

تعیین پتانسیل خورندگی یا رسوب گذاری آب آشامیدنی شبکه های توزیع شهر خرم آباد با استفاده از ان迪س های خورندگی

رضا پیری علم^۱, قدرت الله شمس خرم آبادی^۲, محمدرضا شاهمنصوی^۳, مهدی فرزاد کیا^۴

۱- کارشناس ارشد، کارشناس مستول بهداشت محیط، مرکز بهداشت استان لرستان

۲- استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان

۳- دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۴- استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران

یافته / دوره دهم / شماره ۳ / پاییز ۸۷ / مسلسل ۳۷

چکیده

دریافت مقاله: ۸۷/۲/۲۲، پذیرش مقاله: ۸۷/۶/۱۳

۱) مقدمه: بر اساس استاندارد آب آشامیدنی نباید خورنده باشد، آبهای خورنده مواد اولیه لوله ها، اتصالات و شیر آلات شبکه های توزیع شهری و خانگی را در خود حل کرده و مشکلات عدیده بهداشتی، زیباشناسی و اقتصادی را در سیستم های آبی به وجود می آورند و در صورت لزوم خورندگی باید با هدف سالم سازی آب آشامیدنی و حفظ و ارتقاء سلامت و بهداشت شهرروندان کنترل گردد. بنا بر این تعیین پتانسیل خورندگی آب آشامیدنی با روشهای قابل اعتماد و قابل اجرا ضروری است.

۲) مواد و روش ها: این تحقیق با هدف تعیین پتانسیل خورندگی یا رسوب گذاری آب آشامیدنی شبکه های توزیع شهر خرم آباد با استفاده از ان迪س های خورندگی انجام گرفت. در این تحقیق، مقدار ان迪س های لانژلیه، رایزنر، خورندگی و پوکوریوس با تعیین پارامترهای درجه حرارت، سختی کلسیم، قلیائیت، کل جامدات محلول و pH در ۵۰ نقطه در شبکه توزیع در دو مرحله و در فصول تابستان و پاییز محاسبه گردید.

۳) یافته ها: نتایج روش ان迪س های خورندگی، شامل ان迪س های لانژلیه (۰/۱۵)، رایزنر (۷/۸۶)، خورندگی (۱۱/۶۲۶) و پوکوریوس (۷/۶۵) آب شهر را در شرایط متمایل به خورندگی نشان می دهد.

۴) بحث و نتیجه گیری: آزمون های آماری ضریب همبستگی و پیرسون و اسپرمن و آ زوج بجز در چند مورد محدود، ارتباط معنی داری بین پارامترهای کیفی با ان迪س های خورندگی را نشان می دهد. نتایج روش های خورندگی، ان迪س لانژلیه، ان迪س رایزنر، ان迪س خورندگی و پوکوریوس آب آشامیدنی شبکه را در شرایط متمایل به خورندگی نشان می دهد.

۵) کلید واژه ها: ان迪س های خورندگی، آب خورنده، رسوب گذاری، شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر خرم آباد

خوردگی داخلی لوله ها و اتصالات آن می تواند تاثیر مستقیمی بر غلظت بعضی از اجزای تشکیل دهنده آب مثل سرب، کادمیوم، روی، آهن، منگنز، داشته باشد که برای آنها مقادیر رهنمودی و استاندارد توصیه و در نظر گرفته شده است (7). رسوب گذاری از کلمه sedimentat و به معنی رسوب گرفته شده است. رسوب گذاری عبارتست از بوجود آمدن یک لایه سخت بر روی سطوح در تماس با آب در اثر به حد اشباع رسیدن جامدات محلول در آب (17). رسوب کلسیم تشکیل شده در آب یکی از متداولترین مقیاس های کنترل در سیستم های آبی است. تشکیل رسوب در لوله ها و در آبهایی که کربنات کلسیم در حد فوق اشباع باشد و مقادیر سختی آن هم بالا باشد، منجر به گرفتگی لوله ها شده و کارایی گرم کننده های آب گرم و دیگر بخار را کاهش می دهد. رسوبات همچنین می توانند در سیستم های منازل مشکلات فراوانی از جمله افزایش میزان مصرف انرژی را بوجود آورند (2, 12, 19).

