

خوردگی در شبکه های توزیع آب و کیفیت آب آشامیدنی

گردآوری از کتابهای :

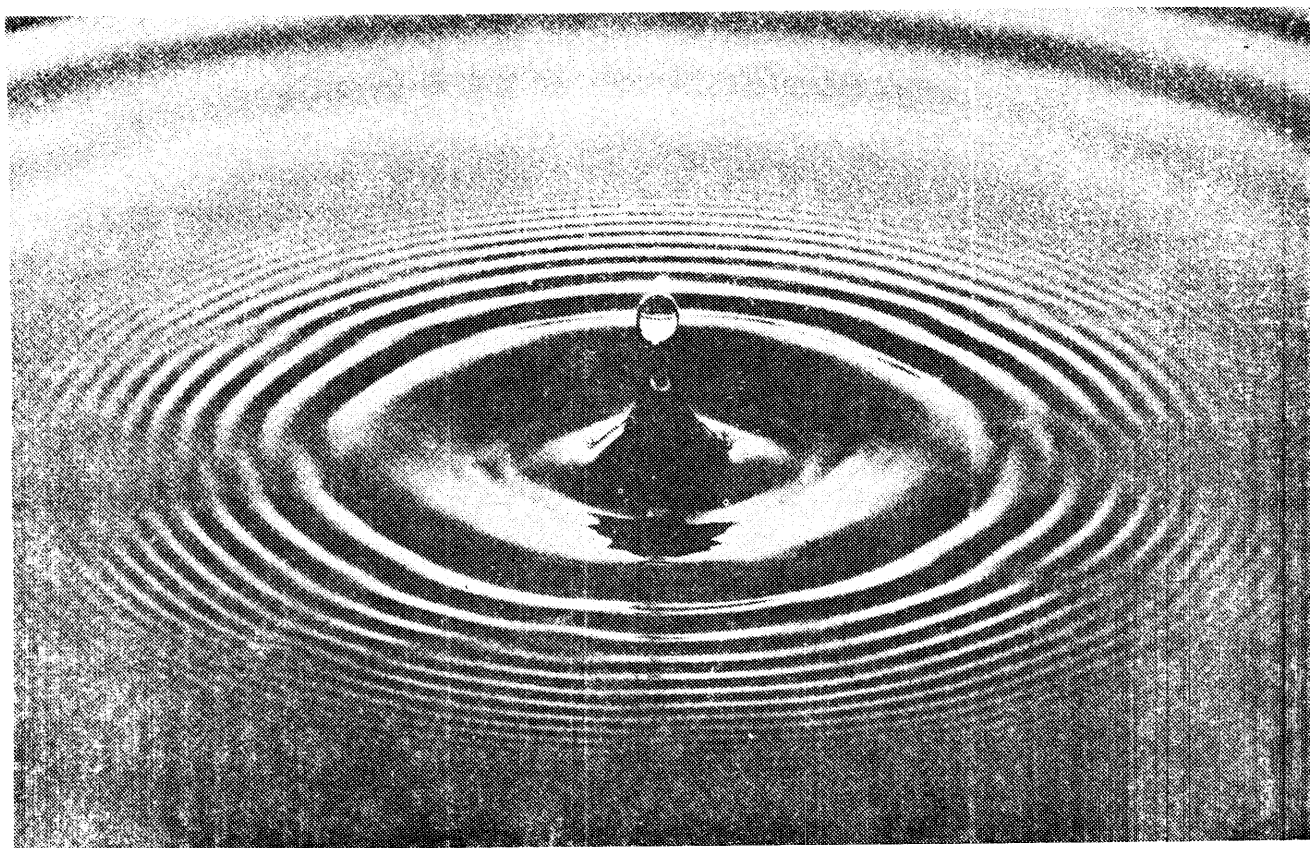
- CORROSION CONTROL BY DEPOSITION OF $CaCO_3$ FILMS .
BY : DOUGLAS T. MERIILL. etal. (1978)
- CORROSION CONTROL FOR OPERATORS .
BY : AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1986)

* دکتر عبدالرضا کرباسی

** دکتر غلامرضا نبی بیدهندی

* استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

** استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران



واژه‌های کلیدی: خوردگی لوله، کنترل خوردگی، فلزات سنگین، کلسیم کربنات، اپوکسی، کیفیت آب، خوردگی: شبکه توزیع آب، فلزات سمی.

چکیده

خوردگی لوله‌های توزیع آب معادل ۷۰۰ میلیون دلار در سال به شبکه‌های توزیع آب خسارت وارد می‌سازد. دو عنصری که عمدتاً باعث خوردگی وارد آب آشامیدنی می‌شوند شامل سرب و کادمیوم می‌گردد. سه عنصر دیگر (مس، آهن و روی) که معمولاً توسط خوردگی در آب پدیدار می‌شوند باعث لکه دار کردن لوازم برقی و لوله‌کشی یا تولید مزه فلزی می‌شوند. اثرات سمی سرب بسیار شدید است و اگر حد آن از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نماید سلامت مصرف‌کنندگان را به مخاطره می‌اندازد. برای تقلیل خطرات ناشی از آلودگی عناصر سنگین، می‌توان نشر نازکی از کربنات کلسیم بر جدار داخلی لوله‌ها تنه‌نشین ساخت.

