مقاله
پژوهشی

پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شهر بجنورد

سعید متصدی زرندی[1]، علی پاسبان[2*]، علی عطاملکی[3]، مرتضی احمدآبادی[4]، عبیدالله یانق[2]، رضا قربانپور[5]، حمیده ترکانلو[2]

[1]دانشیار عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران
[2]عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی و دانشجوی دکتری بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران
[3]دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی بجنورد، ایران
[4]عضو هیأت علمی دانشکده پرستاری، دانشکده علوم پزشکی تربت جام، تربت جام، ایران
[5]کارشناس آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی بجنورد، ایران
[*]**نویسنده مسئول:** بجنورد، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، دانشکده بهداشت
پست الکترونیک: a.paseban@nkums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: *یکی از فاکتورهای مهم در بحث کنترل کیفیت آب پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آن است. رسوبگذاری در لوله‌ها می‌تواند باعث کاهش جریان آب در لوله‌ها و مصرف انرژی بیشتر برای انتقال آب شود. هدف از این مطالعه بررسی کیفیت آب شبکه آبرسانی بجنورد از نظر خورندگی و رسوب‌گذاری می باشد.*

مواد و روش‌کار: *این مطالعه توصیفی- مقطعی در زمستان ۹۰ و بهار ۹۱ انجام گرفت. تعداد نمونه‌های برداشت شده از شبکه آبرسانی ۳۰ مورد بود که عملیات نمونه برداری به صورت تصادفی انجام شد. به منظور تعیین اندیس‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس پارامترهای مختلف در نمونه‌های آب شبکه آبرسانی بجنورد، آزمایش شدند. کیفیت آب از نظر خورندگی و رسوب‌گذاری تعیین گردید.*

یافته ها: *از نظر شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس به ترتیب ۹۶/۷، ۴۰ و ۸۶/۷ درصد نمونه‌های آب در طول دوره بررسی رسوبگذار بوده‌اند. میانگین شاخص لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس در دو فصل زمستان ۹۰ و بهار ۹۱ اختلاف معنی‌داری دارند.*

نتیجه‌گیری: *با توجه به نتایج دست آمده، آب شبکه آبرسانی بجنورد نسبتاً رسوبگذار می‌باشد. رسوبگذار بودن آب می‌تواند منجر به کاهش سطح لوله‌ها، افت فشار و کاهش جریان در شبکه آب‌رسانی و زیان‌های اقتصادی شود. لذا پیشنهاد می‌شود به منظور پیشگیری از مشکلات مذکور، اقدامات کنترلی جهت پیشگیری از رسوبگذاری انجام پذیرد.*

واژه های کلیدی: *پتانسیل خورندگی، رسوب گذاری، اندیس‌های خوردگی، آب شرب، شهر بجنورد*

مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی سال ۹۳؛ دوره ۶ (۴):۹۲۴-۹۱۳
Journal of North Khorasan University 2014;6(4):913-924

وصول: ۹۳/۲/۱۳
اصلاح: ۹۳/۵/۱۳
پذیرش: ۹۳/۸/۵

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

مقدمه

خوردگی پدیده‌ای است که در اثر تماس مواد با محیط اطراف به وجود می‌آید. در حوزه مهندسی مواد این پدیده در دو شاخه مهم بررسی می‌شود که شامل خوردگی مواد حاصل از فرسایش و خوردگی الکتروشیمیایی است. نوع اول شامل تخریب مواد توسط عوامل فیزیکی نظیر برخورد مواد جامد معلق موجود در لوله‌های انتقال آب یا فاضلاب است. اما نوع دوم شامل ایجاد پیل الکتریکی و انجام واکنش‌های الکتروشیمیایی بین محیط اطراف و مواد موجود در آن است که با توجه به ماهیت فرایند در مواد فلزی نظیر لوله‌های فولادی مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع آب رخ می‌دهد [۱]. رسوبگذاری پدیده پیچیده ای است که باعث تجمع رسوبات نامطلوب روی سطح تجهیزات صنعتی می‌شود [۲]. رسوبگذاری شامل ترکیب یون‌های فلزی دوظرفیتی موجود در آب با عوامل سختی است. عمده‌ترین رسوبات تشکیل شده شامل کربنات کلسیم، هیدروکسید منیزیم، سولفات کلسیم و کلرید منیزیم است. در بعضی مواقع رسوب عوامل فوق الذکر به صورت کنترل نشده باعث انسداد لوله‌ها و افزایش هزینه‌های بهره برداری از تأسیسات آبرسانی می‌گردد [۳]. رسوبگذاری و خورندگی در آب‌های طبیعی و فرایندی می‌تواند سبب مشکلات عملکردی و هزینه‌ای جدی شود [۴]. بروز پدیده‌های خوردگی و رسوبگذاری، اقتصاد صنعت تصفیه و انتقال و توزیع آب را در برخی مواقع مختل می‌کند. خوردگی باعث ورود محصولات جانبی به داخل آب آشامیدنی و بروز مشکلات بهداشتی و کاهش عمر لوله‌ها و اتصالات می‌شود و می‌تواند سلامت عموم، کیفیت و هزینه تولید آب سالم را تحت تأثیر قرار دهد [۵]. رسوبگذاری نیز باعث کاهش دبی لوله‌ها، کاهش کارایی شیرها و اتصالات می‌گردد [۶،۵].

