی از سختی کربناته بصورت سختی موقت بی کربنات کلسیم است. و بعد از آن سولفات کلسیم، سولفات منیزیم و کلرید منیزیم که تشکیل سختی دائم می‌دهند نیز ملاحظه می‌گردد. جزء بعدی شناسایی شده NaCl است و همچنین به علت پایین بودن غلظت نیتрат ترکیب یونی نیترات سدیم هم در نمونه‌ها مشاهده شده است.

سختی کل هیچکدام از نمونه‌ها نیز از 500 mg/L CaCO_3 فراتر نرفته است. در این حالت نیز نمونه شماره ۲ بالاترین میزان سختی (حدود 480 mg/L) را به خود اختصاص داده است. هر چند این مقادیر از استانداردهای توصیه شده سازمان بهداشت جهانی حداکثر 200 mg/L که سبب ایجاد رسوب می‌گردد بسیار فراتر است. در ارتباط با غلظت کلسیم هیچکدام از نمونه‌ها مقادیری بالاتر از استاندارد 1053 mg/L ایران (300 mg/L) نداشته‌اند. در ارتباط با غلظت منیزیم نمونه مخزن ۲ مقادیری بالاتر از حد استاندارد 30 mg/L داشته است. از طرفی با توجه به اینکه بین یون منیزیم و سولفات از نظر تغییر طعم و امکان اختلال در جهاز هاضمه ارتباطی وجود دارد، از این‌رو در شرایطی که مقدار منیزیم از 30 mg/L بیشتر شده است، مقدار سولفات نباید بیش از 250 mg/L باشد. درحالی‌که در مطالعه حاضر مقادیر سولفات در نمونه ۲ از 250 mg/L فراتر رفته است. در ارتباط با سدیم نیز غیر از نمونه شماره ۲ که غلظتی بالاتر از 200 mg/L نشان می‌دهد، دیگر نمونه‌های آنالیز شده مشکلی از لحاظ مقادیر بالای سدیم نداشته‌اند. نتایج نشان می‌دهد در هیچکدام از نمونه‌های برداشت شده مقادیر نیترات و نیتريت از حدود استاندارد تجاوز نکرده‌اند. آنچه در جدول ۴ بسیار واضح است این است که مقادیر فلوراید در تمامی نمونه‌ها بسیار پایین‌تر از استاندارد پیشنهادی $0.4 - 0.8 \text{ mg/L}$ است (۱۷).

– بررسی اندیس‌ها

جدول ۶ میزان شاخص لانتلیه و ریزنار را در سال ۱۴۰۰ و وضعیت کیفی نمونه‌های مورد مطالعه را بر مبنای این شاخص نشان می‌دهد. براساس مقادیر مقایسه‌ای که در جدول نشان داده شده است و براساس شاخص لانتلیه اکثر آب‌ها دارای شرایط متعادل متمایل به رسوبگذاری هستند؛ البته در ارتباط با نمونه شماره ۲ وضعیت کمی متفاوت است و آب کمی تمایل به خوردنگی دارد. از لحاظ شاخص ریزنار اکثر نمونه‌ها تمایل به خوردنگی داشتند و این مورد در ارتباط با مخزن شماره ۲ اهمیت بالاتری دارد. در ارتباط با شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم (CCPP) همانطور

جدول ۴- میانگین پارامترهای فیزیکی-شیمیایی اندازه گیری شده جهت نمونه‌های ۱ تا ۵ (S1-S5)