● به‌طور کلی سرب، فلزی پایدار، نسبتاً غیر محلول و از لحاظ ساختار در مقابل خوردگی مقاوم است. ولی اثرات سمی سرب بسیار شدید و حد مجاز این عنصر حدود ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر در آئین نامه‌های اولیه و موقت آب آشامیدنی ملی آمریکا تعیین گردیده است. بنابراین، حتی مقدار خیلی کمی از خوردگی سربی، بسیار مهم خواهد بود

مقدمه

خوردگی داخل لوله زمانی شروع می‌شود که واکنش بین لوله و آبی که در آن جریان دارد، آغاز گردد. مقاومت مواد در مقابل خوردگی بستگی به کیفیت شیمیایی آب و هم چنین خواص لوله دارد. بنابراین آب خورنده می‌تواند خسارت سنگینی را بر شبکه توزیع آب وارد سازد و هم چنین ترکیبات حاصل از خوردگی، موجب تقلیل کیفیت آب (از نظر مقدار مجاز آلاینده‌ها، مزه، بو و رنگ) خواهد شد. زیان اقتصادی به علت تخریب شبکه‌های توزیع آب در آمریکا معادل ۳۷۵ و ۷۰۰ میلیون دلار در سال به ترتیب در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ برآورد شده است. عناصر سنگینی چون سرب، کادمیوم، مس، روی و آهن در اثر خوردگی وارد سیستم آبرسانی می‌گردد که به علت افزایش غلظت این عناصر، آب از لحاظ بهداشتی مخاطره آمیز می‌شود. مقاله فعلی قصد دارد به وجود عناصر سنگین که از طریق خوردگی وارد شبکه توزیع آب می‌شود بپردازد و راه حل ساده‌ایی را جهت جلوگیری از خوردگی پیشنهاد نماید.

زمینه:

خساراتی که از خوردگی شبکه‌های آب ایجاد می‌شوند بسیار سنگین است. در مرحله اول خوردگی باعث از بین رفتن لوله می‌گردد و ثانیاً مواد حاصل از خوردگی وارد آب شده و کیفیت آنرا نامطلوب

می‌نماید و ممکن است سلامت مصرف‌کننده را نیز به مخاطره اندازد. به عنوان مثال لوله‌های سربی به دلیل دارا بودن خاصیت سمی از لحاظ بهداشت مصرف‌کنندگان حائز اهمیت است و حتی ترکیبات حاصل از خوردگی (مانند آهن و مس) نیز باعث تغییر رنگ و مزه آب خواهد شد. مطالعه‌ایی که سالها پیش بر روی شبکه توزیع آب شهر بستن انجام گرفت نشان داد که کیفیت نمونه‌های آب این شهر در مقایسه با استانداردهای انجمن بهداشت عمومی ایالات متحده برای آب آشامیدنی به شرح زیر است:

۱۹ درصد نمونه‌ها از حد مجاز مس، ۹ درصد از حد مجاز آهن و ۶۵ درصد از حد مجاز سرب تجاوز نموده است. اکثر ترکیبات، حاصل خوردگی شبکه توزیع آب بودند. این مطالعه هم چنین نشان داد که مقدار سرب خون در اثر افزایش سرب در آب شهر ازدیاد می‌یابد.

به‌طور کلی سرب، فلزی پایدار، نسبتاً غیر محلول و از لحاظ ساختار در مقابل خوردگی مقاوم است. ولی اثرات سمی سرب بسیار شدید و حد مجاز این عنصر حدود ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر در آئین نامه‌های اولیه و موقت آب آشامیدنی ملی آمریکا تعیین گردیده است. بنابراین، حتی مقدار خیلی کمی از خوردگی سربی، بسیار مهم خواهد بود. سه عنصر دیگر (مس، آهن و روی) که معمولاً توسط خوردگی در آب پدیدار می‌شوند باعث

لکه دار کردن لوازم برقی و لوله کشی یا تولید مزه فلزی و یا هر دو می شوند. مس باعث ایجاد لکه های آبی رنگ و مزه فلزی، آهن باعث ایجاد لکه های قهوه ای - قرمز و روی باعث مزه فلزی می گردند. به لحاظ اینکه زیانهای اقتصادی ناشی از خوردگی لوله های فولادی و مسی بسیار زیاد است ترجیح داده می شود که از لوله های سربی بیشتر استفاده شود ولی سرب نیز می تواند ترکیبات سمی ایجاد نماید و به همین دلیل در سیستم آبهای قابل شرب استفاده از این فلز می بایستی تا حدودی کنترل شود.

به طور خلاصه خوردگی یکی از مهمترین مشکلات در صنعت آب است و می تواند سلامت عمومی، کیفیت و هزینه تولید آب سالم را تحت تاثیر قرار دهد. هم اکنون در ایالت متحده آمریکا استفاده از هر نوع لوله و یا جوش اتصال دهنده که دارای سرب باشد ممنوع است. لوله یا جوش فاقد سرب به آن دسته از جوش ها و لوله ها اطلاق می گردد که مقدار سرب آنها بیش از ۰/۲ الی ۰/۸ درصد نباشد.