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 می‌باشد [۷]. خوردگی باعث انحلال و ورود میکروآلاینده‌هایی از قبیل مس، روی، آهن و منگنز به داخل آب می‌شود که باعث ایجاد ظاهری نامطلوب، مشکلات اقتصادی و همچنین بهداشتی می‌شود [۹،۸]. تجمع آلاینده‌های معدنی در جامدات سیستم توزیع آب شرب در صورتیکه آلاینده‌ها از رسوبات جدا شوند، می‌تواند باعث افزایش آلاینده‌ها در شیر آب مصرف کنندگان و پیامدهایی برای سلامتی آنان شود [۱۰]. جهت حل مشکل کمبود آب، تغییر متناوب منابع آب و انتقال آب از مسافت‌های دور در جهان، بکار گرفته می‌شود. به هم خوردن رسوبات خوردگی بوسیله تغییر ناگهانی کیفیت آب می‌تواند منجر به ایجاد رنگ، بو و طعم بد در آب شود که اغلب شکایات مصرف کنندگان را در پی دارد و بطور بالقوه سلامت انسان را تهدید می‌کند [۱۱]. خوردگی در لوله‌های شبکه‌های توزیع آب، نه تنها باعث تخریب مواد لوله می‌شود بلکه باعث کاهش کیفیت آب آشامیدنی به علت واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی که در سیستم توزیع آب اتفاق می‌افتد، می‌شود [۱۳،۱۲]. خوردگی لوله‌های فلزی انتقال آب آشامیدنی، یک مشکل جهانی است. سرعت حمله به فلز به فاکتورهایی بستگی دارد. مهم‌ترین این فاکتورها خصوصیات آب است آب‌های نمک زدایی شده به عنوان آب‌های خیلی خورنده شناخته می‌شوند [۱۴]. سیستم‌های توزیع آب در بیشتر کشورها دارای مقدار زیادی لوله‌های آهنی و استیل هستند که خوردگی، باعث اثرات اقتصادی، هیدرولیکی و زیباشناختی از قبیل نشت آب، افزایش هزینه‌های پمپاژ و افزایش محصولات خوردگی می‌شود [۱۳،۱۲]. عوامل مختلفی از جمله بافت زمین شناسی و نوع منبع آب، روی کیفیت شیمیایی آب و در نتیجه روی اندیس‌های خورندگی و رسوبگذاری آب تأثیر دارد [۲]. در مطالعه لی[1] و همکاران در سال ۲۰۱۰ مشخص شد که خوردگی و ایجاد آب قرمز تنها در محل‌هایی مشاهده می‌شود که آب آن‌ها از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شوند [۱۵].

شیان[2] و همکاران در سال ۲۰۱۰ در کشور هند با استفاده از شاخص‌های خورندگی و رسوبگذاری آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که آب‌های زیر زمینی مورد بررسی دارای کیفیت خورندگی بودند [۱۶]. ملکوتیان و همکاران در سال ۱۳۹۱ مطالعه

1- Li
2 -Shyam

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

ای با عنوان بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شرب شبکه توزیع شهر کرمان انجام دادند. نتایج حاصله نشان داد که آب شبکه توزیع کرمان رسوب گذار می‌باشد [۱۷].

طبق تحقیقات انجام یافته در دنیا، خوردگی شیمیایی مسئول بیش از ۶۰ درصد از خوردگی در لوله‌ها و تأسیسات آب رسانی می‌باشد و بقیه عمدتاً ناشی از عوامل بیولوژیک است [۱۸]. فرایند ایجاد و مشخصات خوردگی لوله‌های آب آشامیدنی، به مواد فلزی لوله‌ها، کیفیت آب در تماس و احتمالاً شرایط هیدرولیکی و غیره بستگی دارد. پارامترهای کیفی وابسته به خوردگی آب شامل pH، قلیائیت، درجه بافری بودن، اکسیژن محلول، مواد آلی طبیعی، میکروارگانیسم‌ها، درجه حرارت، بازدارنده‌ها در صورت کاربرد و غیره می‌باشند [۱۴، ۱۹-۲۲]. عموماً جلوگیری از خوردگی لوله‌ها از طریق کنترل ترکیب شیمیایی آب و با استفاده از ممانعت کننده‌ها صورت می‌گیرد. ممانعت کننده‌ها مواد شیمیایی هستند که هر گاه در غلظت‌های کم به یک محیط خورنده اضافه شوند، واکنش فلز با محیط را کاهش داده یا از آن پیشگیری می‌کنند [۲۴،۲۳]. همچنین به منظور جلوگیری از خوردگی لوله‌ها، جدار داخلی لوله با لایه‌های قیر، اپوکسی پوشانده می‌شوند. لایه ایجاد شده یک مانع فیزیکی بین فلز و آب ایجاد می‌کند [۱۴]. از عوارض اقتصادی ناشی از رسوب‌گذاری نیز می‌توان به کاهش میزان جریان آب در داخل لوله‌ها اشاره کرد که نتیجه آن افت فشار و افزایش انرژی لازم برای پمپاژ است. این عمل همچنین باعث کاهش رسانایی گرمایی شده که این عامل نیز خود باعث افزایش انرژی مصرفی می‌شود [۷]. برای جلوگیری از ایجاد رسوب نیز می‌توان از روش‌های تصفیه شیمیایی آب و کاربرد ممانعت‌کننده‌های رسوب که از سمیت کمی برخوردارند، بهره گرفت [۲۵]. آنچه که در سیستم انتقال و توزیع آب اهمیت دارد این است که خورندگی یا رسوبگذاری آب به کیفیت شیمیایی آن بستگی دارد و در صورتیکه آب از نظر کیفیت شیمیایی مناسب باشد، کمتر باعث خوردگی یا رسوبگذاری می‌شود.

بنابراین آب در شبکه توزیع باید متعادل باشد به این منظور از شاخص‌های پایداری آب از قبیل شاخص لانژلیه، شاخص رایزنر و شاخص پوکوریوس استفاده می‌شود. با توجه با اهمیت خوردگی و رسوبگذاری در آب، هدف از انجام این مطالعه تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب شبکه آب‌رسانی بجنورد می‌باشد.

