



## بررسی وضعیت خورندگی و رسوب گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی در بهار ۹۳

دکتر مهدی فرزادکیا: دکتری مهندسی بهداشت محیط، استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران. [farzadkia.m@iums.ac.ir](mailto:farzadkia.m@iums.ac.ir)

\* اسرافیل عسگری: دانشجوی دکتری تخصصی بهداشت محیط، مربی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایران، مجتمع آموزش عالی سلامت خوی، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، خوی، ایران. [sasgary@gmail.com](mailto:sasgary@gmail.com) (\* نویسنده مسئول)

### چکیده

زمینه وهدف: امروزه یکی از عمده ترین مشکلات بهره برداری از تاسیسات آب خورندگی و رسوب گذاری می باشد که یک واکنش فیزیکی و شیمیایی است و بین یک فلز و محیط اطراف آن انجام می گیرد و به تغییر خواص آن ماده منجر می شود. در این تحقیق شاخص خورندگی و رسوب گذاری منابع تامین آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی به دست آورده شده است. روش کار: این مطالعه توصیفی- مقطعی است که ابتدا منابع تامین آب شهر شناسایی شده و سپس نمونه برداری از پارامترهای شیمیایی صورت گرفت. که پارامترهای مورد نظر مطابق با کتاب استاندارد متد و آزمون های آب و فاضلاب مورد آزمایش قرار گرفتند و شاخص های خوردگی لانژلیه، رایزنر، خوردگی و پوکوریوس با استفاده از روابط و نمودارهای مربوطه محاسبه شدند. یافته ها: نتایج نشان دهنده این است که مطابق با اندیس های خورندگی، شامل اندیس لانژلیه (۰/۴-)، رایزنر (۷/۵۹)، خوردگی (۱۱/۵۹) و پوکوریوس (۶/۴۴)، آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی در شرایط خورندگی متوسط قرار دارد. نتیجه گیری: بررسی اندیس های خوردگی نشان داد که آب شرب شهرستان ملکشاهی خورنده است. همچنین مقایسه پارامترهای کیفی آب در شهرستان ملکشاهی بیانگر آن است که غلظت پارامترهای اندازه گیری شده بجز قلیائیت همه در حد استاندارد ایران و EPA می باشد.

واژگان کلیدی: خوردگی، رسوب گذاری، شبکه توزیع آب، شهر ملکشاهی

## مقدمه

یکی از شاخصهای کیفی آب که تأثیر بسزایی در حفظ بهداشت و کیفیت آب داشته و موجب افزایش طول عمر مفید تأسیسات و تجهیزات لوله کشی می گردد، پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری است. خوردگی یک واکنش فیزیکی، شیمیایی است که بین یک ماده و محیط اطراف آن انجام می گیرد که نتیجه آن تغییر در خواص فلز بوده و این مطلب منجر به لطمه زدن به وظیفه فلز، محیط زیست و یا سیستم های فنی که اینها در آن شرکت دارند، می گردد (۱). خوردگی یک مشکل بسیار پیچیده می باشد که تحت تأثیر فاکتورهای متعدد فیزیکی، شیمیایی، الکتریکی و دی اکسید کربن بالا، عدم وجود سختی و قلیائیت موقت، درجه حرارت و pH می باشد. امروزه خوردگی و خسارت ناشی از آن به عنوان یک واقعیت اجتناب ناپذیر است و همه ساله کنترل خوردگی در صنعت آب هزینه قابل توجهی را به خود اختصاص می دهد. خوردگی می تواند سبب کاهش طول عمر لوله ها و تخریب کلیه قسمت های توزیع آب یعنی خطوط انتقال، دستگاه های پمپاژ، خطوط اصلی شبکه توزیع و لوله کشی منازل، مسدود شدن لوله ها، عیوب نابهنگام در لوله ها و سوراخ شدن لوله می شود که در این حالت آب زیادی از لوله ها نشت میکند و میزان آب از دست رفته بسیار قابل توجه خواهد بود. همچنین خوردگی سبب افزایش زبری در لوله ها و رسوبگذاری سبب گرفتگی لوله ها می شود و جریان آب را در لوله ها محدود می کند و باعث بالا رفتن هزینه پمپاژ می شود (۲). از آنجا که هر ساله میلیون ها دلار جهت تعویض لوله ها، شیرفلکه، مخازن و کنتور و اتصالات و غیره که توسط فرایند خوردگی آسیب دیده اند صرف می گردد. بنابراین سنجش خوردگی یا رسوبگذاری بدون آن و حفاظت در مقابل خوردگی از مهمترین مسائل طراحی برای مهندسان طراحی محسوب می شود (۳). رنگ آمیزی، پوشش مناسب تأسیسات انتقال و توزیع آب،