جدول شماره ۱ آخرین استانداردهای پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده در سال ۱۹۸۸ را نشان می دهد. در این جدول، مقادیری که تا سال ۱۹۸۸ به اجرا گذارده می شد نیز گنجانده شده اند.

معمولاً خوردگی توسط سه روش زیر قابل کنترل می باشد:

- ۱- کیفیت شیمیایی فیزیکی آب طوری اصلاح گردد که نسبت به مواد لوله خورنده نباشد.
 - ۲- لایه یا آستر حفاظت کننده بین آب و جدار لوله قرار داده شود.
 - ۳- مواد لوله و طراحی سیستم طوری انتخاب گردد که توسط آب خورده نشود.
- محصولات قطران زغال سنگ به طور گسترده ایی جهت کنترل خوردگی در گذشته مورد استفاده قرار می گرفتند ولی در حال حاضر آژانس حفاظت محیط زیست نگران استفاده از اینگونه ترکیبات است زیرا که هیدروکربن های چند هسته ایی آروماتیک و دیگر ترکیبات خطرناک در قطران زغال سنگ وجود دارند که احتمال آن می رود این ترکیبات وارد آب شوند. در بیشتر سیستم های آب مشروب و حتی

دستگاههای فلزی از مواد آلی برای پوشش استفاده می شود. اخیراً استفاده از پوششهای اپوکسی جامد به مقدار زیادی افزایش یافته است. لوله های آزیست سیمان نیز که برای سیستم آبرسانی در آمریکا مورد استفاده قرار می گیرد نتایج بسیار عالی را در بر داشته، گرچه به دلیل تجزیه پذیری این گونه لوله های سیمانی کیفیت آب تا حدودی تغییر می یابد. جدول شماره ۲ متداول ترین قشرها و آسترهای لوله را نشان می دهد. غالب روشها براساس تأمین يك آستر بدون واکنش شیمیایی بر روی جداره داخلی لوله تکیه می کنند. در اینجا روش استفاده از کلسیم کربنات به طور مختصر ارائه می گردد.

در این روش شرایط آب خام، نوع و مقدار مواد شیمیایی لازم جهت اصلاح آب برای ایجاد رسوب بر جداره های لوله را

جدول شماره ۱: استانداردهای معدنی آب آشامیدنی در ایالت متحده آمریکا

مقادیر پیشنهادی در سال ۱۹۸۸	مقادیر اجرایی تا سال ۱۹۸۸	مواد معدنی
۰/۰۵	۰/۰۵	آرسنیک
۱/۵	۱/۰	باریم
۰/۰۰۵	۰/۰۱	کادمیوم
۰/۱۲	۰/۰۵	کرومیوم
۱/۳	؟	مس
۰/۰۲	۰/۰۵	سرب
۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	جیوه
۱۰	۱۰	نیتريت
۱	؟	نیترات
۰/۰۴۵	۰/۰۱	سلینیوم

- تمام مقادیر برحسب میلی گرم در لیتر می باشند.