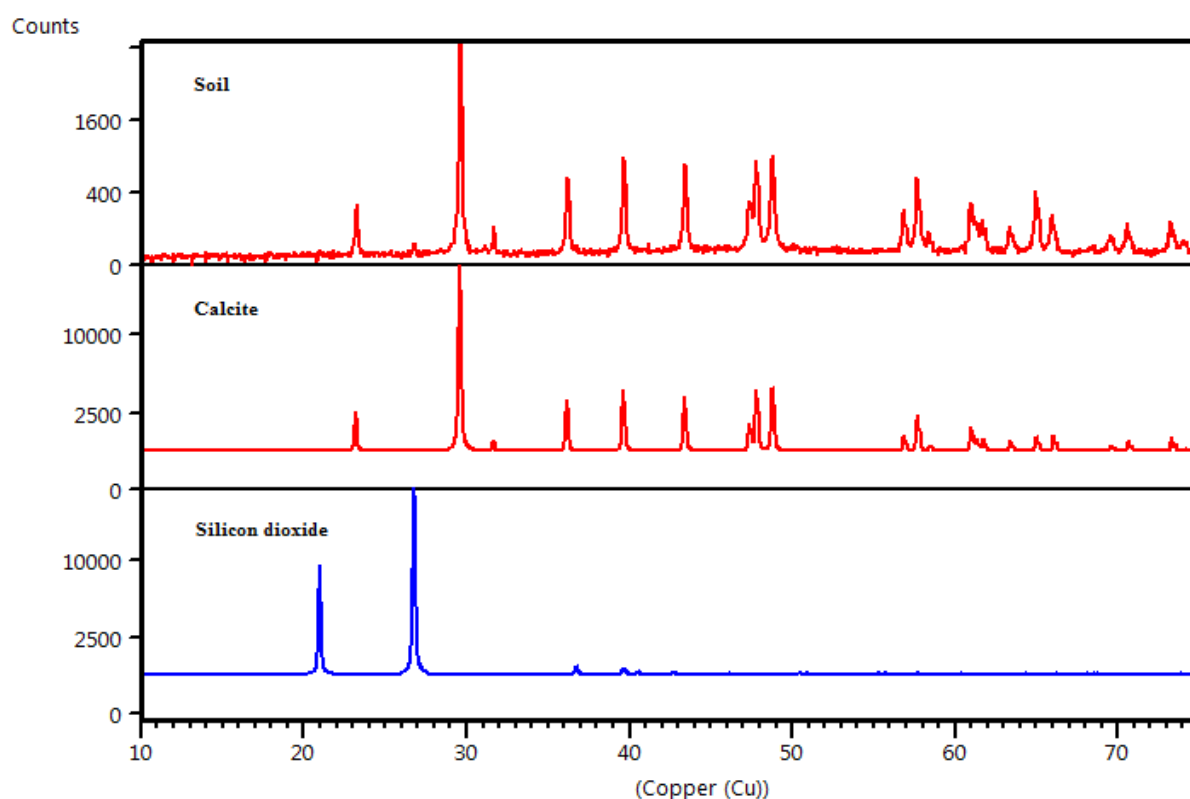
کربنات ppm	EC (T=20°C) μs/cm	سختی کل ppm	TDS ppm	کلسیم ppm	منیزیم ppm	پتاسیم ppm	سدیم ppm	نیترات ppm	نیتريت ppm	سولفات ppm	بروماید ppm	کلراید ppm	فلوراید ppm	قلیائیت ppm	بی کربنات ppm	پارامترهای آزمایش شده
ASTM 513	ISIRI 7476	ASTM 1126	ASTM 4127	ISIRI 18640	ISIRI 18640	ISIRI 18640	ISIRI 18640	ISIRI 12300-1	ISIRI 12300-1	ISIRI 12300-1	ISIRI 12300-1	ISIRI 12300-1	ISIRI 12300-1	ASTM 513	ASTM 513	روش استاندارد
-	-	-	-	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-	-	LOD
۰	۸۵۰	۳۳۳/۴۸	۵۵۴/۸	۹۲/۷۷	۲۴/۷۹	۱/۸۸	۶۸/۶۶	۳/۳۱	<۰/۰۵	۸۶/۱۰	<۰/۰۱	۱۰۹/۲۵	۰/۱۶	۲۸۰	۲۸۰	SI
۰	۲۰۱۰	۴۷۹/۷۶	۱۲۳۹/۶	۱۱۳/۴۹	۴۷/۷۹	۵/۸۶	۲۵۴/۹۳	۸۷۰	<۰/۰۵	۲۶۰/۱۸	<۰/۰۱	۴۴۰/۸۳	۰/۱۴	۱۸۰	۱۸۰	S2
۰	۱۱۳۰	۳۵۹/۷۴	۷۰۱/۶	۹۸/۱۷	۳۷/۹۰	۳/۴۱	۱۱۶/۸۶	۴/۴۸	<۰/۰۵	۱۰۳/۶۶	<۰/۰۱	۲۰۹/۵۷	۰/۱۸	۲۳۰	۲۳۰	S3
۰	۱۱۲۰	۳۴۶/۳۳	۷۰۶/۲	۹۵/۹۳	۳۶/۰۰	۳/۳۳	۱۱۷/۲۵	۴/۶۸	<۰/۰۵	۱۰۱/۷۱	<۰/۰۱	۲۰۷/۷۱	۰/۱۱	۲۵۰	۲۵۰	S4
۰	۸۶۰	۳۳۵/۱۳	۵۲۷/۹	۹۴/۹۱	۳۳/۹۰	۱/۸۶	۶۷/۴۷	۳/۰۷	<۰/۰۵	۸۵/۱۸	<۰/۰۱	۱۱۳/۴۷	۰/۱۷	۲۳۰	۲۳۰	S5

جدول ۵- تقسیم بندی وضعیت آب استان سمنان بر مبنای شاخص های پایداری

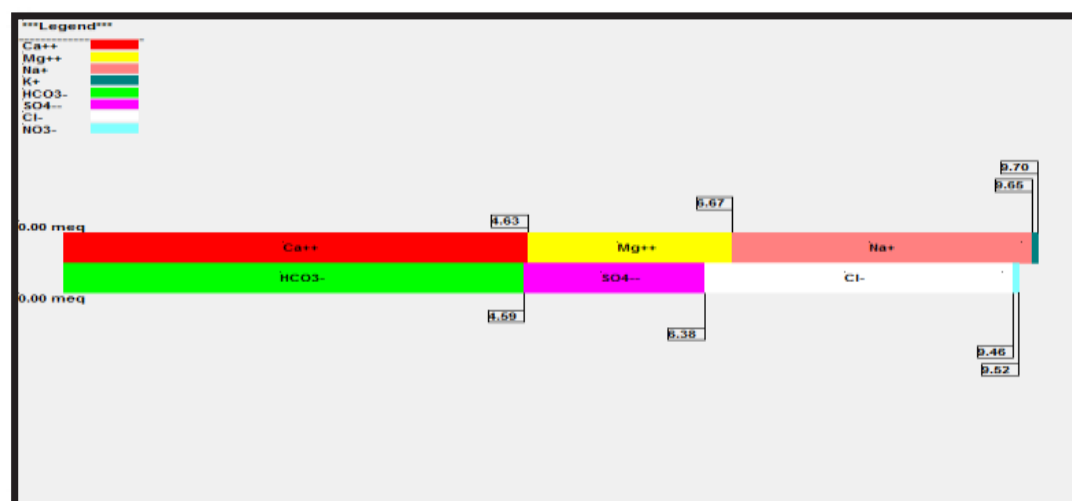
شماره نمونه	سختی کل	ارزیابی	شاخص لانتلیه اصلاح شده	ارزیابی	شاخص ریزنار	ارزیابی	شاخص (CCPP) (mg/L CaCO ₃)	ارزیابی	pH اشباع
۱	۳۳۳/۴۵	بسیار سخت	۰/۱۶	تمایل به رسوبگذاری	۷/۱۵	خورندگی	۳۱/۲	فوق اشباع	۷/۴
۲	۴۷۹/۶۶	بسیار سخت	-۰/۲۲	تمایل به خوردگی	۷/۶۹	خورندگی بالا	۱/۸ -	غیر اشباع	۷/۷
۳	۳۳۷/۲۱	بسیار سخت	۰/۲۶	تمایل به رسوبگذاری	۷/۱۸	خورندگی	۲۳/۷	فوق اشباع	۷/۷
۴	۳۴۶/۲۵	بسیار سخت	۰/۰۹	تمایل به رسوبگذاری	۷/۸۲	خورندگی	۲۲/۷	فوق اشباع	۷/۵
۵	۳۳۵/۰۷	بسیار سخت	۰/۲۱	تمایل به رسوبگذاری	۷/۱۹	خورندگی	۲۶/۵	فوق اشباع	۷/۵