حفاظت کاتدی برای سازه های فلزی و تغذیه پیوسته در لوله های انتقال و توزیع آب از مهمترین کارهای کارکنان در راهبری تصفیه خانه های آب به شمار می رود (۴). از جمله مشکلات بهداشتی خوردگی محصولات جانبی خوردگی ناشی از حل شدن فلزات در شبکه های توزیع و لوله کشی منازل است. از جمله این فلزات، سرب، کادمیوم، آهن، روی، مس و منگنز است. سرب و کادمیوم از عناصر سمی محسوب می شوند، آهن، روی، مس و منگنز باعث مشکلات زیبایی شناسی می شوند و پدید آورنده مسائلی چون بو، مزه، رنگ و ایجاد لکه روی سرویس های بهداشتی هستند (۵). زبان های اقتصادی ناشی از خوردگی سیستم های آب آشامیدنی بسیار هنگفت و قابل توجه است (۵). تمایل آب به خوردگی و رسوب گذاری با بررسی پایداری آب مشخص می شود. آب پایدار تمایل به خوردگی و رسوب گذاری کمی دارد و مقادیر آن برای نوع استفاده متفاوت است (۶). کاربرد شاخص های خوردگی روشی غیرمستقیم در اندازه گیری و تشخیص ساده تمایل آب به خوردگی و رسوب گذاری می باشد. شاخص های متداول عبارتند از: شاخص های اشباع لانژلیه (Langelier Saturation Index)، شاخص پایداری رایزنار (Ryznar Stability Index)، شاخص خوردگی (Index Aggressive) و شاخص پوکوریوس (Index Puckorius) و شاخص (۷). طبق معیارهای جهانی شاخص های کنترل خوردگی و رسوب گذاری حداقل باید هر دو سال یکبار برای شبکه های توزیع با منبع سطحی و سالی یکبار برای شبکه های توزیع با منبع زیرزمینی تعیین شود (۸). این تحقیق با توجه به عدم انجام مطالعه در شهرستان ملکشاهی ایلام با هدف شناخت وضعیت کیفی و تعیین خوردگی یا رسوب گذاری آب آشامیدنی شهر و ارائه راه کارهای اصلاحی جهت حل مشکلات احتمالی انجام پذیرفت.

## روش کار

(۹ و ۱۰). کل جامدات محلول با روش وزن سنجی، اجزاء سختی و قلیائیت آب با روش تیتراسیون بر اساس دستورالعمل های C-۲۵۴۰، B-۲۳۲۰ و C-۲۳۴۰ 2343 کتاب استاندارد متد اندازه گیری شدند. درجه حرارت و pH با استفاده از pH متر مجهز به دماسنج در محل (Hach) و آنیون ها و کاتیون ها با اسپکتروفتومتر (DR5000) تعیین مقدار گردید. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش های شیمیایی آب محصول شرکت مرک آلمان بود.

در این تحقیق برای تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر ملکشاهی از شاخص های اشباع لائزلیه، شاخص پایداری رایزنار، شاخص خوردگی و شاخص پوکوریوس استفاده شد. نحوه محاسبه این شاخص ها و تفسیر آن ها در زیر آورده شده است.