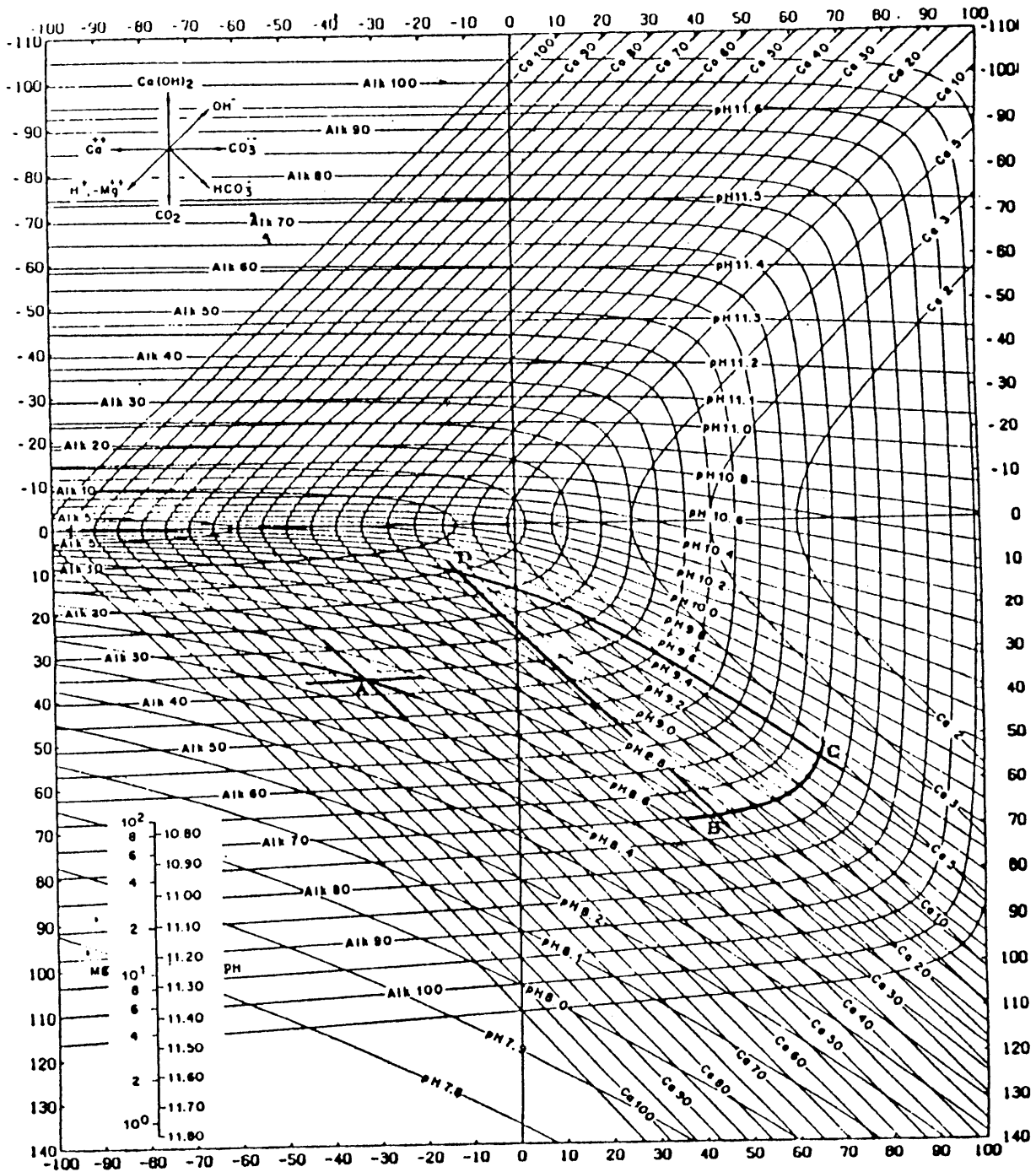
- می توان به آسانی تعیین نمود. باید در نظر داشت که کنترل کیفیت در این فرآیند بسیار حائز اهمیت است. قشر کلسیم کربنات نسبت به تغییرات حاصل از pH آب بسیار حساس است. در این روش از دیاگرامهای کالدول-لارنس که از یک سری خطوط کلسیم، قلیائیت و pH تشکیل شده است برای حل مسائل کنترل خوردگی استفاده می شود. پس از تعیین موقعیت، کلسیم و قلیائیت بر روی دیاگرام کالدول-لارنس اطلاعات زیر بدست می آید:
- تشخیص حالت اشباع آب اصلاح نشده
 - انتخاب درجه فوق اشباع مورد نظر
 - انتخاب نوع ماده شیمیایی یا مواد شیمیایی مصرفی برای اصلاح آب کند.
 - اضافه نمودن مقدار صحیح مواد شیمیایی برای بدست آوردن درجه فوق اشباع مورد نظر
 - اندازه گیری مقدار کلسیم کربناتی که در فرآیند رسوب تشکیل می گردد این تکنیک مبتنی بر ایجاد قشر نازکی بین آب و فلز است. این پوشش مانع تبادل الکترون، جابجایی مواد حاصل از خوردگی آندی و جریان اکسیژن کاتدی می شود در نتیجه میزان خوردگی را تقلیل می دهد. برای حصول نتیجه بهتر، قشر نازک باید به اندازه کافی ضخیم و محکم باشد و پوشش یکنواختی را تأمین کند.
 - چنین قشرهای نازکی در شرایط زیر قابل تولید هستند:
- آب می بایست توسط کلسیم کربنات به حد فوق اشباع رسیده باشد بدین منظور که پتانسیل فرضی رسوب باید بین ۴ الی ۱۰ میلی گرم در لیتر بر حسب کلسیم کربنات باشد.
 - مقدار کلسیم و قلیائیت هر کدام باید حداقل ۴۰ میلی گرم یا بیشتر در لیتر بر حسب کلسیم کربنات باشد تا ایجاد رسوب از نظر اقتصادی امکان پذیر باشد.

جدول شماره ۲: آسترهای جدا شده لوله

نوع آستر	موارد استفاده	مزیت ها	زیانها
لعاب قطران زغال سنگ	آستر لوله های فولادی (در ۵۰ الی ۸۰ درصد لوله های فولادی شبکه توزیع استفاده می گردد)	طول عمر زیاد (بیش از ۵۰ سال) قدرت مقاومت خوبی در برابر فرسایش سیلت و شن دارد.	در مکانهایی که جوش به کار رفته است قطران زغال سنگ می بایست دوباره مالیده شود.
اپوکسی	آستر لوله های فولادی و آهن نرم	سطح صاف باعث کاهش نرخ پمپ کردن می شود.	نسبتاً گرانبه و در مقایسه با قطران زغال سنگ در برابر فرسایش مقاومت کمتری دارد. طول عمر کمتر از ۱۵ سال است.
ملات سیمان	آستر استاندارد برای لوله های آهن نرم و گاهی اوقات در لوله های فولادی و چدن نیز استفاده می شوند.	نسبتاً ارزان و استفاده از آن آسان است	زیر بودن آستر باعث افزایش نرخ پمپ کردن می شود
پلی اتیلن	آستر لوله های فولادی و آهن نرم	طول عمر طولانی (۵۰ سال)، قدرت مقاومت خوبی در برابر فرسایش سیلت و شن دارد. سطح صاف باعث کاهش نرخ پمپ کردن می شود.	نسبتاً گرانبه است