جدول ۶- آنالیز ICP و تعیین عناصر موجود در نمونه رسوب

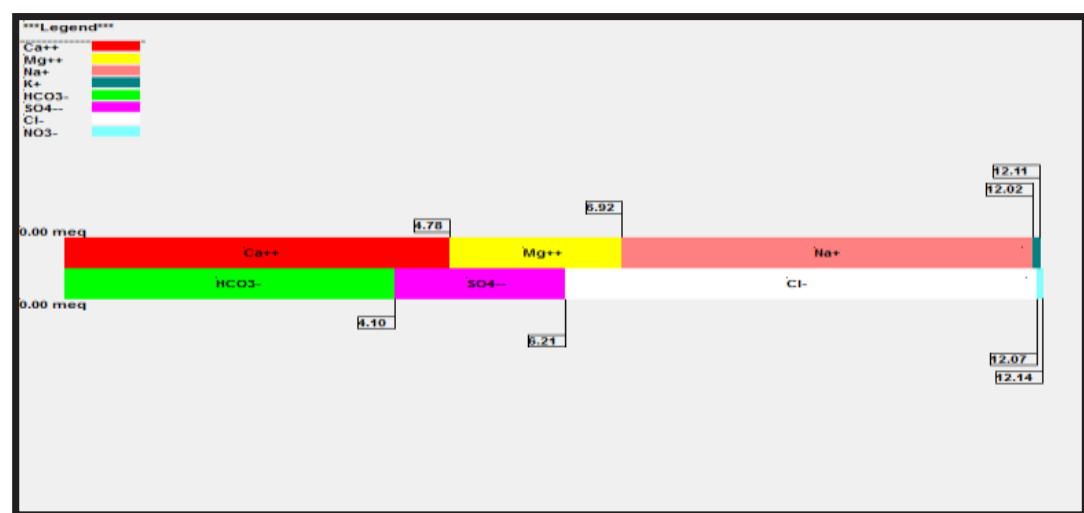
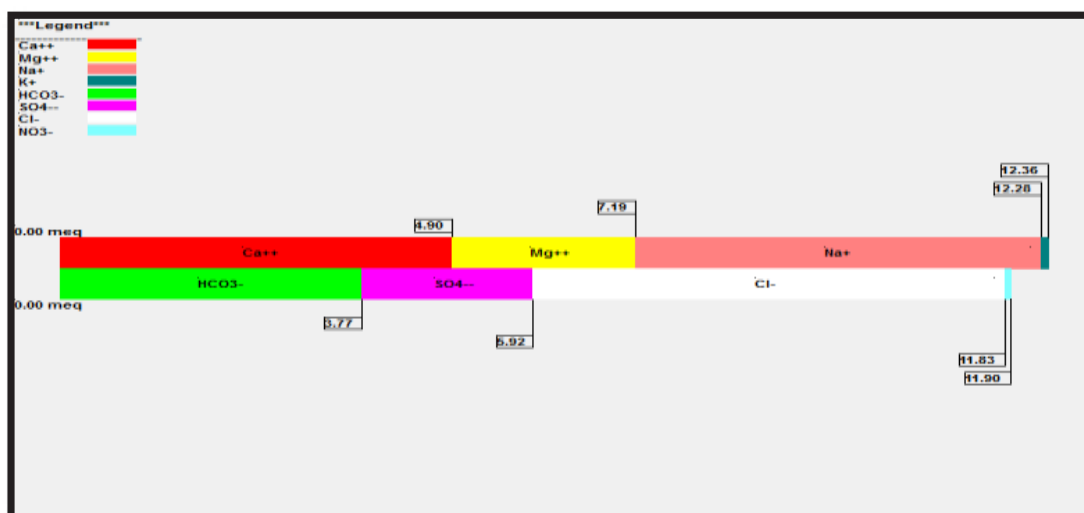
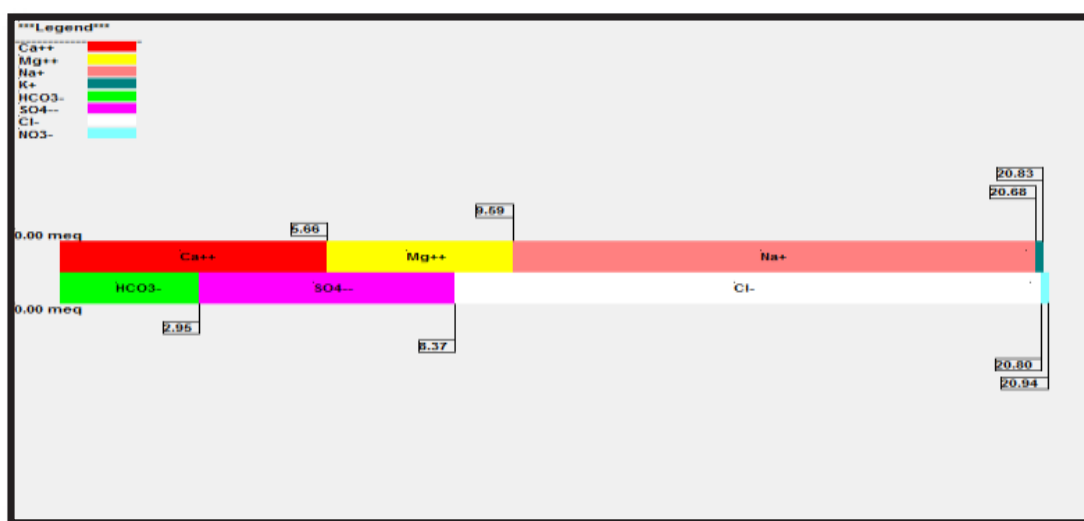
عناصر	درصد وزنی	عناصر	درصد وزنی	عناصر	درصد وزنی
Na	<۰/۰۱	Fe	۰/۲۴	Zr	<۰/۰۱
Mg	۰/۶۸	Co	<۰/۰۱	Nb	<۰/۰۱
Al	۰/۱۴	Ni	<۰/۰۱	Mo	<۰/۰۱
Si	۰/۶۰	Cu	<۰/۰۱	Ag	<۰/۰۱
P	۰/۰۵	Zn	۰/۰۵	Cd	<۰/۰۱
S	۰/۰۶	Ga	<۰/۰۱	Sn	<۰/۰۱
Cl	۰/۰۱	Ge	<۰/۰۱	Sb	<۰/۰۱
K	۰/۰۳	As	<۰/۰۱	Te	<۰/۰۱
Ca	۳۳/۵۴	Se	<۰/۰۱	I	<۰/۰۱
Ti	۰/۰۱	Br	<۰/۰۱	Cs	<۰/۰۱
V	<۰/۰۱	Rb	<۰/۰۱	Ba	۰/۰۱
Cr	<۰/۰۱	Sr	۰/۰۵	La	<۰/۰۱
Mn	۰/۰۱	Y	<۰/۰۱	Ce	<۰/۰۱