مواد و روشها

تعداد نمونه هایی که در روش ان迪س های خودگی مورد نظر است معمولاً متناسب با تعداد جمعیت تحت پوشش هر شبکه توزیع و براساس جدول استاندارد USEPA است که با بکارگیری روش ان迪س های خودگی برای این منظور تهیه و تنظیم گردیده است. در شهر خرم آباد به منظور محاسبه ان迪س های خودگی با استفاده از پارامترهای سختی کلسیم، قلیائیت، کل جامدات محلول، درجه حرارت و pH مطابق این جداول استاندارد باید 50 نمونه در نظر گرفته شود. تعداد نمونه های مورد نیاز براساس جمعیت تحت پوشش شبکه توزیع انتخاب شده است. پراکندگی و محل نمونه گیری روی نقشه شهر با توجه به تعداد مناطق تقسیم بندی شده شبکه توزیع و با

مقدمه

فرایند خودگی به طور کلی یک فرایند زیان آور است. خودگی یکی از مهمترین مشکلات در صنعت آب است و می تواند سلامت عمومی، کیفیت و هزینه تولید آب سالم را تحت تاثیر قرار دهد (4). خودگی، هزینه های بالایی را برای یک سیستم آب می تواند ایجاد کند. خودگی مشکلاتی برروی مسائل اقتصادی، زیبا شناختی و بهداشتی می گذارد. خودگی از کلمه corrodere به معنی سایش گرفته شده است (1, 8)، استاندارد ISO 8044¹، خودگی را به شکل واکنش فیزیکی، شیمیایی متقابل بین فلز و محیط اطرافش که معمولاً دارای طبیعت الکتروشیمیایی بوده و نتیجه اش تغییر در خواص فلزی می باشد تعریف نمود (5). این تغییرات خواص ممکن است منجر به از دست رفتن توانایی عملکردی فلز، محیط یا سیستمی شود که قسمتی از آن را تشکیل می دهد. بسیاری از مواد فلزی نظیر موادی که در ساختمان سیستم های تامین آب استفاده می شوند، در حضور آب ناپایدار بوده و تمایل دارند که به شکل پایدارتر و اغلب محلول تبدیل یا تجزیه شوند و این فرایندی است که به عنوان خودگی شناخته می شود (7).

سرعت رخداد این پدیده توسط بسیاری از عوامل فیزیکی (سرعت جریان، دما و...) و عوامل شیمیایی مانند pH، قلیائیت، سختی کلسیم، کل جامدات محلول، گازهای محلول (H₂S، O₂، CO₂ و...) کلر باقیمانده، کلراید، سولفات و عوامل میکروبی (مانند باکتریهای احیا کننده سولفات و باکتریهای آهن و...) بوجود می آید و کنترل می شود. خودگی ممکن است به دو صورت خودگی داخلی و خارجی لوله ها و اتصالات مطرح شود. به دلیل مشکلات فراوانی که خودگی داخلی برای کیفیت آب ایجاد می کند منظور از این تحقیق فقط بررسی خودگی داخلی می باشد. حفاظت لوله ها در برابر خودگی خارجی نیز بسیار مهم می باشد، اما ارتباط بسیار کمتری با کیفیت آب دارد.

1. International standard organization

4- آزمایش سختی کلسیم، قلیائیت و دیگر پارامترهای کیفی آب: جهت اندازه گیری پارامترهای کیفی و از جمله سختی کلسیم و قلیائیت از دستورالعمل مندرج در استاندارد متداول 1996 استفاده شده است.

تمام آزمایشات مربوط به سختی کلسیم و قلیائیت جهت افزایش دقت دوبار انجام گرفته است. عملیات اندازه گیری و محاسبه پارامترهای کیفی آب در 50 نقطه از شبکه توزیع و در دو مرحله صورت گرفته و برای هر محل نمونه برداری، ان迪س های خودگی محاسبه گردیده است و میانگین آنها مورد نظر قرار گرفته تا بدین وسیله دقت عمل افزایش یابد.