شکل ۱- دیاگرام C-L
 دیاگرام اصلاح آب برای ۱۵ درجه سانتی گراد و ۴۰ میلی گرم در لیتر مجموع املاح محلول

اسیدیته آب، میلی گرم در لیتر بر حسب کلسیم کرینات



$$C2 = \text{قلیائیت} \cdot \text{کلسیم، میلی گرم در لیتر بر حسب کلسیم کرینات}$$

خطوطی که نمایانگر آبهای فوق یا پایین تر از اشباع هستند در يك نقطه تلاقی نمی کنند و يك محوطه را به وجود می آورند.

مثال ۲. حالت اشباع آبی که دارای آنالیز زیر می باشد، تعیین شود:

۱. دما = ۱۴ درجه سانتی گراد

۲. مجموع املاح محلول = ۱۵ میلی گرم در لیتر

۳. $pH = 9/0$

۴. کلسیم = ۲۸ میلی گرم در لیتر (بر حسب کلسیم کربنات)

۵. قلیائیت = ۷۰ میلی گرم در لیتر (بر حسب کلسیم کربنات)

موقعیت آب باید بر روی دیاگرام C-L که مخصوص ۱۵ درجه سانتی گراد و ۴۰

میلی گرم در لیتر املاح محلول است مشخص گردد (شکل ۱). همانند مثال ۱،

خطوط کلسیم قلیائیت و pH علامت گذاری می شوند، سپس محل های تلاقی این

خطوط به یکدیگر متصل می گردند. در این مثال خطوط به جای يك نقطه محوطه

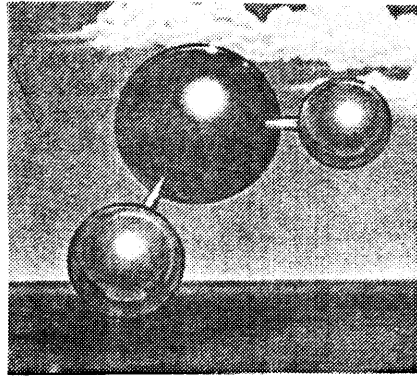
BCD را تشکیل می دهند بنابراین آب اشباع شده نیست اما یا پایین تر از اشباع

یا بالاتر از اشباع است. روش زیر برای مشخص کردن موقعیت اشباع مورد

استفاده قرار می گیرد:

اگر مقدار کلسیم بدست آمده از طریق آنالیز بیشتر از اندازه کلسیم

محل تلاقی خطوط pH و قلیائیت باشد آب فوق اشباع است و اگر کمتر



باشد آب پائین تر از اشباع است.

در این مثال مقدار کلسیم بدست آمده از طریق آنالیز (۲۸ میلی گرم در لیتر) بیشتر از مقدار کلسیم محل تلاقی خطوط pH و قلیائیت است (۶ میلی گرم در لیتر) بنابراین آب فوق اشباع است و قادر به رسوب کردن لایه حفاظتی کلسیم کربنات می باشد.

چه مقدار کلسیم کربنات از آب مذکور بر طبق اصول نظری توسط فرآیند رسوب قابل استفاده خواهد بود؟

آب فوق اشباع (که دارای Ca^{+2} , CO_3^{-2} بیشتر از آن حدی که

بتواند به راحتی آنرا نگه دارد است) در خلال رسوب خودش را توسط ته نشین

کردن اضافی Ca^{+2} , CO_3^{-2} تا کسب موقعیت اشباع آزاد سبک می سازد. در این

زمان گرایش ایجاد رسوب کلسیم کربنات نیست. بنابراین اختلاف مقدار کلسیم آب

فوق اشباع و مقدار کلسیم آب اشباع برابر با حداکثر مقدار کلسیم کربنات موجود در

رسوب خواهد بود. برای کامل کردن محاسبات موقعیت اشباع بر روی دیاگرام C-L

مشخص می شود و مقدار کلسیم تعیین می گردد. با استفاده از اصول زیر موقعیت

اشباع را می توان مشخص نمود:

۱. قدرت اسیدی در خلال ایجاد رسوب کلسیم کربنات تغییر نمی کند.

۲. Ca^{+2} در خلال ایجاد رسوب کلسیم کربنات تغییر نمی کند.

● عناصر سنگینی چون سرب،

کادمیوم، مس، روی و آهن در اثر

خوردگی وارد سیستم آبرسانی

می گردد که بعلت افزایش غلظت این

عناصر، آب از لحاظ بهداشتی

مخاطره آمیز می شود.

● کلردهی آب توسط گاز کلر موجب

تقلیل میزان pH خواهد شد. بنابراین

بتر است اصلاح شیمیایی پس از

کلردهی و طی مدت زمان کافی برای

تثبیت pH حاصل از کلردهی انجام

پذیرد. کلردهی هم چنین به طور

شدیدی تناسب قلیائیت به مجموع

آنیونهای فوق الذکر را تقلیل می دهد.