شکل ۲- آنالیز XRF رسوب جهت بررسی ساختارهای اصلی



نمودار ۱- نمودارهای تعادل آنیونی-کاتیونی و پیوندهای یونی موجود در نمونه‌ها



ادامه نمودار ۱- نمودارهای تعادل آنیونی-کاتیونی و پیوندهای یونی موجود در نمونه‌ها

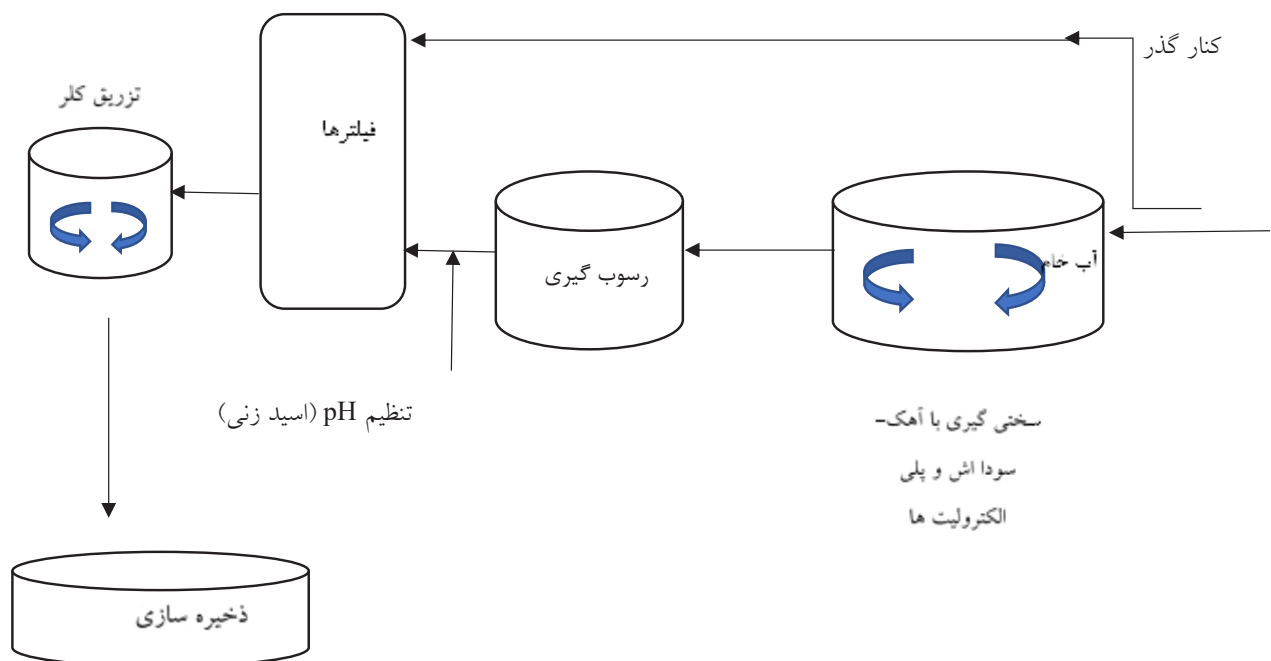
بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد آب استان سمنان که بطور عمده از یک چشمه و یک قنات تامین می‌گردد سختی بالایی دارد. بر طبق پیشنهاد آژانس حفاظت محیط زیست امریکا هنگامی که میزان سختی کل کمتر از 75 mg/L است آب سبک، در مقادیر $75-150$ آب تا حدودی سخت، در مقادیر $300-150$ سخت و بالاتر از 300 mg/L بسیار سخت است (۱۸). مقادیر سختی نمونه‌ها در تحقیق حاضر بیش از 300 است که نشان دهنده سختی در حد بالاست. هر چند حداکثر مطلوب آن مطابق استانداردهای ایران 200 و حداکثر مجاز آن 500 است، از نقطه نظر اقتصادی می‌توان گفت کیفیت آب حاضر اگرچه به حداکثر مجاز نمی‌رسد ولی بدلیل مقادیر بالایی از کربنات کلسیم توجیه پذیر نیست. نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان دهنده کمی رسوبگذاری آب بر طبق شاخص لانژلیه است. علاوه بر این با توجه به بالا بودن میزان سختی و TDS آب 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 دو شاخص دیگر شاخص دقیق‌تری برای تعیین وضعیت خوردگی و رسوبگذاری آب است (۱۹) و با توجه به آنالیز رسوب می‌توان از شاخص لانژلیه در کنار CCPP به دلیل تا حدودی مشابه بودن نتایج بهره جست. مشکل ایجاد رسوب در بسیاری از مطالعات گذشته در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیقی که در سال 2018 توسط Momeni و همکاران صورت گرفت آب موجود در شبکه توزیع از لحاظ رسوبگذاری و خوردگی آب زیرزمینی شهر سرایان مورد بررسی قرار گرفت. با مطالعه 20 نقطه مختلف نمونه‌گیری از محدوده مطالعاتی و مشخص کردن نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی و با استفاده از شاخص‌های پایداری خوردگی و رسوبگذار بودن آب منطقه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داد آب اندکی خاصیت رسوبگذاری دارد، نتایج همچنان حاکی از غلظت پایین TDS، کلسیم و قلیائیت نسبت به استانداردهای پیشنهادی بود (۲۰). در مطالعه جامعی که