5- با استفاده از مقادیر قلیائیت، سختی کلسیم، درجه حرارت، کل جامدات محلول و pH مقدار pH_S (ashayeb az kribnats klesim) براساس فرمول زیر محاسبه گردیده است. مقادیر ضرایب عددی، (D, C, B, A) از روی جدول (1)، بدست می آیند

$$pH_S = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

6- ان迪س های خودگی براساس فرمولهای توصیه شده به شرح زیر محاسبه شده اند:

الف: روش تعیین ان迪س لانژلیه (LI):

فرمول محاسبه این ان迪س به شرح زیر است (10, 15, 18)

$$LI = pH - pH_S \quad (1)$$

تفسیر دقیق تر ان迪س لانژلیه در جدول شماره (2) آورده شده است (13).

ب: روش تعیین ان迪س رایزنر (RI) یا ان迪س پایداری رایزنر (SI):

برای محاسبه این ان迪س از فرمول زیر استفاده شده است (18, 19).

$$RI = 2(PHS) - PH \quad (2)$$

در جدول 3 چگونگی تفسیر و شرح ان迪س نشان داده شده است.

همکاری شرکت آب و فاضلاب و مرکز بهداشت به گونه ای انتخاب شد که بیانگر کل شبکه توزیع و جمعیت تحت پوشش باشد. حجم و ظروف نمونه برداری براساس دستورالعمل مندرج در استاندارد متد سال (1996) انتخاب گردیده است و پارامترهای مذکور به شرح ذیل تعیین مقدار شده اند:

1- آزمایش های درجه حرارت، EC, TDS: ابتدا در محل های نمونه برداری و با استفاده از دستگاه کالیبره شده Lovi bond Conductivity TDS meter شرکت آلمان آزمایشات درجه حرارت، EC, TDS انجام گرفته است. ابتدا نمونه آب را درون بشر ریخته و بلا فاصله الکترود دستگاه را درون آب فرو برد و با فشار دادن دکمه های مخصوص درجه حرارت، EC, TDS مقدار آن یادداشت شده است.

2- آزمایش pH: آزمایش pH نیز در محل با استفاده از pH متر دستی Lovi bond ساخت کشور آلمان صورت گرفته است. این pH متر توسط دو عدد محلول بافر با pH برابر 4 و 7 ابتدا کالیبره شده، سپس با فرو بردن الکترود شیشه ای آن در نمونه آب، با حرکت دورانی آهسته تا ثابت ماندن مقدار pH روی صفحه دیجیتالی ادامه می یابد. بعد از ثابت ماندن مقدار pH آن را یادداشت می کنیم. در آزمایشگاه مرکزی آب خرم آباد نیز یکبار این پارامتر اندازه گیری شد.

3- آزمایش اکسیژن محلول (DO): آزمایش اکسیژن محلول (DO) توسط دستگاه DO متر پرتائل مدل QM-system certificate No. 5394 DIN EN iso 9001 ساخت کشور آلمان انجام گرفته است. بعد از کالیبره کردن دستگاه، نمونه آب را به آهستگی درون بشر ریخته و سپس با فرو بردن الکترود دستگاه در نمونه آب با حرکت دورانی آهسته و پس از کاهش نوسانات و ثابت ماندن عدد آن، مقدار غلظت DO را سریعا یادداشت می کنیم. برای هر آزمایش قبل از دستگاه کالیبره شده است.

جدول شماره 1- مقادیر A, B, C و D جهت محاسبه PH_S

کل جامدات محلول mg/l))	A	سختی کلسیم mg/l CaCO_3)	C	قلیائیت mg/l CaCO_3)	D
50-300	0/1	10-11	0/6	10-11	1/0
400-1000	0/2	12-13	0/7	12-13	1/1
درجه حرارت		14-17	0/8	14-17	1/2
	B	18-22	0/9	18-22	1/3
سانتیگراد	فارنهایت				
		23-27	1/0	23-27	1/4
0-1	32-34	2/6	28-34	1/1	28-35
2-6	36-42	2/5	35-43	1/2	36-44
7-9	44-48	2/4	44-55	1/3	45-55
10-13	50-56	2/3	56-69	1/4	56-69
14-17	58-62	2/2	70-87	1/5	70-88
18-21	64-70	2/1	88-110	1/6	89-110
22-27	72-80	2/0	111-138	1/7	111-139
28-31	82-88	1/9	139-174	1/8	140-176
32-37	90-98	1/8	175-220	1/9	177-220
38-43	100-110	1/7	230-270	2/0	220-270
44-50	112-122	1/6	280-340	2/1	280-350
51-55	124-132	1/5	350-430	2/2	360-440
56-64	134-146	1/4	440-550	2/3	450-550
65-71	148-160	1/3	560-690	2/4	560-690
72-81	162-178	1/2	700-870	2/5	700-880
			880-1000	2/6	890-1000
					3/0