باقی مانده های کلر آزاد باعث سرعت

بخشیدن به امر خوردگی فولاد

می شوند. در اینجا نتیجه گیری می شود

که باید از استفاده کلر بیش از حد لازم

جهت گندزدایی شبکه توزیع آب

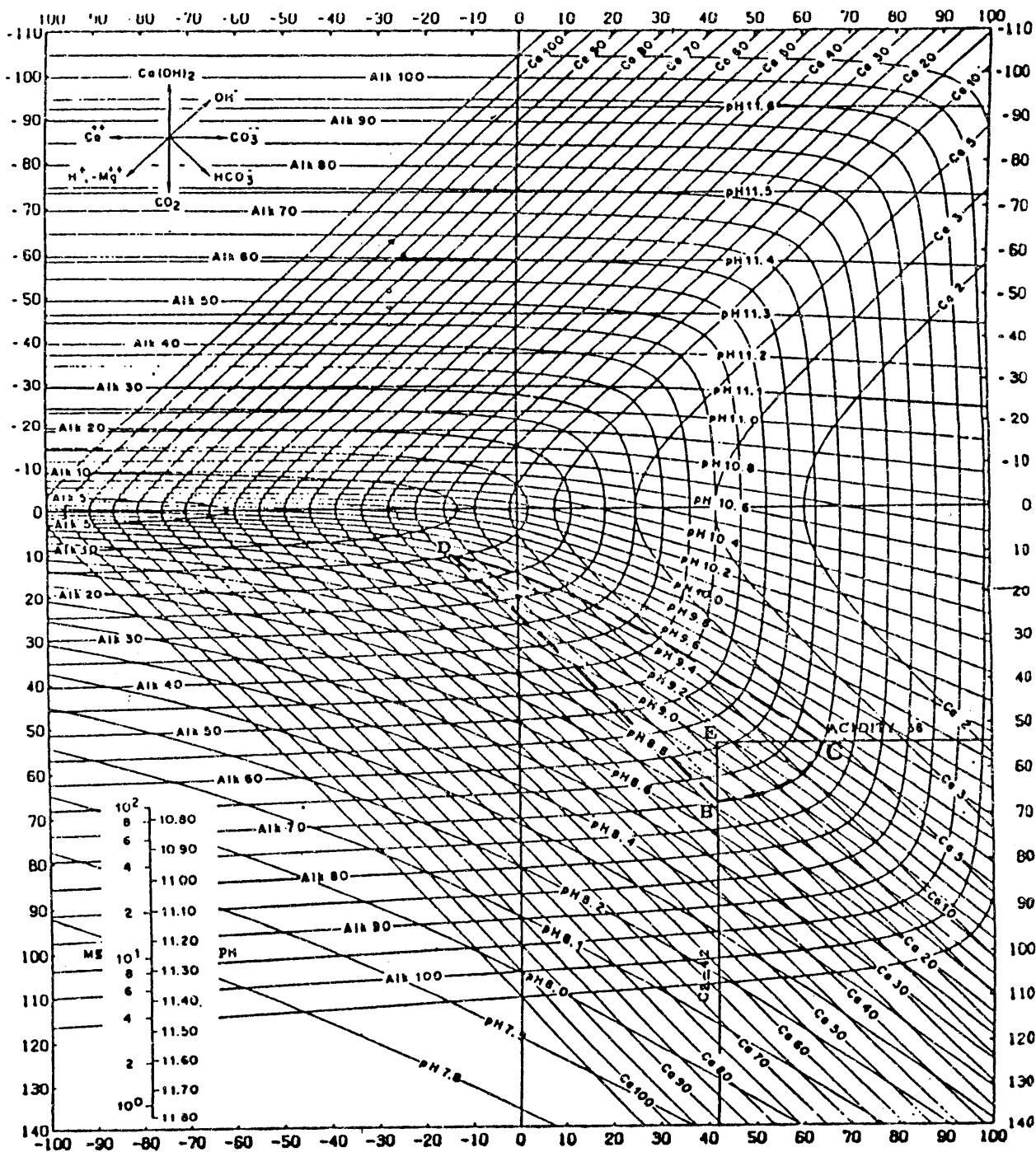
اجتناب نمود.