روش کار

نوع مطالعه مورد استفاده در این تحقیق توصیفی- مقطعی می‌باشد که با هدف تعیین پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر بجنورد، با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس انجام گرفت. آب شرب بجنورد از چاه‌های موجود در محدوده شهر تأمین می‌گردد. تعداد نمونه‌های آب مورد نیاز جهت آزمایش بر اساس مطالعات قبلی ۳۰ نمونه بدست آمد. به منظور بررسی تأثیر احتمالی دمای محیط و سایر تغییرات فصلی بر وضعیت خورندگی یا رسوب‌گذاری، اندازه گیری متغیرها در دو نوبت (زمستان و بهار) و هر نوبت ۱۵ نمونه مورد بررسی قرار گرفت. کد نقاط نمونه برداری در شکل شماره ۱ مشاهده می‌گردد. با توجه به این که آب مناطق جنوبی شهر از دو مخزن اصلی واقع در جنوب شهر و آب مناطق شمالی شهر از یک مخزن در بخش شمال شهر تأمین می‌شود بنابراین نقاط انتخاب شده با توجه به منبع تأمین آب به دو منطقه تقسیم شدند که در شکل ۱ یک خط چین فرضی مرز آن‌ها را بطور تقریبی مشخص می‌کند. متغیرهای مورد آزمایش دما، pH، کل جامدات محلول، سختی کلسیمی و قلیائیت کل بود. برای انجام نمونه‌گیری، ۱۵ نقطه در سطح شهر بجنورد بطور تصادفی انتخاب و در دو نوبت (زمستان ۹۰ و بهار ۹۱) با تناوب ماهانه نمونه‌برداری شد. پارامترهای دما، pH و در محل نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه پرتابل (HACH ECO 40 MULTI) کالیبره شده، آزمایش شدند.

نمونه‌برداری با استفاده از ظروف شیشه‌ای یک لیتری انجام شد و متغیرهای قلیائیت کل، سختی کلسیمی، کلسیم و TDS در آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت بجنورد آزمایش گردید. آزمایش نمونه‌ها طبق کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گردید [۲۶]. جهت افزایش دقت و تکرارپذیری روش‌ها کلیه آزمایش‌ها بر اساس استانداردهای معتبر و در سه نوبت انجام گرفت.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

شکل ۱: کد نقاط نمونه برداری از شبکه توزیع آب بجنورد به تفکیک مناطق تحت پوشش مخازن آب

به منظور تعیین کیفیت آب از نظر پایداری، شاخص‌های مختلفی پیشنهاد شده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها، شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس می‌باشند. بر اساس شاخص لانژلیه اگر مقدار شاخص منفی باشد، آب خورنده تلقی می‌شود و مقادیر مثبت مبین خاصیت رسوبگذاری بوده و چنانچه برابر صفر باشد پایدار محسوب می‌شود. فرمول شاخص لانژلیه به شرح زیر است.

$$LSI = pH - pHs$$
$$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

در فرمول فوق A، B، C و D به ترتیب ضرایب مربوط به TDS بر حسب میلی گرم در لیتر، درجه حرارت بر حسب سانتی‌گراد، سختی کلسیم برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم و قلیائیت کل برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم می‌باشند. جهت محاسبه اندیس رایزنر از رابطه زیر استفاده می‌گردد.

$$RSI = 2pHs - pH$$

شاخص پایداری رایزنر (RSI) به عنوان مبنای سنجش ضخامت رسوب در سیستم‌های آب‌رسانی شهری، به منظور پیش‌بینی اثر شیمیایی آب استفاده می‌شود. اندیس پایداری رایزنر (RSI) در اثر مشاهدات تجربی سرعت خوردگی و تشکیل لایه در لوله‌های آهنی بدست آمد و تفسیر آن به صورت زیر می‌باشد. اگر مقدار شاخص محاسبه شده بزرگ‌تر از ۷ باشد آب خورنده و چنانچه کوچک‌تر از ۶ باشد آب رسوبگذار و در محدوده ۷-۶ پایدار تلقی می‌شود.

جهت محاسبه اندیس پوکوریوس از رابطه زیر استفاده گردیده است

$$PI = 2pHs - pHeq$$

PI = اندیس پوکوریوس

pHs=pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم

pHeq = pH آب در حالت تعادل

$$pHeq = 1.465 \log (T\text{-}ALK) + 4.54$$

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

T-ALK = کل قلیائیت بر حسب میلی‌گرم در لیتر

چنانچه مقدار اندیس پوکوریوس بزرگ‌تر از ۶ باشد نشاندهنده خورنده بودن آب و اگر این اندیس کوچک‌تر از ۶ باشد آب رسوبگذار است. نتایج حاصله با استفاده از نرم افزار SPSS 16 و به وسیله آزمونهای توصیفی و تحلیلی (میانگین، انحراف معیار، t زوجی و t مستقل و غیره) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

یافته ها

میانگین سختی کلسیمی در آب شبکه آب رسانی بجنورد در نوبت اول و دوم به ترتیب ۲۹۵/۵ و ۶۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب کربنات کلسیم می‌باشد. سختی کلسیمی در محدوده ۱۴۲ تا ۹۵۰ میلی گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم بود. میانگین قلیائیت در آب شبکه آب‌رسانی بجنورد در نوبت اول و دوم به ترتیب ۳۳۱ و ۳۳۵ میلی گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم بود. میانگین pH در آب شبکه آبرسانی بجنورد در نوبت اول و دوم به ترتیب ۷/۳۲ و ۷/۲۵ بوده که نشاندهنده حالت بازی بود و pH نمونه‌ها در محدوده ۶/۸ تا ۷/۸ بود. میانگین درجه حرارت آب شبکه آبرسانی در نوبت اول و دوم به ترتیب ۱۴ و ۲۳ درجه سانتی گراد بود. میانگین کل جامدات محلول (TDS) در آب شبکه آبرسانی در نوبت اول و دوم به ترتیب ۸۴۴ و ۹۶۳ میلی گرم بر لیتر بود. نتایج پارامترهای شیمیایی اندازه گیری شده در نمونه‌های آب شبکه توزیع شهر بجنورد و استانداردهای آن‌ها، در جدول ۱ ارائه شده است.