در سال 2018 Dianati Tilaki و همکاران جهت بررسی وضعیت خوردگی و رسوبگذاری منابع آب شهرهای شمالی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفت، تعداد 192 نقطه از شبکه توزیع آب نمونه برداری گردید نتایج مشخص نمود که بر طبق اکثر شاخص‌ها آب تمایل به رسوبگذاری دارد (۲۱). Taghipour و همکاران در سال 2012 ، 80 نمونه را جهت بررسی آب وضعیت رسوبگذاری و خوردگی در شهر تبریز مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از شاخص‌ها نشان دهنده خوردگی آب موجود در شبکه توزیع بود (۲۲). در مطالعه جامعی که Hadi و همکاران در سال 2018 در روی نمونه‌های برداشتی از شبکه توزیع آب شهر کاشان انجام دادند منابع آب منطقه رسوبگذار تشخیص داده شدند، به نحوی که تمایل به رسوبگذاری به ترتیب از بیشترین منبع به کمترین به شرح ذیل بود: چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه عمیق، چشمه و قنات. علاوه بر این مقدار شاخص CCPP از سال 1381 تا سال 1392 افزایش محسوسی نشان داد (۲۳). با توجه به بررسی تعادل آنیونی و کاتیونی نمونه‌ها جزء اصلی یونی موجود در آب مربوط به بی کربنات کلسیم است که تشکیل سختی موقت می‌دهد. علاوه بر این در برخی نمونه‌ها بی کربنات منیزیم نیز که در تشکیل سختی موقت نقش دارد مشاهده می‌گردد. در نمونه‌ها سولفات منیزیم و در برخی کلرید منیزیم نیز شکل گرفته که نشان دهنده سختی دائم است. ساختار اصلی رسوب در مطالعه حاضر نشان دهنده حضور کلسیت و اکسید سیلیس است. نتایج به‌دست آمده از ICP نیز نشان دهنده حضور کلسیم، منیزیم و آهن در مقادیر بالاتر نسبت به دیگر عناصر است. بطور کلی سیلیس در آب‌های زیرزمینی در مقادیر $1-100 \text{ ppm}$ وجود دارد. شکل غالب سیلیس در پیکره‌های آبی بصورت H_2SiO_3 است و در صورت حرکت اندک pH آب از حالت خنثی به اسیدی به سرعت تجزیه می‌گردد (۲۴، ۲۵). حضور اسید سیلیسیک در آب سبب تشکیل کلئیدهای سیلیس در pH های خنثی گشته و با افزایش اندکی در pH و حرکت به سمت حالت قلیایی یون‌های سیلیکات تشکیل می‌گردد