جدول شماره 2- تفسیر اندیس لانژلیه (11, 15)

شرح حالت	مقدار اندیس
آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوب CaCO_3 دارد	LI > 0
آب از CaCO_3 اشباع بوده و تمایل به ایجاد یا تجزیه CaCO_3 ندارد	LI = 0
آب زیر اشباع بوده و تجزیه CaCO_3 جامد انتظار می رود	LI < 0

جدول شماره 3 - تفسیر اندیس رایزنر (18, 2, 4).

شرح حالت	مقدار اندیس
آب رسوبدهی زیاد دارد	<4
آب نسبتاً رسوبده می باشد و کمی خورنده است	5-6
نه خاصیت خورندگی دارد و نه رسوبده	6-6/5
آب خاصیت خورندگی داشته و رسوب دهی کم می باشد	6/5-7
آب خاصیت خورندگی شدید دارد	>8

ج: روش تعیین اندیس خورندگی (AI): جهت محاسبه این اندیس از فرمول زیر استفاده شده است (3, 18).

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

چگونگی تفسیر آن نیز در جدول (4) آمده است.

$A = \text{قلیائیت کل بر حسب میلی گرم در لیتر}$

$H = \text{سختی کلسیم بر حسب میلی گرم در لیتر}$

با جایگزینی مقادیر H, A, pH، مقدار AI محاسبه گردیده و با استفاده از جدول 3-12 شرایط آب مورد مطالعه بدست آمده است

بودن آب و اگر کوچکتر از 6 باشد آب رسوب گذار است.
چگونگی تفسیر آن نیز در جدول (5) آمده است.

جدول شماره 5- تفسیر اندیس پوکوریوس (2)

مقدار PI	شرح حالت
>6	آب دارای خاصیت خورندگی است
<6	آب رسوبگذار است

یافته ها

نتایج مربوط به پارامترهای کیفی آب و اندیس های خوردگی در جداول شماره 6 الی 8 ارائه شده است.
میانگین مقدار $P_i - A_i - R_i - L_i - pH_s - pH$ در شبکه توزیع شهر خرم آباد به ترتیب 7/69، 7/71، 7/59، 0/157، 7/71، 7/59، 0/06، 7/65، 11/626 است.

جدول شماره 4- تفسیر مقدار اندیس خورندگی (3، 19، 18)

مقدار AI	شرح حالت
<10	آب دارای خاصیت خورندگی زیاد است
10-12	آب دارای خورندگی متوسط است
>12	آب فاقد خورندگی است

د: روش تعیین اندیس پوکوریوس (PI): جهت محاسبه این اندیس از رابطه زیر استفاده گردیده است (2)

$$PI = 2PHS - PHeq \quad (4)$$

اندیس پوکوریوس = PI

$pH = pH_s$ آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم

$pH = pH_{eq}$ آب در حالت تعادل که از رابطه 5 بدست می آید (2).

$$pH_{eq} = 1.465 \log(T - AIK) + 4.54 \quad (5)$$

رابطه $T - AIK$ = کل قلیائیت بر حسب میلی گرم در لیتر

چنانچه مقدار این اندیس بزرگتر از 6 باشد مovid خورنده

جدول شماره 6- محاسبه pHs در شبکه توزیع خرم آباد

pHs	D	ALK mg/l $Caco_3$	A	TDS mg/l	C	Ca^{++} mg/l $Caco_3$	B	T^0C	کد نمونه
7/69	2/35	219/8	0/127	283	1/35	58/85	1/9	25/34	مرحله اول
7/7	2/33	218	0/127	275	1/37	57/55	1/99	24/31	مرحله دوم
7/695	2/34	218/9	0/127	279	1/36	58/2	1/945	24/825	نتیجه کلی