توزیع فراوانی شاخص‌های خورندگی و رسوبگذاری آب شبکه توزیع بجنورد در جدول شماره ۲ ارائه شده است. بر اساس شاخص لانژلیه، ۱ نمونه (۳/۳ درصد) خورنده و بقیه نمونه‌ها ۲۹ نمونه (۹۶/۷ درصد) در دوره بررسی رسوب‌گذار بودند و شاخص لانژلیه در تمام نمونه‌ها بالاتر از صفر می‌باشد. بر اساس شاخص رایزنر تنها در یک مورد (۳/۳ درصد) نمونه‌ها خورنده بوده و بقیه نمونه‌ها در دوره بررسی متعادل یا رسوب‌گذار بوند. بر اساس شاخص پوکوریوس نیز تنها ۴ مورد (۲۶/۶ درصد) خورنده و بقیه نمونه‌ها در دوره بررسی رسوبگذار بودند.

جدول ۱: نتایج پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده در آب بجنورد در دوره مطالعه

دوره	پارامتر اندازه گیری شده	واحد	کمترین	بیشترین	میانگین±انحراف معیار	استاندارد ایران	استاندارد EPA
دوره اول (زمستان)	کلسیم	$[CaCO_3]$ (mg/L)	۵۷	۱۴۶	۱۱۸±۲۸	۳۰۰	–
	سختی کلسیمی	$[CaCO_3]$ (mg/L)	۱۴۲	۳۶۴	**۲۹۵/۵**±۶۹/۵	–	–
	قلیائیت کل	$[CaCO_3]$ (mg/L)	۱۷۹	۴۱۰	**۳۳۱**±۵۷	–	–
	pH	pH	۷/۱۰	۷/۸۰	۷/۳۲±۰/۰۲	۶/۵- ۸/۵	۶/۵- ۸/۵
	درجه حرارت	(^oC)	۱۱	۱۶	۱۴±۱/۵	–	–
	جامدات محلول	(mg/L)	۵۰۷	۱۱۳۰	۸۸۴±۱۸۷	۵۰۰-۱۵۰۰	۵۰۰
دوره دوم (بهار)	کلسیم	$[CaCO_3]$ (mg/L)	۱۲۰	۳۸۰	۲۵۲±۶۷	۳۰۰	–
	سختی کلسیمی	$[CaCO_3]$ (mg/L)	۳۰۰	۹۵۰	۶۳۰±۱۶۸	–	–
	قلیائیت کل	$[CaCO_3]$ (mg/L)	۲۱۲	۴۳۵	۳۳۵±۵۹	–	–
	pH	pH	۶/۸	۷/۷	۷/۲۵±۰/۰۲	۶/۵- ۸/۵	۶/۵- ۸/۵
	درجه حرارت	(^oC)	۲۰	۲۶/۶	۲۳±۱/۹	–	–
	جامدات محلول	(mg/L)	۴۶۸	۱۴۲۲	۹۶۳±۳۲۴	۵۰۰-۱۵۰۰	۵۰۰

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

جدول ۲: توزیع فراوانی شاخص‌های خورندگی و رسوبگذاری آب شبکه آبرسانی بجنورد

دوره	شاخص لانژلیه			شاخص رایزنار		شاخص پوکوریوس	
	کمتر از صفر (خورنده) تعداد (درصد)	بیش از صفر (رسوبگذار) تعداد (درصد)	بیش از ۷ (خورنده) تعداد (درصد)	(۶-۷) (متعادل) تعداد (درصد)	کمتر از ۶ (رسوبگذار) تعداد (درصد)	بیشتر از ۶ (خورنده) تعداد (درصد)	کمتر از ۶ (رسوبگذار) تعداد (درصد)
زمستان	۰	(۱۰۰)۱۵	(۶/۶)۱	(۹۳/۳)۱۴	۰	(۲۶/۶)۴	(۷۳/۳)۱۱
بهار	(۶/۷)۱	(۹۳/۳)۱۴	۰	(۲۰)۳	(۸۰)۱۲	۰	(۱۰۰)۱۵
طول دوره	(۳/۳)۱	(۹۶/۷)۲۹	(۳/۳)۱	(۵۶/۷)۱۷	(۴۰)۱۲	(۲۶/۶)۴	(۸۶/۶)۲۶

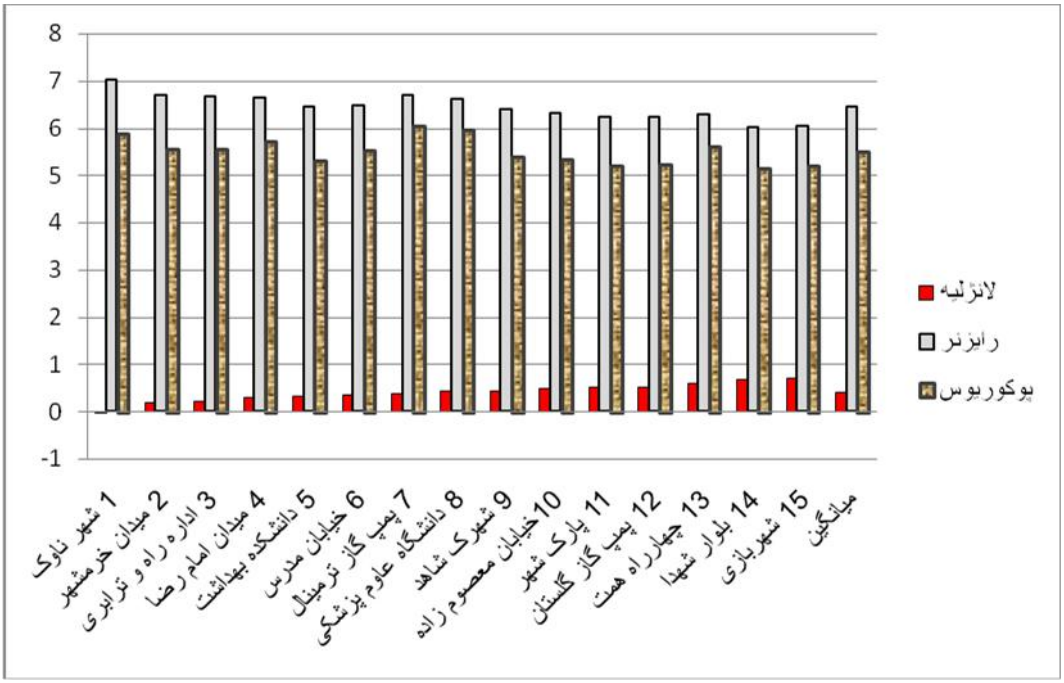
جدول ۳: توصیف شاخص‌های خورندگی و رسوبگذاری محاسبه شده برای نمونه‌های شبکه آبرسانی بجنورد