سیلیس می‌توان به فرایند اولترافیلتراسیون و انعقاد و لخته سازی اشاره نمود که حدوداً ۸۰-۹۰ درصد از سیلیس را حذف می‌نماید (۲۹). ۷- جهت جلوگیری از تشکیل رسوب کلسیت و به عنوان یک راهکار سریع می‌توان pH آب را قبل از ورود به شبکه توزیع به کمتر از pH اشباع رساند از آنجایی که pH مناسب آشامیدن در محدوده ۶/۵ تا ۸/۵ قرار دارد با استفاده از اسید استیک، اسید کلریدریک و اسید سولفوریک اقدام به کاهش pH در محدوده ۵-۶/۷ نمود. طبق مطالعات صورت گرفته هنگام استفاده از آهک در فرایند سختی گیری کلسیم به صورت کربنات کلسیم و منیزیم به صورت هیدروکسید منیزیم رسوب می‌نماید. در هنگام رسوب هیدروکسید منیزیم فلوک‌های بزرگ‌تری تشکیل می‌دهد که سیلیکات موجود در آب را جذب نموده و امکان حذف آنها را نیز فراهم می‌نماید. بنابراین می‌توان گفت استفاده از آهک که هدف اولیه آن کنترل سختی است در حذف سیلیس چه به صورت محلول و یا کلوئیدی موثر عمل می‌نماید و کارایی آن در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است (۳۰، ۳۱). بهترین pH جهت جذب یون‌های سیلیس بر روی فلوک‌های $Mg(OH)_2$ بعد از تزریق آهک ۱۰-۱۱ برآورد گردیده است که در حین فرایند آهک زنی جهت حذف سختی این هدف فراهم می‌گردد. بر این اساس شماتیک بهترین راهکار موجود در شکل ۳ نمایش داده شده است. با توجه به آنالیز رسوب به‌دست آمده که نشان دهنده حضور ساختارهای کلسیت و اکسید سیلیس در نمونه‌ها بود جهت حذف همزمان این دو ترکیب می‌توان از آب آهک و تنظیم pH سختی گیری در محدوده ۱۰ اقدام نمود سپس بعد از ورود آب به حوضچه‌های رسوب‌گیر تنظیم pH صورت پذیرد. در مرحله بعد آب وارد صافی می‌گردد تا ذرات ریزتر فلوک جداسازی گردد و در نهایت تزریق کلر صورت پذیرد. بطور کلی در تحقیق حاضر با توجه به حضور کلسیت و اکسید سیلیس در رسوب و همچنین بالا بودن سختی پیشنهاد می‌گردد از فرایند سختی گیری با آهک و در پی آن فیلتراسیون بهره جست.

و با حضور کاتیون‌ها در آب همچون منیزیم، آلومینیوم، کلسیم و آهن واکنش داده و سیلیکات نامحلول تشکیل می‌گردد (۲۶). در این رابطه بسیار اهمیت دارد که غلظت آهن در آب کمتر از ۰/۰۵ ppm نگهداشته شود تا از ایجاد رسوب و یا خوردگی جلوگیری گردد. معمولاً رسوب سیلیکات در pH کمتر از ۸/۵ شکل می‌گیرد. رسوبات سیلیکاتی شکل‌های مختلفی دارد و در اغلب آنها حضور یون‌های فلزی مشهود است (۲۲). روش‌های متعددی جهت حذف رسوبات کلسیت و سیلیکات پیشنهاد گردیده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: ۱- تزریق بازدارنده‌های تشکیل رسوب همچون اسید سولفوریک جهت کاهش pH و یا افزودن سود سوز آور جهت افزایش pH جهت کاهش تشکیل رسوب سیلیکاتی (۲۷) که البته این روش در لوله‌های توزیع آب آشامیدنی بدلیل کاهش یا افزایش شدید pH کارایی ندارد و بیشتر در بخش صنعت می‌توان از آن بهره جست. ۲- استفاده از سختی زدایی با کمک آهک (Hot-lime softening) و در پی آن فیلتراسیون، که در طی آن عوامل سختی و همچنین سیلیس کلوئیدی در رسوب $Mg(OH)_2$ و یا $MgCl_2$ به دام افتاده و جدا می‌گردند. ۳- استفاده از بازدارنده‌های تشکیل سیلیس کلوئیدی همچون مس، پلی اکریلات‌ها، بوریک اسید و کوارتز. بر طبق مطالعات انجام شده افزودن مقدار اندکی از بازدارنده‌ها سبب حذف بیش از ۹۰ درصد سیلیس در pH حدود ۱۰/۵ می‌شود البته با توجه به اینکه آب حاضر کاربری شرب دارد استفاده از بازدارنده‌ها پیشنهاد نمی‌گردد. ۴- افزودن EDTA که مانع از واکنش منیزیم موجود در آب و پلیمرهای یونیون آن با اسید سیلیسیلیک که رسوب سختی است می‌گردد. علاوه بر این غلظت‌های پایین EDTA سبب محلول گشتن سیلیس و جلوگیری از تشکیل کلوئیدهای آن می‌گردد (۲۸). ۵- سیلیس به فرم کلوئیدی قادر به حذف توسط تعویض یون نیست و حتی می‌توان گفت در پی ترکیب با مواد آلی موجود در آب سبب گرفتگی رزین نیز می‌گردد (۱۰). ۶- از دیگر راه‌های حذف



شکل ۳- شماتیک فرایندهای پیشنهادی جهت حذف عوامل تشکیل رسوب قبل از ورود آب به شبکه توزیع

نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های این مطالعه مشخص شد که شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب اکثر نقاط نمونه برداری در حد مطلوب واقع شده و فقط پارامتر سختی در اکثر ایستگاه‌ها بالاست. علاوه بر این نمونه شماره ۲ از لحاظ غلظت منیزیم، سولفات، سدیم و کل جامدات محلول فراتر از استاندارد ملی بوده است. آنالیز تعادل آنیونی و کاتیونی آب نشان دهنده حضور سختی موقت به صورت بی کربنات کلسیم و منیزیم و در مقادیر کمتر سولفات و کلراید منیزیم به صورت سختی دائم است.