جدول شماره 7- محاسبه اندیسهای خوردگی در شبکه توزیع خرم آباد

اندیس ها	pH	pHs	pH	نام منبع	میانگین اندیس لازلیه	میانگین اندیس رایزنر	میانگین اندیس خورندگی	نام منبع	اندیس ها
مرحله اول	7/5	7/75	7/75	شبکه توزیع	-0/255	7/86	11/55	شبکه توزیع	7/86
مرحله دوم	7/68	7/68	7/68	نتیجه	-0/06	7/44	11/703	نتیجه	7/44

جدول شماره 8- نتیجه پتانسیل خورندگی آب آشامیدنی شبکه های توزیع خرم آباد بر اساس اندیس های خوردگی

نتیجه	خوردگی کم	خورندگی متوسط	خورندگی	میانگین اندیس رایزنر	میانگین اندیس لازلیه	نام منبع
7/65	11/626	7/86	-0/157	7/65	11/55	شبکه توزیع

شنن کربنات کلسیم به وجود می آید و این موضوع با محاسبه اندیس لانژلیه قابل درک نیست (4).

7- بعضی از محققین بر این عقیده اند که لایه کربنات کلسیم در pH های خیلی بالاتر از 7/4، حفاظت کافی را مهیا نمی کند. البته این موضوع در همه حالات صادق نبوده و فاکتورهای دیگری که دقیقاً مشخص نیست در این مسئله دخیل می باشند ولی به هر صورت این مطلب نیز با محاسبه اندیس مشخص نمی شود لذا دیده شده است که علیرغم مثبت بودن اندیس، آب دارای خاصیت تهاجمی و خورنده بوده است (4).

8- یکی از فاکتورهای موثر در نظریه بند 7، سرعت تشکیل لایه کربنات کلسیم است که هر چه سرعت تشکیل لایه بیشتر باشد باعث تشکیل رسوب متخلخل با توانایی حفاظت کننده‌گی ضعیف می شود (4).

9- اندیس لانژلیه بیشتر در سیستمهایی با سرعت جریان آب کاربرد دارد (15).

10- با توجه به اینکه اندیس لانژلیه رسوب‌گذاری آب را نشان می دهد در مقایسه با اندیس پوکوریوس که نشانگر خورنده بودن آب است، آزمایشات ریادی انجام شده که موید تناقض بین این اندیسها است. در بیشتر مواقع مناسبتر بودن اندیس پوکوریوس نسبت به اندیس لانژلیه برای آبهایی که pH آنها بیشتر از 8 می باشد مشاهده شده است (10).

11- اندیس لانژلیه نمی تواند روش قابل اعتمادی برای تشخیص مشکلات خوردگی در محدوده کم مقادیر باشد زیرا آزمایشات عملی نتایج خوردگی را تایید نمی کنند چنانچه مقدار این اندیس بین 0/4 تا 1/1 باشد (10).

12- این اندیس فقط باید pH های بین 9/5 - 6/5 جهت تعیین تمایل خوردگی آب مورد استفاده می باشد (به علت تنوع شاخصهای کیفیت آب) زیرا این محدوده pH

بحث و نتیجه‌گیری

در آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر خرم آباد میانگین اندیس لانژلیه (0/157) اندیس خورنده‌گی (11/626) نشان می دهنده که دارای تمایل به خورنده‌گی می باشد همچنین براساس رایزنر (7/86) و اندیس پوکوریوس (7/65) آب دارای خاصیت خورنده‌گی است. با مقایسه نتایج اندیس ها در دو مرحله اندازه گیری در شبکه توزیع خرم آباد در همه حالات خاصیت خورنده‌گی آب مشخص گردید اما علیرغم کاربرد وسیع اندیس های خوردگی جهت تعیین پتانسیل خورنده‌گی آب آشامیدنی شبکه های توزیع شهرها به دلیلی محدودیت های ذیل به طور کامل قابل اعتماد نیستند.

1- اندیس لانژلیه فقط تمایل آب به رسوب دهی و یا عدم آن را نشان میدهد و نمی توان از آن به عنوان یک اندازه گیری کمی استفاده نمود (4).

2- این اندیس فقط برای کنترل رسوب کلسیم در سیستم های باکل جامدات محلول (TDS) کم و در محدوده دماهای نه چندان بالا صادق است (4).