دوره	شاخص لانژلیه				شاخص رایزنار				شاخص پوکوریوس			
	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار
زمستان	۰/۰۲	۰/۴۳	۰/۱۷	۰/۱۲	۶/۵۷	۷/۶	۶/۹۹	۰/۲۵	۵/۶۳	۷/۵۶	۶/۰۹	۰/۵۲
بهار	-۰/۱	۱	۰/۶۷	۰/۳۰	۵/۳۰	۷	۵/۹۲	۰/۴۷	۴/۲۷	۶	۴/۹۴	۰/۴۹
طول دوره	۰/۰۲	۱	۰/۴۲	۰/۳۴	۴/۹۸	۷/۱۸	۶/۴۵	۰/۶۵	۴/۲۷	۷/۵۶	۵/۵۵	۰/۷۶

جدول ۴: میانگین شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس در مرحله اول و دوم و کل دوره و تفسیر آن‌ها

دوره	pHs	شاخص لانژلیه	تفسیر	شاخص رایزنار	تفسیر	شاخص پوکریوس	تفسیر
دوره اول (زمستان)	۷/۱۵	۰/۱۷	رسوبگذار	۶/۹۹	پایدار	۶/۰۹	خورنده
دوره دوم (بهار)	۶/۵۹	۰/۶۷	رسوبگذار	۵/۹۲	رسوبگذار	۴/۹۴	رسوبگذار
طول دوره	۶/۸۷	۰/۴۲	رسوبگذار	۶/۴۵	پایدار	۵/۵۲	رسوبگذار

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]



نمودار ۱: شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس آب در شبکه آبرسانی شهر بجنورد در طول دوره بررسی

توصیف شاخص‌های خورندگی و رسوبگذاری محاسبه شده برای نمونه‌های شبکه توزیع بجنورد در جدول شماره ۳ ارائه شده است. میانگین اندیس لانژلیه در طول دوره برابر ۰/۴۲ بوده، حداقل آن (تمایل به خورندگی) ۰/۱- و حداکثر آن (تمایل به رسوبگذاری) ۱ می‌باشد. میانگین اندیس رایزنر محاسبه شده در طول دوره بررسی ۶/۴۵ می‌باشد. حداقل اندیس رایزنر (تمایل به رسوبگذاری) ۵/۳۰ و حداکثر آن (تمایل به خورندگی) ۷/۶ بوده است. میانگین اندیس پوکوریوس محاسبه شده در طول دوره بررسی ۵/۵۵ می‌باشد. حداقل اندیس پوکوریوس (تمایل به رسوبگذاری) ۴/۲۷ و حداکثر آن (تمایل به خورندگی) ۷/۵۶ بوده است. در مجموع بررسی شاخص‌های مختلف نشان می‌دهد که میزان هر سه شاخص در فصل بهار نسبت به فصل زمستان به سمت رسوبگذاری میل داشته است.

جدول شماره ۴ میانگین شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس در مرحله اول و دوم و کل دوره و تفسیر آن‌ها را نشان می‌دهد. میانگین شاخص لانژلیه در زمستان و بهار به ترتیب ۰/۱۷ (رسوبگذار) و ۰/۶۷ (رسوبگذار) می‌باشد. میانگین شاخص رایزنر در زمستان و بهار به ترتیب ۶/۹۹ (پایدار) و ۵/۹۲ (رسوبگذار) بوده و میانگین شاخص پوکوریوس در زمستان و بهار به ترتیب ۶/۰۹ (خورنده) و ۴/۹۴ (رسوبگذار) می‌باشد. هر سه شاخص وضعیت آب را در دوره دوم (بهار) رسوبگذار نشان می‌دهند.

آزمون‌های آماری t زوجی بر روی شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس بین دوره اول (زمستان) با دوره دوم (بهار) اختلاف معنی‌داری (P=۰/۰۵) نشان دادند. آزمون‌های آماری t مستقل بر روی میانگین مقادیر شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس در دمای آب کمتر

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

از ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای آب بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌دار (P< ۰/۰۵) نشان داد. آزمون‌های آماری t مستقل بر روی شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس نمونه‌های آب تحت پوشش مخزن جنوبی شهر با نمونه‌های آب تحت پوشش مخزن شمالی شهر اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) نشان دادند. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بین میانگین شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس و درجه حرارت آب رابطه معنی‌دار وجود دارد. همچنین بین مقادیر سختی کلسیمی و شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس رابطه معنی‌دار وجود دارد (P<۰/۰۵). در نمودار ۱ میانگین اندیس‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس در ایستگاه‌های مختلف شهر بجنورد در طول دوره بررسی نشان داده شده است. طبق شاخص‌های سه گانه در ایستگاه شماره ۱ (شهر ناوک) آب نسبتاً خورنده بوده و در سایر ایستگاه‌ها نسبتاً رسوبگذار است.