آنالیز مشخصات آب کمک گرفت. لائزلیه پیشنهاد کرد که اختلاف بین pH محاسبه شده از اطلاعات آنالیز شیمیایی (pHcal) و مقدار pH اندازه گیری شده (pHmsr) می تواند به عنوان یک شاخص عددی از مشخصات آب استفاده شود (جدول ۱).

نوع مطالعه توصیفی مقطعی است. در این تحقیق حجم نمونه ها با توجه به اینکه آزمون های شیمیایی هر ۳ ماه یک بار از کلیه منابع تامین آب انجام می گیرد، مشخص شد. به طوری که با توجه به سه منبع تامین آب شهری که در شهرستان ملکشاهی وجود دارد و همینطور با نمونه برداری از ۶ نقطه از محدوده شبکه توزیع در کل ۹ نقطه برای نمونه برداری تعیین گردید که با یک بار تکرار نمونه برداری در سه نقطه در کل ۱۲ نمونه از نقاط مذکور در بهار ۱۳۹۳ برداشت شد. عمل نمونه برداری مستقیماً از خروجی منبع یا اول شبکه با استفاده از ظروف پلاستیکی یک لیتری که قبلاً با آب مقطر شسته شده و پس از چند شست شوی ظروف با آب مورد آزمایش، با ذکر نوع منبع تامین آب در کمترین زمان انجام و نمونه ها به آزمایشگاه شیمی و میکروبیولوژی گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایلام ارسال شد. حفاظت، نگهداری و آزمایش نمونه ها نیز بر اساس دستورالعمل مندرج در کتاب استاندارد متد انتخاب شد.

## ایندکس لائزلیه

اولین روش به منظور پیش بینی مشخصات خوردگی و یا رسوب گذار بودن آب توسط لائزلیه ارائه شد (۷). او از تئوری های پیشرفته حاکم بر محلول های آبی به منظور

جدول ۱: تفسیر مقدار ایندکس لائزلیه

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

که به منظور بررسی ترسیب کربنات کلسیم بر روی لوله های شیشه ای انجام داد، نشان داد که چنانچه مقدار این ایندکس از ۷ کمتر باشد کربنات کلسیم بر روی جداره لوله ترسیب خواهد شد. همچنین رایزنار نشان داد که در مقادیر بالاتر از ۷ برای این ایندکس، رسوبی بر روی جداره لوله تشکیل نمی شود. او ایندکس خود را با تخمین های

## ایندکس رایزنار

در ایندکس پایداری رایزنار سعی شده است از اطلاعات تجربی نیز به منظور بررسی شدت خوردگی در لوله های انتقال آب شهری کمک گرفته شود. این ایندکس در سال ۱۹۴۴ توسط Ryznar ارائه شد. رایزنار در آزمایش هایی

کمی از مقادیر خوردگی که در مقیاس عملی اتفاق افتاد اصلاح کرد. مقدار ایندکس رایزنار مطابق جدول شماره ۲ تفسیر می شود.

جدول ۲: تفسیر مقدار ایندکس رایزنار

مقدار اندکس	تفسیر
RI<6	افزایش تمایل به رسوب گذاری با افزایش مقدار ایندکس
6<RI<7	تشکیل رسوب کربنات کلسیم منجر به ایجاد فیلم محافظ نمی شود
RI>7	بروز خوردگی ملایم در لوله های فولادی افزایش می یابد

(maximum amount of deposit). در ایندکس PSI این امکان فراهم شده است که رابطه بین وضعیت فوق اشباع آب و رسوبگذاری با لحاظ شدن دو پارامتر مذکور بررسی شود. در این ایندکس به جای استفاده از pHmsr از pHeq که نشان دهنده اکتیویته تعادلی یون هیدروژن است استفاده می شود (جدول ۳).