بر طبق شاخص CCPP در اکثر موارد ایستگاه‌های مورد بررسی دارای آب رسوبگذار هستند و مهمترین عامل آن بالا بودن کربنات کلسیم است. آزمایشات رسوب تشکیل یافته نشان داده ساختار اصلی تشکیل دهنده مربوط به کلسیت و اکسید سیلیس است. نتایج مطالعه حاضر و بسیاری از مطالعات دیگر نشان دهنده حضور ترکیبات سیلیس به

صورت کلوییدی و یا محلول در منابع آب‌های زیرزمینی است که نیازمند توجه ویژه غیر از حضور کربنات‌ها و بی کربنات‌های کلسیم جهت جلوگیری از رسوب داخل لوله‌ها است. لذا کنترل فرایند رسوبگذاری با آنالیز کیفی و کمی عناصر تشکیل دهنده امری ضروری محسوب می‌شود. به منظور کنترل این فرایند از روش‌هایی متعددی می‌توان بهره جست. از این رو لازم است برنامه ریزی مناسبی انجام گیرد تا از آسیب‌های اقتصادی در اثر عدم پایداری آب جلوگیری شود. بدیهی است پایداری آب و تثبیت ویژگی‌های کیفی آب قبل از ورود آب به شبکه‌های توزیع عامل مهمی در کنترل و پیشگیری از بروز خوردگی و رسوبگذاری بوده که باید به نحو مناسبی در سیستم‌های تامین آب انجام شود. با توجه به آنالیزهای کمی کیفی آب و رسوب بهترین راهکار موجود جهت حذف همزمان سختی و ترکیبات سیلیسی استفاده از آهک در $pH=10$ است. نمونه‌های برداشت شده در مطالعه حاضر با توجه به مدت زمان پروژه مربوط به فصل

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق مقاله IR.IAU.PS.REC.1400.414 است.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب شرکت آب و فاضلاب استان سمنان به شماره ۹۹/۱۰۰/۵۷۳۹ مورخ ۱۴۰۰/۲/۸ است. بدین وسیله از کلیه همکاران شرکت آب و فاضلاب استان سمنان جهت تامین هزینه‌های انجام پروژه، ارسال اطلاعات پایه و کمک در نمونه برداری تقدیر و تشکر می‌گردد.

بهار و تابستان است لذا مطالعه بیشتر کیفیت آب در فصل پاییز و زمستان پیشنهاد می‌گردد. با توجه به اینکه قسمتی از رسوب مربوط به اکسید سیلیس است، بررسی بیشتر آب از لحاظ انواع سیلیس موجود در آب (سیلیکات و سیلیس کلوئیدی) توصیه می‌گردد زیرا رویکردهای حذف آنها متفاوت است. از آنجایی که رسوب سیلیس با حضور مقادیر بالای آهن، آلومینیوم و منیزیم تشدید می‌گردد، بررسی غلظت آهن و آلومینیوم پیشنهاد می‌گردد. از آنجایی که در فصول گرم سال (تابستان) بخشی از آب مورد نیاز از طریق برداشت آب از چاه‌های حفر شده در منطقه صورت می‌گیرد و به دلیل بالا بودن سختی و حضور سیلیس در آب چاه‌های عمیق پایش کیفیت چاه‌ها نیز توصیه می‌گردد.

References

1. Muryanto S, Bayuseno A, Ma'Mun H, Usamah M. Calcium carbonate scale formation in pipes: effect of flow rates, temperature, and malic acid as additives on the mass and morphology of the scale. *Procedia Chemistry*. 2014;9:69-76.
2. Richards CS, Wang F, Becker WC, Edwards MA. A 21st-century perspective on calcium carbonate formation in potable water systems. *Environmental Engineering Science*. 2018;35(3):143-58.
3. Teng K, Kazi S, Amiri A, Habali A, Bakar M, Chew B, et al. Calcium carbonate fouling on double-pipe heat exchanger with different heat exchanging surfaces. *Powder Technology*. 2017;315:216-26.
4. Raharjo S, Bayuseno A, Muryanto S. Calcium carbonate scale formation in copper pipes on laminar flow. 3rd Bali International Seminar on Science & Technology; 2015 October 15-17; Bali, Indonesia.
5. MacAdam J, Parsons SA. Calcium carbonate scale formation and control. *Re/Views in Environmental Science & Bio/Technology*. 2004;3(2):159-69.
6. Kim D-H, Cha J-H, Hong S-H, Kim D-Y, Kim C-W. Control of corrosive water in advanced water treatment plant by manipulating calcium carbonate precipitation potential. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2009;26(1):90-101.
7. Cozzolino M, Dusso AS, Liapis H, Finch J, Lu Y, Burke SK, et al. The effects of sevelamer hydrochloride and calcium carbonate on kidney calcification in uremic rats. *Journal of the American Society of Nephrology*. 2002;13(9):2299-308.
8. Heberling F, Trainor TP, Lützenkirchen J, Eng P, Denecke MA, Bosbach D. Structure and reactivity of the calcite-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2011;354(2):843-57.
9. Makris KC, Andra SS, Botsaris G. Pipe scales and biofilms in drinking-water distribution systems: undermining finished water quality. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2014;44(13):1477-523.
10. Davil MF, Mahvi AH, Norouzi M, Mazloomi S, Amarluie A, Tardast A, Karamitabar Y. Survey of corrosion and scaling potential produced water from