3- خاصیت تهاجمی آب به فلزات ویژه ای مانند فلزاتی که در شبکه های توزیع استفاده می شوند به شدت به TDS آب وابسته است، آبهای حاوی TDS بیش از 50 mg/l علیرغم مثبت بودن اندیس لانژلیه، تمایل به تهاجم و خورنده‌گی دارند (15, 16).

4- آبهای حاوی آلودگی به مواد چربی و روغن و حضور جلکها و دیگر گیاهان آبری می توانند در محاسبات این اندیس تاثیر بگذارند (4).

5- این اندیس برای آبهایی که مقدار فسفات آنها زیاد و همچنین قلیائیت سدیمی بالایی دارند نیز روش مطمئنی نیست (4).

6- کربنات کلسیمی که به خاطر افزایش pH موضعی در مناطق کاتدی تشکیل می شود، قدرت محافظت بیشتری نسبت به رسوبی دارد که به طور طبیعی در اثر فوق اشباع

- 14- اندیس لانژلیه و دیگر محاسبات مرتبط با تثبیت کربنات کلسیم فقط وقتیکه تثبیت کربنات کلسیم تنها مکانیزم کنترل خوردگی باشد، ارزشمند است (19).
- 15- این اندیس برای نشان دادن حالت اشباع آب مناسب و رضایت بخش نیست (18).

مقادیر کافی یونهای کلسیم و قلیائیت بیش از 40 mg/l را در آب مهیا می‌کند (16).

13- تشکیل رسوب نازک کربنات کلسیم نمی‌تواند از خوردگی جلوگیری کند، در حالیکه تشکیل یک رسوب ضخیم تر که اصطلاحاً به رسوب پوسته تخم مرغی معروف است تا حدود زیادی از خوردگی جلوگیری می‌کند (4).

References

1. Inar matson. The corrosion technology foundation; The translation of Hoorfer, E, the center of Tehran university publishing,first Edition, 1996
2. Pishnamazi SA. The water and it's corrosion in industry with analisis of corroded samples, Arkan publishing, Isfahan, Spring, 1998
3. Torkian, Ayoob (translator), the hand book of the water and sewage tests,first Edition, Asfahan, Reseach `s assistance publication of Asfahan university of medical science, winter, 1993.
4. Sayed Razi SM. The industries `s corrosion management, first Edition,second Edition,Iran `s corrosion Associotion,1997.
5. Javaher Dashti,R,corrosion management, Tadbir monthly, 1998; 60: 70-71
6. Karbasi ER, Nabi Bidhendi kR. The corrosion in the water distribution system and Drinking water auality, Tehran `s ecology magazine,the environment college,Tehran university,twenty – first year, 1999; 17
7. Nabizadeh Nodehi R, Fezi Razi D. The guidine of Drinking water quality. First volume. The second Edition,the health organization's recommendation, First Edition, Tehran. The cultural physical's organization, 1996.
8. American water works association, Internal corrosion of water distribution systems, 2ndedition AWWA. Research foundation/ DVGW- technologiezentrum wasser 1996
9. AWWA, " Water Treatment (principal and practices of Water Supply operation series)". Second Edition, 1995.
10. Dezuane JPE. Hand Book of Drinking water Quality. Second Edition, 1997
11. Edwards M. The pitting corrosion of copper, J AWWA, 1994; 86(7)
12. EPA, February Corrosion control. Tech Brief, A national Drinking water clearing house fact sheet, 1997.
13. Edwards M. Effectes of selected Anions on Copper corrosion Rates. J. AWWA, 1994; 86(12)
14. Icela D, Quintal B. Determination of Cadmium and Lead Species in the water Column of the Jose An of the Antonio Alzate Reservoir Mexico". J. water Environment Research, 2000; 72(2)
15. Kerri K. Water Treatment plant Operation. 1992; 1(2)
16. National Interim primary Drinking Water Regulation, Amendments, fed, R-Y, 1980; 45: 168
17. Treseper RS, Baboian R, Munger-co CG. Nace corrosion engineers Reference Book, second Edition, 1991.
18. Rossum JR, Merrill DT. An Evaluation of the Calcium Carbonate Saturation Index. J. AWWA, 1983
19. Singley JE, Lee T. Determining Internal corrosion potential in water supply systems. Committee Report, J. AWWA, August 1994
20. Tchobanoglous G, Dschroeder E. Water Quality management. 1987