#### ایندکس پوکوریوس

به طور کلی روش هایی که به منظور محاسبه میزان خورنده یا رسوب گذار بودن آب ارائه شده اند دو پارامتر مهم را در نظر نمی گیرند. این دو پارامتر عبارتند از ظرفیت بافری آب (Buffer capacity) و حداکثر مقدار ته نشست ناشی از آب طبیعی در شرایط تعادل

جدول ۳: تفسیر مقدار ایندکس پوکوریوس

مقدار اندکس	تفسیر
PSI<6	تمایل به رسوب گذاری
PSI>6	عدم تمایل به رسوب گذاری (خورنده)

آزبست - سیمان و شرایط دمایی بین ۴ تا ۲۷ درجه سانتیگراد (۴۰ تا ۸۰ درجه فارنهایت) قابل استفاده می باشد. مقدار ایندکس تهاجم مطابق جدول ۴ تفسیر می شود.

#### ایندکس تهاجم

ایندکس تهاجم مقیاسی از تمایل آب به تخریب لوله های انتقال آب که از جنس آزبست - سیمان هستند می باشد. این ایندکس برای لوله های آب از جنس

جدول ۴: تفسیر مقدار ایندکس تهاجم

مقدار اندکس	تفسیر
LS<10	به شدت خورنده
10<LS<12	خورنده (ملایم)
LS>12	غیر خورنده (رسوب گذار)

و معادلات مورد استفاده برای شاخص های ذکر شده به صورت زیر می باشد:

$$LI = pH - pH_s$$

$$RI = 2pH_s - pH$$

$$AI = pH + \log \{ (A) (H) \}$$

$$PI = 2pH_s - pH_{eq}$$

لانیلیه  
رایزنر  
اندیس خوردگی (تهاجمی)  
اندیس پوکوریوس

یافته ها :

محلول اندازه گیری شد که مقادیر این پارامترها در جدول ۵ تا ۷ نشان داده شده است.

برای تعیین پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی پارامترهای کیفی آب شامل دما، pH، قلیائیت، سختی کلسیم و کل جامدات

جدول ۵ مشخصات کیفی آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی

TDS	TS	سختی کلسیم	قلیائیت	pH	دما	ردیف
mg/l	mg/l	mg/l CaCO <sub>3</sub>	mg/l CaCO <sub>3</sub>		°C	
۴۵۰	۷۴۵	۲۱۵	۱۸۵	۶/۸	۱۷	۱
۴۵۰	۷۵۰	۱۹۰	۱۸۰	۷/۳	۱۸	۲
۳۵۰	۴۵۰	۲۲۰	۱۹۰	۶/۷	۱۷	۳
۵۰۰	۸۰۰	۲۳۰	۱۹۰	۷/۲	۱۸	۴
۴۷۵	۷۷۵	۲۰۵	۱۷۰	۷/۳۵	۱۹	۵
۴۰۰	۶۷۰	۲۴۰	۱۵۰	۶/۹	۲۰	۶
۳۵۰	۶۰۰	۲۴۰	۱۸۰	۷/۲	۱۹	۷
۴۰۰	۶۸۰	۲۰۰	۱۵۰	۷/۴	۲۰	۸
۴۰۰	۶۶۰	۱۸۰	۱۸۰	۶/۶	۱۸	۹
۴۲۰	۶۸۷/۱	۲۱۳	۱۷۵	۷/۰۵	۱۸/۴۴	میانگین

جدول ۷ وضعیت خوردگی و رسوبگذاری نمونه های مورد بررسی از نظر شاخص های پوکوریوس و خوردگی