* میزان کلسیم - میزان قلیائیت = C

شکل ۲- دیاگرام C-L

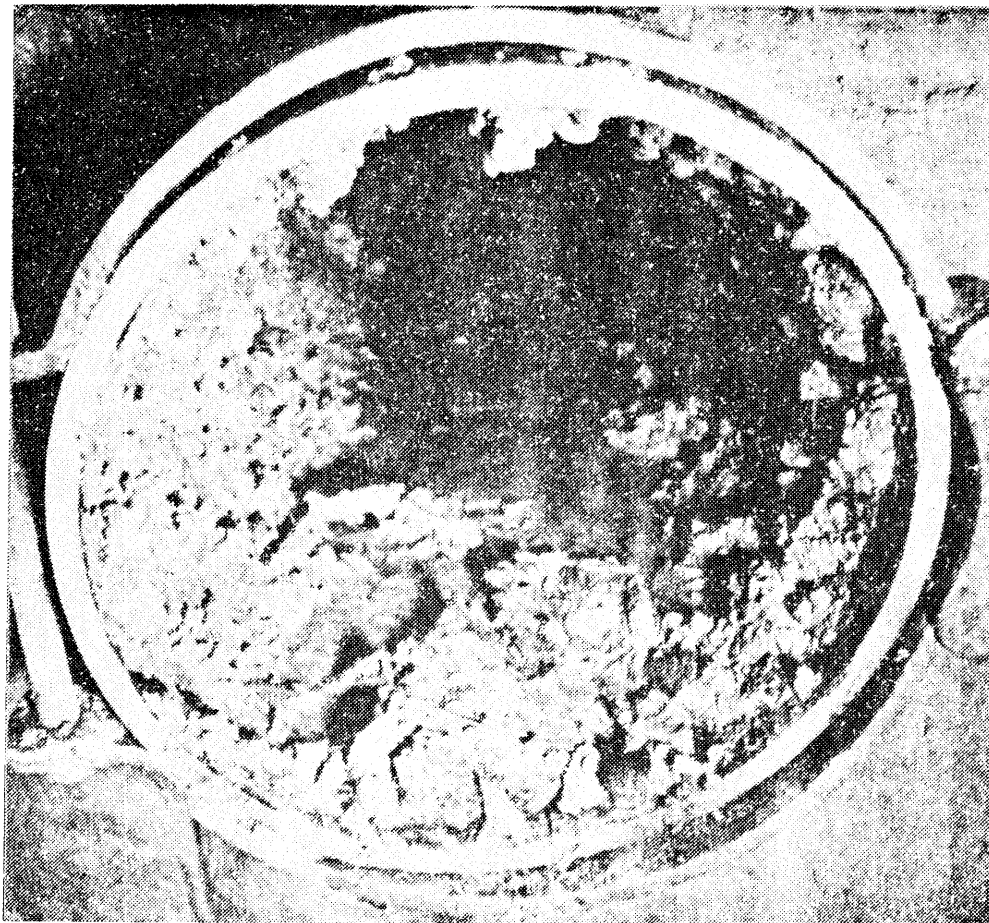
دیاگرام اصلاح آب برای ۱۵ درجه سانتی گراد و ۴۰ میلی گرم در لیتر مجموع املاح محلول

اسیدیته آب، میلی گرم در لیتر بر حسب کلسیم کربنات



C2 = قلیائیت-کلسیم، میلی گرم در لیتر بر حسب کلسیم کربنات

نتایج بدست آمده از يك دیاگرام برای دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و مجموع املاح محلول برابر با ۴۰ میلی گرم در لیتر برای شرایط دیگر معتبر نیست.



خوردگی فعال باعث ایجاد فرورفتگی و سوراخ در سطح داخلی لوله می گردد

مثال ۱- آنالیز آبی وضعیت زیر را نشان می دهد، حالت اشباعی آب تعیین گردد:

- ۱- دما = ۱۵ درجه سانتی گراد
- ۲- مجموع املاح محلول = ۹۶ میلی گرم در لیتر
- ۳- $\text{pH} = 8/6$
- ۴- کلسیم = ۷۰ میلی گرم در لیتر (بر حسب کلسیم کربنات)
- ۵- قلیانیت = ۳۷ میلی گرم در لیتر (بر حسب کلسیم کربنات)

چندین نمودار برای دمای ۱۵ درجه سانتی گراد وجود دارد. دیاگرام هایی برای ۴۰، ۴۰۰ و ۱۲۰۰ میلی گرم در لیتر

مجموع املاح محلول، موجود است. از

آنجائیکه ۹۶ میلی گرم در لیتر نزدیکتر به ۴۰ میلی گرم در لیتر است بنابراین دیاگرام

مخصوص ۴۰ میلی گرم در لیتر املاح محلول مورد استفاده قرار گیرد (برای

اندازه گیری دقیق تر بهتر است هر دو نمودار ۴۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر املاح

محلول مورد استفاده قرار گرفته، و جواب صحیح درج شود). باید خطری که

نمایانگر $\text{pH} = 8/6$ کلسیم = ۷۰ و قلیانیت = ۳۷ باشد را پیدا و در شکل ۱

علامت گذاری نمود. هر سه خط در يك نقطه تلاقی می کنند (A). بنابراین آب اشباع

شده است.

چنین به طور شدیدی تناسب قلیانیت به مجموع آنیونهای فوق الذکر را تقلیل

می دهد. باقی مانده های کلر آزاد باعث سرعت بخشیدن به امر خوردگی فولاد

می شوند. در اینجا نتیجه گیری می شود که باید از استفاده کلر بیش از حد لازم

جهت گندزدایی شبکه توزیع آب اجتناب نمود. برای اینکه استفاده از دیاگرام های

کالدول لارنس عملاً نشان داده شود به حل ۲ مسئله (اقتباس از مرجع يك) در این

رابطه پرداخته می شود. قابل ذکر است که هر دیاگرام تنها برای دما و مقدار مجموع

املاح محلول معینی است. به عنوان مثال

۳- تناسب قلیانیت به مجموع آنیونهای $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ حداقل ۵ به ۱ باشد.