- Ilam water treatment plant. *World Applied Sciences Journal*. 2009;7(11):11-24.
11. Shahmohammadi S, Noori A, Karami S, Amini A, Shahmoradi B, Sobhan Ardakani S, Lee SM, Pawar R. A study on corrosion and scaling potential of drinking water supply resources in rural areas of Sarvabad, West of Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 2018;6(1):52-60.
 12. Mirzabeygi M, Yousefi N, Abbasnia A, Youzi H, Alikhani M, Mahvi AH. Evaluation of groundwater quality and assessment of scaling potential and corrosiveness of water supply networks, Iran. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*. 2017;66(6):416-25.
 13. APHA, AWWA, WPCF, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC: American Public Health Association; 1912.
 14. Langelier WF. The analytical control of anti-corrosion water treatment. *Journal- American Water Works Association*. 1936;28(10):1500-21.
 15. Merrill DT, Sanks RL. Corrosion control by deposition of CaCO₃ films: Part 3, A practical approach for plant operators. *Journal- American Water Works Association*. 1978;70(1):12-18.
 16. Nabizadeh R. *Water balance analyzer software*. Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 2005 [cited 2021 Jul 19]. Available from: <http://tums.ac.ir/ajaxplorer/data/public/454e8cc45872500530e01f3d2946e455.php?lang=en>.
 17. WHO. *Hardness in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality*. Geneva: World Health Organization; 2010.
 18. Cotruvo JA, Bartram J. *Calcium and Magnesium in Drinking-Water: Public Health Significance*. Geneva: World Health Organization; 2009.
 19. 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.
 20. Momeni H, Nekounam H, Salmani ER. Corrosion and scaling potential of drinking water resources of Sarayan County, Iran. *Iranian Journal of Health Sciences*. 2018;6(3):36-44.
 21. Dianati Tilaki A, Mahmoudi M. Investigation of Sedimentation and Corrosion Indices of Drinking Water Resources in the Cities of Mazandaran Province. *Journal of Health Research in Community*. 2018;4(2):57-67 (in Persian)
 22. 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.
 23. Hadi M, Aboosaedi Z, Pasalari H. Corrosion or scaling tendency and trend for water resources in rural areas of Kashan. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019, 10;12(1):113-28 (in Persian).
 24. Mokhtaria Z, Yousefzadehb S, Safaria M, Brahmandd MB, Soleimania H, Yaghmaeiana K. Assessment of the drinking water quality of a rural distribution network in the north of Iran by corrosion and scaling indices. *Desalination Water Treatment*. 2020;206:27-33.
 25. Andhika M, Castaneda MCH, Regensburg S. Characterization of silica precipitation at geothermal conditions. *World Geothermal Congress*; 2015; Melbourne.
 26. Brown K. Thermodynamics and kinetics of silica scaling. *International Workshop on Mineral Scaling*; 2011; Manila, Philippines.
 27. Mohamed AMO, Paleologos EK, Howari FM. *Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering*. The Netherlands: Elsevier; 2021.
 28. Temiz E. *Silica scale inhibition in mechanical pulping*. Sweden: Chalmers University of Technology; 2014.

29. Baca ED. Comprehensive Silica Removal with Ferric Compounds for Industrial Wastewater Reuse [dissertation]. New Mexico: The University of New Mexico Albuquerque; 2017.
30. Al-Mutaz IS, Al-Anezi IA. Silica reduction in reverse osmosis desalting plants. The 6th Saudi Engineering Conference; 2002 Dec 14; King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.
31. Bradley R. Design considerations for reverse osmosis systems. In: Amjad Z, editor. Reverse osmosis: Membrane technology, water chemistry, and industrial applications. New York: Springer; 1993. p. 104-138.



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

Original Article



Factors affecting scale formation in water distribution networks of Semnan city and preventive measures

Mahsa Jahangiri-rad^{1,*}, Mohammad Rafiee²

1- Water Purification Research Center (WPRC), Islamic Azad University, Tehran Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 2 October 2021

Revised: 11 December 2021

Accepted: 13 December 2021

Published: 21 December 2021

Keywords: Calcium carbonate, Silica, Water scaling, Softening, Water scaling indices

ABSTRACT

Background and Objective: Corrosion and precipitation are important indicators of water quality assessment. The aim of this study was to analyze water stability water in Semnan distribution networks.

Materials and Methods: To achieve the purpose, samples were taken from 5 points (3 points of storage tanks and 2 distribution network points) and analyzed for physical-chemical analysis. The concentration of common anions and cations was determined by ion chromatography (IC). The sediment formed in the water distribution network was also investigated for studying its structure and main elements by using X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) and induced coupling plasma spectroscopy (ICP). The corrosion and scaling indices, including the Ryznar stability index (RSI), Langelier index (LI), and calcium carbonate precipitation potential (CCPP) were also studied.

Results: According to the obtained results, the quality (physically-chemically) of most of the taken samples lies within the permissible limits of Iran's national standard (1053). However, in terms of total hardness all sampling point showed values beyond WHO guidelines for drinking water. Magnesium and sulfate concentrations were also exceeded in one of the reservoirs. The results also showed the main sediment structures were calcium carbonate (calcite) and silica oxide. Moreover, According to the results, the average values of LSI and CCPP represented the scaling due to carbonate calcium nature of water. Water stability analysis indicated major roles of calcium and magnesium bicarbonate formation as temporary hardness and minor roles of magnesium sulfate and chloride as permanent hardness.

Conclusion: According to the results, to prevent water scaling in pipes it is recommended to use lime softening at pH=10 which not only removes temporary hardness but enhances silicate ions removal by co-precipitation with $Mg(OH)_2$ formed followed by filtration.

***Corresponding Author:**
m.jahangiri@iautmu.ac.ir

Please cite this article as: Jahangiri-rad M, Rafiee M. Factors affecting scale formation in water distribution networks of Semnan city and preventive measures. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(3):499-516.