ردیف	پوکوریوس	وضعیت	خوردگی	وضعیت
۱	۶/۴	خورنده	۱۱/۲۹	خوردگی متوسط
۲	۶/۵۳	خورنده	۱۱/۸۳	خوردگی متوسط
۳	۶/۳۱	خورنده	۱۱/۳۱	خوردگی متوسط
۴	۶/۳۱	خورنده	۱۱/۸۴	خوردگی متوسط
۵	۶/۵۳	خورنده	۱۱/۸۵	خوردگی متوسط
۶	۶/۴۷	خورنده	۱۱/۴۵	خوردگی متوسط
۷	۶/۲۳	خورنده	۱۱/۸۲	خوردگی متوسط
۸	۶/۲۳	خورنده	۱۱/۸۷	خوردگی متوسط
۹	۶/۵۷	خورنده	۱۱/۱۱	خوردگی متوسط
میانگین	۶/۴۴	خورنده	۱۱/۵۹	خوردگی متوسط

جدول ۶ وضعیت خوردگی و رسوب گذاری نمونه های مورد بررسی از نظر شاخص های لانیلیه و رایزنر

ردیف	لانیلیه	وضعیت	رایزنر	وضعیت
۱	-۰/۶۳	خورنده	۷/۹۶	خورنده
۲	-۰/۱۶	خورنده	۷/۴۸	خورنده
۳	-۰/۶۵	خورنده	۷/۸۹	خورنده
۴	-۰/۰۹	خورنده	۷/۳۸	خورنده
۵	-۰/۰۵	خورنده	۷/۴۲	خورنده
۶	-۰/۲۲	خورنده	۷/۷۴	خورنده
۷	-۰/۰۴	خورنده	۷/۲۸	خورنده
۸	-	تبادل	۷/۴	خورنده
۹	-۰/۸۱	خورنده	۸/۱۲	به شدت خورنده
میانگین	-۰/۲۴	خورنده	۷/۵۹	خورنده

بحث

#### پیشنهادهات:

آب های خورنده و رسوب گذار در دراز مدت مشکلاتی در سامانه های آب رسانی ایجاد می کند. در صورت رسوب گذاری زیاد با افت آبدهی لوله و کاهش آب مواجه شده، به طوری که راکد شدن آب در لوله ها از نظر بهداشتی مخاطراتی را در پی خواهد داشت. در یک برنامه مشخص می توان از فناوری مختلف کنترل رسوب یا خوردگی به صورت تنظیم pH، قلیائیت، افزودن بازدارنده های شیمیایی و زدایش برخی از املاح بهره جست. افزون بر آن می توان با مخلوط کردن چند منبع تامین آب و ملاحظات طراحی سامانه همچون دقت در انتخاب نوع و جنس لوله ها و یا تنظیم شیب و سرعت جریان آب از اتلاف هزینه و سرمایه جلوگیری نموده و در راستای بهبود در کیفیت آب گام برداشت.

#### تقدیر و تشکر

این پژوهش با مساعدت و حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام انجام شده است.

در این مطالعه پس از نمونه برداری و سنجش عامل های مرتبط با خوردگی، کیفیت آب شرب شهرستان ملکشاهی براساس شاخص های خوردگی لانژلیه و رایزنر و پوکوریوس، خوردگی تعیین گردید که میانگین اندیس لانژلیه در نمونه های آب (۰/۴-)، میانگین اندیس رایزنر (۷/۵۹)، میانگین اندیس خوردگی (۱۱/۵۹)، میانگین اندیس پوکوریوس (۶/۴۴) بوده که مقایسه نتایج بدست آمده از محاسبه این اندیس ها، نشان دهنده خورنده بودن آب شرب شهرستان ملکشاهی است. همچنین از مقایسه پارامترهای کیفی آب شرب شهرستان ملکشاهی با استاندارد های موجود به این نتایج رسیدیم که در آن میانگین دمای آب در طول مدت نمونه برداری ۱۸/۴۴ درجه سانتی گراد بود که در رنج استاندارد می باشد. میانگین pH آب شرب شهرستان ملکشاهی برابر ۷/۰۵ بوده که در رنج استاندارد ایران و EPA (۸/۵-۶/۵) می باشد. میانگین غلظت کل جامدات محلول ۴۲۰ میلی گرم در لیتر می باشد که در حد مطلوب استاندارد ایران و EPA (۵۰۰ میلی گرم در لیتر) است. میانگین سختی کلسیم ۲۱۳ که بالاتر از حد مطلوب (۱۵۰ میلی گرم در لیتر) و پایین تر از حد مجاز استاندارد ایران (۵۰۰ میلی گرم در لیتر) است. میانگین قلیائیت کل (۱۷۵ میلی گرم در لیتر) کربنات کلسیم، که بیشتر از حد مطلوب استاندارد ایران (۱۲۰ میلی گرم در لیتر) است.