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد در طول دوره بررسی بر اساس شاخص لانژلیه ۹۶/۷ درصد، بر اساس شاخص رایزنر ۴۰ درصد و بر اساس شاخص پوکوریوس ۸۶/۷ درصد نمونه‌های آب رسوب‌گذار می‌باشند (جدول ۲). شاخص‌های فوق نشان می‌دهند که آب مورد بررسی نسبتاً رسوب‌گذار است. آب مورد بررسی در مطالعه حاضر از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود و دارای سختی کلسیمی و قلیائیت بالا می‌باشند که این عوامل باعث می‌شوند که آب خاصیت رسوبگذاری داشته باشد. مطالعات انجام شده توسط ملیدیس در سال ۲۰۰۷ تحت عنوان خورندگی و رسوبگذاری با استفاده از روش‌های غیر مستقیم و دهقانی در سال ۱۳۸۹ تحت عنوان پتانسیل خورندگی و رسوبگذاری آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر شیراز و قانعیان در سال ۱۳۸۷ با عنوان کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی و بهداشتی مورد استفاده در شبکه‌های دوگانه خرانق و مظلومی و همکاران در سال ۱۳۸۷ بر روی آب شرب شیراز و قبادی نیا و همکاران در سال ۲۰۱۰ با عنوان پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم در بستر زهکش‌های کشاورزی نشان داد که آب موجود در این شبکه‌ها دارای خاصیت رسوبگذاری بودند که از این نظر مشابه آب شرب شهر بجنورد هستند [۲۷-۳۱].در مطالعه ای که توسط ملیدیس در سال ۲۰۰۷ انجام گرفت، نشان داد که با توجه به میانگین سختی کل (۱۰۳ میلی گرم بر حسب کربنات کلسیم) و قلیائیت نسبتاً بالا، در لوله‌های فلزی یک لایه کربنات کلسیم محافظت کننده یا یک لایه کربنات کلسیم/آهن روی لوله‌ها می‌تواند تشکیل شود. کلسیم همچنین به تثبیت سیلیکات کلسیم در لوله‌های آزبست سیمانی کمک می‌کند [۲۸]. میانگین غلظت سختی و کلسیم در آب بجنورد در مقایسه با میانگین آن‌ها در مطالعه مذکور بالاتر بوده و بنابراین شرایط تشکیل لایه محافظ در لوله‌های شبکه آبرسانی بجنورد هم امکان پذیر می‌باشد.

نتایج حاصله از مطالعه حاضر مغایر با نتایج حاصل از مطالعه انجام شده توسط جعفرزاده و همکاران در سال ۱۳۸۸ و پیری علم و همکاران در سال ۱۳۸۷ است که نشان دادند آب مورد مطالعه دارای خاصیت خورندگی بوده است [۳۳،۳۲].

مقایسه نتایج پارامترهای کیفی آب با استانداردها نشان می‌دهد که میانگین غلظت پارامترهای مختلف از قبیل کلسیم، pH و کل جامدات محلول (TDS) در طول دوره بررسی در محدوده استاندارد ملی ایران می‌باشند اما بعضی از پارامترها از قبیل کل جامدات محلول از حد استاندارد EPA تجاوز کرده است [۳۵،۳۴]. گرچه تک تک پارامترهای فوق در محدوده مقادیر مجاز استاندارد ملی ایران می‌باشند، اما مقدار شاخص‌های خورندگی و رسوبگذاری حاصله ممکن است در محدوده مناسب نباشند. نکته قابل توجه این است که در دوره دوم (بهار) نسبت به دوره اول (زمستان) پارامترهای درجه حرارت و سختی کلسیمی افزایش داشته‌اند که نتیجه این افزایش، باعث تغییر هر سه شاخص به سمت رسوبگذاری بوده است.طبق نتایج این مطالعه، مقایسه میانگین‌های شاخص اشباع لانژلیه (LSI)، پایداری رایزنر (RSI) و پایداری پوکوریوس (PI) در نقاط تحت پوشش مخازن جنوب شهر با نقاط تحت پوشش مخزن آهکی در شمال شهر اختلاف معنی‌داری (P< ۰/۰۵) نشان دادند. یعنی آب حاصل از چاههای قسمت شمالی شهر، نسبت به آب حاصل از چاههای قسمت جنوبی شهر، با توجه به بافت زمین