(۵).

منابع

1. Kawamura S. [Integrated design and operation of water treatment facility]. John wiley, 2000 Henry H Benjes JR. Hand book public water system, 2001.
2. Chalkesh Amiri M. [Water Treatment Principals]. 3th Press, 2003. P 292. (Persian)
3. Mokhtari S, Alighadri M, Hazrati S, et al. Evaluation of corrosion and precipitation potential in Ardebil drinking water distribution system by using Langelier & Ryznar indexes. J Health Hyg 2010; 1: 14-23 (Persian).
4. Mazloomi S, Babaei A, Fazlzadeh Devil M, et al. Corrosion and scaling potential of Shiraz drinking water. J Toloo-e-behdasht 2008; 1-2: 64-71.(Persian).
5. Hurphar A. [Prevent corrosion and making deposits in hard water supply networks]. TehranUniversity Publication. 1999. (Persian)
6. Świetlik J, Raczyk-Stanisławiak U, Piszora, P, et al. Corrosion in drinking water pipes: The importance of green rusts. Water Res 2012; 46: 1-10.
7. Shams M, Mohamadi A, Sajadi SA. Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Water in Rural Water Supply Distribution Networks of Tabas, Iran. World Appl Sci J 2012; 17: 1484-9.
8. Peng CY, Korshin GV. Speciation of trace inorganic contaminants in corrosion scales and deposits formed in drinking water distribution systems. Water Res 2011; 45: 5553-5563.
9. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Assossiation; 2005.
10. ISIRI. [Physical and Chemical Properties In Drinking Water]. Standard numbers 1053. Institute of Standard and Industrial Research of Iran, Tehran. 1998. (Persian) Available

from: ( <http://www.7229556.com/dl/ISIRI1053.pdf> )  
[cited in April 2010].

## The study of corrosion and scaling in drinking water distribution system in the Malekshahi city of Ilam Provinc, spring 93

**Mahdi Farzadkia:** Ph.D. in Environmental Health Engineering, Professor, Environmental Health Engineering Dept., School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**\*Esrafil Asgari:** ph.D. Student of Environmental Health Engineering, Faculty of Nursing and Health, Iran & Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran. sasgary@gmail.com(\*Corresponding author)

**Background and Objectives:** One of the major problems of water utilization scaling and corrosion, which is a physical and chemical reaction between a metal and its environment is done and leads to material changes its properties. In this study corrosion and scaling index gained for malekshahi city's drinking water supply.

**Materials and Methods:** The desired parameters in accordance with the standard method of water and wastewater tests were tested and corrosion index Langelier, Rayznr, corrosion and Puckorius were calculated using equations and diagrams.

**Results:** The results indicate that in accordance with the indices of corrosion Langelier index (-0.4), Rayznr (7.59), corrosion (11.59) and Puckorius (6.44), in terms of drinking water, city malekshahi the corrosive medium.

**Conclusion:** Evaluation of corrosion indices showed that drinking water is corrosive malekshahi city. And to compare parameters of water quality in the city malekshahi indicates that the concentration measured parameters except alkalinity is all in the standards of Iran and EPA.

**Key words:** Corrosion, fouling, distribution network, the city Malekshahi