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

شناسی، از پتانسیل رسوبگذاری بیشتری برخوردار هستند. یکی از عواملی که باعث اختلاف در پتانسیل رسوبگذاری آب در مناطق مورد بررسی می‌شود نوع و بافت زمین شناسی منابع آب است. در مطالعه لونتال در سال ۲۰۰۳ با عنوان کنترل خورندگی در آب‌های آشامیدنی نتایج مشابهی بدست آمده است و مشخص شد که عوامل مختلفی از جمله بافت زمین شناسی و نوع منبع آب، روی کیفیت شیمیایی آب و در نتیجه روی اندیس‌های خورندگی و رسوبگذاری آب تأثیر دارند [۲]. مقایسه میانگین‌های شاخص اشباع لانژلیه (LSI)، پایداری رایزنر (RSI) و پایداری پوکوریوس (PI) در دو نوبت زمستان و بهار با استفاده از آزمون t زوجی نشان می‌دهد که اختلاف میانگین هر یک از شاخص‌ها در در دو نوبت زمستان و بهار معنی‌دار می‌باشد. یکی از دلایل این اختلاف، تغییر دما در طول دو فصل می‌تواند باشد. قابل توجه است که در مرحله دوم (بهار)، نسبت به مرحله اول (زمستان) شاخص لانژلیه افزایش یافته و شاخص رایزنر و شاخص پوکوریوس کاهش یافته است، این بدین معنی است که با گرم‌تر شدن هوا هر سه شاخص به سمت رسوبگذاری میل داشته است و مقدار شاخص‌های فوق با فصل ارتباط داشته است. ولک در سال ۲۰۰۰ در یک مطالعه نشان داد میزان خوردگی بطور شدیدی با فصل و دمای آب ارتباط داشت. این مسئله باعث می‌شود که غلظت‌های بازدارنده‌ها در طول ماه‌های تابستان به مقدار بیشتری و در طول ماه‌های زمستان به مقدار کمتری مورد نیاز باشد [۳۶]. که نتایج آن با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. درجه حرارت خود از مهم‌ترین عوامل مؤثر است که با تأثیر بر pH آب، باعث تأثیر بر خورندگی و رسوب‌گذاری می‌شود [۳۷].با توجه به جدول ۲ بر اساس شاخص‌های مختلف مشاهده می‌گردد که فراوانی اندیس‌های رسوبگذاری در فصل بهار نسبت به فراوانی این اندیس‌ها در فصل زمستان بیشتر می‌باشد. با توجه به تأثیر میزان سختی کلسیم، قلیائیت کل و کل جامدات محلول آب بر میزان pHs و در نتیجه بر پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آب، بنابراین پتانسیل خورندگی و رسوبگذاری آب از مهم‌ترین مشخصه‌هایی است که در شبکه‌های آب حداقل به صورت سالانه باید مورد پایش قرار گیرد [۷]. و مخصوصاً در فصول گرم سال به منظور پیشگیری از مشکلات رسوب‌گذاری، اقدامات کنترلی از جمله پایدارسازی آب در هنگام تصفیه جهت پیشگیری از رسوب‌گذاری انجام پذیرد. معمولاً به منظور بدست آوردن وضعیت آب از نظر خورندگی و رسوبگذاری بهتر است آزمایش نمونه‌ها در طول چهار فصل مختف انجام گیرد، اما به دلیل محدودیت زمانی دو فصل انجام گرفت که تا حدودی بتواند تغیرات ناشی از فصل را پوشش دهد.بررسی شاخص‌های مختلف در تک تک ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که به جز در ایستگاه شهرک ناوک شاخص‌های سه گانه تمایل به خورندگی نسبی را نشان می‌دهند و در سایر ایستگاه‌های شاخص‌های سه گانه با مقداری اختلاف رسوبگذار بودن آب را نشان می‌دهند (نمودار ۱). دلیل آن می‌تواند کیفیت متفاوت آب ورودی به شبکه توزیع می‌باشد. که ممکن است گاهی اوقات آب بعضی از چاه‌ها بطور مستقیم به شبکه توزیع تزریق شوند.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج دست آمده برای اندیس‌های مختلف، آب شبکه آب رسانی بجنورد نسبتاً رسوب‌گذار می‌باشد. این امر باعث رسوبگذاری در سیستم‌های شبکه توزیع آب و سایر تأسیسات می‌گردد. رسوب‌گذار بودن آب می‌تواند منجر کاهش سطح لوله‌ها، افت فشار و کاهش جریان در شبکه آب‌رسانی و زیان‌های اقتصادی شود. بدیهی است پایدار سازی آب و تثبیت ویژگیهای کیفی آب قبل از ورود آب به شبکه‌های توزیع عامل مهمی در کنترل و پیشگیری از خورندگی و رسوبگذاری بوده که باید به نحو مناسبی در سیستم‌های تأمین آب انجام شود. در ضمن با توجه تغییر منابع آب و استفاده از منابع آب سطحی (سد شیرین دره) پیشنهاد می‌شود که شاخص‌های پایداری منابع آب جدید، مجدداً تعیین و اقدامات کنترلی مناسب در این رابطه به عمل آید.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با کد ۹۲/پ/۶۴۲ می‌باشد، نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی به جهت حمایت مالی تشکر و سپاسگزاری نمایند.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

References

1. Crittenden JC, Trusell R, Hand D, Howe K, GTchobanoglous, Water Treatment Preancipals and Design, New York: John Wiley and Sons; 2005.
2. Loewenthal RE, Morrison I, Wentzel MC, Control of corrosion and aggression in drinking water, The 1est IWA Conference on: Scaling and corrosion in water and wastewater systems Cranfield university, 2003.
3. Geldriech E, Microbial quality of water supply in distribution systems, Florida: CRC Press; 1996.
4. Al-Rawajfeh AE, Glade H, Ulrich J, Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO2, Desalination, 2005;182:209-19.
5. Viessman W, Hammer M, Water Supply and Pollution Control. ed t, editor, New York: Prentice Hall Press; 2008.
6. Lauer W, Introduction to Water Treatment: Principles and Practices of Water Supply Operations, AWWA Press; 2003.
7. Ghanizadeh G, Ghaneian MT, Corrosion and Precipitation Potentials in Military Centers, Military Medicine, 2008;11(3):155-60. [Persian]
8. Shahmansoori M, Pourmoghadas H, Shams G, Survey of Micro Pollutant of Pipes Corrosion in the Water Distribution System, Journal of Research in Medical Sciences 2003. [Persian]
9. Alvarez-Bastida C, Martínez-Miranda V, Vázquez-Mejía G, Solache-Ríos M, Fonseca-Montes de Oca G, Trujillo-Flores E, The corrosive nature of manganese in drinking water, Science of The Total Environment, 2013;447(0):10-6.
10. Lytle DA, Sorg TJ, Muhlen C, Wang L, Particulate arsenic release in a drinking water distribution system, Jurnal of the american water works association, 2010;102 (3):87-98.
11. Imran SA, Optimizing source water blend for corrosion and residual control in distribution systems, Am Water Work Assoc. 2006;98 (5):101-5.
12. Veschetti E, Achene L, Ferretti E, Citti G, Ottaviani M, Migration of trace metals in Italian drinking waters from distribution networks, Toxicol Environ Chem, 2010;92 (3):521-35.
13. Świetlik J, Raczyk-Stanisławiak U, Piszora P, Nawrocki J, Corrosion in drinking water pipes: The importance of green rusts, Water Research, 2012;46(1):1-10.
14. Shams El Din AM, Three strategies for combating the corrosion of steel pipes carrying desalinated potable water, Desalination, 2009;238(1–3):166-73.
15. Li D, Li Z, Yu JW, N. C, Liu RY, Yang M, Characterization of bactrial community structure in a DWDS during an occurence of red water, Appl Environ Microbiol, 2010;76 (21)(7171-7180).
16. Shyam R, Kalwania G, Corrosivness and scaling potentioal of ground water from Sikar city, Rajasthan, Journal of Natura Conscientia, 2010;1(3):223-39.
17. Malakootian M, Fatehizadeh A, E M, Investigation of Corrosion Potential and Precipitation Tendency of Drinking Water in the Kerman Distribution System, Toloo e Behdasht, 2011;11(3). [Persian]
18. Pierre RR, Corrosion Basics: An Introduction, 2nd ed: NACE Press Book; 2006.
19. Sarin P, Snoeyink VL, Bebee J, Kriven WM, Clement JA, Physico-chemical characteristics of corrosion scales in old iron pipes, Water Research, 2001;35(12):2961-9.
20. Sarin P, Snoeyink VL, Bebee J, Jim KK, Beckett MA, Kriven WM, “et al”,Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen, Water Research, 2004a;38(5):1259-69.
21. Sarin P, Snoeyink VL, Lytle DA, Kriven WM, Iron corrosion scales: model for scale growth, iron release and colored water formation, Journal of Environmental Engineering, 2004b;130(4):364e73.
22. Gerke TL, Maynard JB, Schock MR, Lytle DL, Physiochemical characterization of five iron tubercles from a single drinking water distribution system: Possible new insights on their formation and growth, Corrosion Science, 2008;50(7):2030–9.
23. Pakshir M, Moalem A, Nazarboland A, Abbasi S, Limitations of Precipitation and Corrosivity Indices in the Cooling Water Systems, Water and Wastewater, 2003;51:60-5. [Persian]
24. HDR Engineering Inc. Handbook of Public Water System, Edition n, editor: John Wiley and Sons; 2001.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

25.Pishnamazi SA, The role of water and Corrosion Control in Industry, Isfahan: Arkan; 2002,[Persian]
26.APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. Washington DC2005.
27.Mazloomi S, Babaie AA, dav MF, Abouee E, nejad AB, soug KH, Corrosion and Scaling Potentiality of Shiraz Drinking Water, Journal of Health School Yazd, 2007;23-24:64-72. [Persian]
28.Melidis P, Sanozidou M, Mandusa A, Ouzounis K, Corrosion control by using indirect methods, Desalination, 2007;213(1–3):152-8.
29.Ghaneian M, Ehrampoush M, G G, "et al", Survey of Corrosion and Precipitation Potential in Dual Water Distribution System in Kharanagh District of Yazd Province, Toloo e Behdasht 2008;7(3,4):65-73. [Persian]
30.Dehghani M, Tex F, Zamanian Z, Assessment of the potential of scale formation and corrosivity of tap water resources and the network distribution system in Shiraz, South Iran, Pakistan Journal of Biological Sciences, 2010;13(2):88-92.
31.Ghobadi Nia M, Rahimi H, Sohrabi T, Naseri A, Tofighi H, Potential risk of calcium carbonate precipitation in agricultural drain envelopes in arid and semi-arid areas, Agricultural Water Management, 2010;97(10):1602-8.
32.Perielm R, Shams G, Shamansoori MR, Farzadkia M, Corrosion and Precipitation Potential in Drinking Water Distribution System in Khoramabad with Corrosive Indexes, Journal of Yafteh, 2008;10(3):79-68. [Persian]
33.Jaafarzadeh NA, Savari J, AH H, Shams Khorramabadi G, Evaluation of corrosion probability in Ahwaz water distribution networks with lead and copper law, Journal of Environmental Sciences and Technology, 2009;11(4):65-74. [Persian]
34.Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Drinking water physical and chemical specificans 5th. Revision 2005. [Persian]
35.Office of Water U. S. Environmental Protection Agency, Drinking water standards and health advisories, Washington: EPA; 2013.
36.Volk C, Dundore E, Schiermann J, LeChevallier M, Practical evaluation of iron corrosion control in a drinking water distribution system, Water Research, 2000;34(6):1967-74.
37.AWWA, Water quality and treatment: A handbook of community water supplies, 4th, editor, Washington DC: Mc Graw-Hill; 1990.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]

Orginal Article

Corrosion and Scaling Potential of Bojnurd drinking

Motesaddi Zarandi S[1], Paseban A[2], Atamaleki A[3], Ahmadabadi M[4], Yanegh OA[2], Ghorbanpoor R[5], Torkanloo H[2]*

[1]Associated Professor, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran,Iiran
[2]Ph.D Student, Faculty Member, School of Health, North khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran
[3] B.Sc Student, School of Health, North khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran
[4]M.Sc Environmental Health Engineering, Torbat jam College Medical Sciences, Torbat jam, Iran
[5]B.Sc, School of Health, North khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran
[*]**Corresponding author:** School of Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran
E.mail: a.paseban@nkums.ac.ir

Journal of North Khorasan University 2014;6(4):913-924

Abstract

Background & Objectives: *one of the important factors in water quality control is corrosion and scale-forming potential. Scaling in pipes can cause sedimentation and reduction of water flow in pipes. As a result, more energy is required for water conveying. The aim of this study was evaluation of chemical quality about corrosiveness and scaling of drinking water in Bojnurd water distribution network.*

Methods and materials: *this cross-sectional study was conducted in winter of 2012 and spring 2012. 30 samples were picked randomly from public water network taps. In order to determine the saturation indices, all samples were analyzed for various parameters. Three indices including Langelier saturation index (LSI), Ryznar saturation index (RSI) and Puckorius index (PI) were determined.*

Result and discussion: *according to Langelier, Ryznar and Puckorius indices 93.3, 40 and 86.7 percent of samples were scale forming respectively. The results of this study showed that there is significant different between average Ryznar, Langelier and Puckorius in first and average Langelier, Ryznar and Puckorius in second step.*

Conclusion: *based on obtained results, water of distribution network in Bojnourd is relative According to our results, water of distribution network in Bojnurd is relative scaling. Water scale-forming can cause reduction the pipe diameter, reduction flow rate, and economical damages. It is recommended to prevent these problems, take control measures to prevent sedimentation.*

Keywords: *Corrosion potential, scaling, corrosion indices, drinking water, Bojnurd*

Recivied:3 May 2014
Revised:4 Aug 2014
Accepted: 27 Oct 2014

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-07-08]