البته تمامی غلظت ها به میلی گرم در لیتر بر حسب کلسیم کربنات

محاسبه می گردد. ۴- حد pH باید بین ۶/۸ الی ۷/۳ باشد.

۵- سرعت جریان آب باید متجاوز از ۰/۶ متر در ثانیه باشد.

کلردهی آب توسط گاز کلر موجب تقلیل میزان pH خواهد شد. بنابراین بهتر

است اصلاح شیمیایی پس از کلردهی و طی مدت زمان کافی برای تثبیت pH

حاصل از کلردهی انجام پذیرد. کلردهی هم



محوطه BCD برای آبی که در مثال

۲ تشریح شد به شکل ۲ انتقال یافته و توسط خطوط مقطع نشان داده شده است. قدرت اسیدی (۵۶ میلی گرم در لیتر) در محل تلاقی خطوط pH و قلیائیت در شکل ۲ معلوم شده است (نقطه C).

مقدار (۴۲ میلی گرم در لیتر) از محل تلاقی خطوط قلیائیت و کلسیم بدست آمده است. مقادیر C2 و قدرت اسیدی در خلال رسوب کلسیم کربنات تغییر نمی یابد. بنابراین آب اشباع شده دارای همان مقدار

● اثرات سوء اقتصادی ناشی از خوردگی بسیار شدید می باشد. هر چند که اثرات ناشی از مصرف تولیدات خوردگی آب به خوبی شناخته نشده اند ولی خطرات نهانی وجود دارند. در سیستمهای بیشماری خوردگی را می توان توسط اصلاح آب خورنده کنترل کرد و آبی به حالت نسبتاً فوق اشباع تولید نمود. دیگر ام‌های کالدول - لارنس وسیله ایست برای تشخیص سریع و دقیق شرایط آب خام، نوع و مقدار املاح شیمیایی لازم برای تولید آب مطلوب و مقدار حفاظتی که از فرآیند اصلاح آب حاصل می شود.

C2 و اسیدپتته است که آب اولیه دارا است. براساس تعریف، موقعیت اشباع توسط يك نقطه نشان داده می شود. نقطه ای که توسط امتداد خطوط قدرت اسیدی و C2 (نقطه E) بدست می آید تمامی شرایط مذکور را تأمین می کند و بنابراین نشان دهنده آب اشباع است. موقعیت اشباع را کلسیم = ۱۷، قلیائیت = ۵۹، (pH=۹/۰۱) می توان به طور مستقیم از نقطه E بر روی دیاگرام بدست آورد. اختلاف بین مقدار کلسیم آب فوق اشباع (۲۸ میلی گرم در لیتر) و آب اشباع (۱۷ میلی گرم در لیتر) برابر است با حداکثر مقدار کلسیم کربناتی که قادر به ته نشین شدن است (۱۱ میلی گرم در لیتر). از آنجائی که کلسیم و قلیائیت باید به يك میزان ته نشین گردند بنابراین اختلاف بین قلیائیت آب اولیه (۷۰ میلی گرم در لیتر) و آب اشباع شده (۵۹ میلی گرم در لیتر) باید برابر با مقدار کلسیم کربنات ته نشین شده (۱۱ میلی گرم در لیتر) باشد که این چنین نیز هست. بنابراین تساوی کلسیم و قلیائیت ته نشین شده برای بررسی کار می تواند مورد استفاده قرار گیرد. موارد مذکور در مورد اغلب آبهای اکسیژن داری که در شبکه توزیع فلزی انتقال یافته اند، صادق است. آبهای خنثی که فاقد اکسیژن می باشند نیاز کمی به اصلاح دارند در صورتی که در خلال تصفیه آب و فرآیندهای توزیع بتوان اکسیژن را حذف نمود. ولی حذف اکسیژن

بسیار مشکل است و غالباً اصلاح آب ارزاتر از ساختن سیستم بی منفذ خواهد بود. قابل ذکر است که تکنیک های حفاظتی دیگری مانند سیلیس و پلی فسفات روی نیز وجود دارند و تحت شرایط خاصی این تکنیک ها ممکن است که مقرون به صرفه تر از رسوب کلسیم کربنات باشد.

نتیجه گیری

اثرات سوء اقتصادی ناشی از خوردگی بسیار شدید می باشند. هرچند که اثرات ناشی از مصرف تولیدات خوردگی آب به خوبی شناخته نشده اند ولی خطرات نهانی وجود دارند. در سیستم های بیشماری خوردگی را می توان توسط اصلاح آب خورنده کنترل کرد و آبی به حالت نسبتاً فوق اشباع تولید نمود. دیاگرام های کالدول-لارنس وسیله ایست برای تشخیص سریع و دقیق شرایط آب خام، نوع و مقدار املاح شیمیایی لازم برای تولید آب مطلوب و مقدار حفاظتی که از فرآیند اصلاح آب حاصل می شود.

منابع

1. Douglas, T. Merrill and Robert L. Sanks (1978) Corrosion control by deposition of calcium carbonate films. American Water Works Association (AWWA).
2. Kinn, V (1986) Corrosion control for operators. AWWA.
3. Hugh F. Hanson, Lloyd M. Mueller, Sally S. Hasted and David R. Goff (1987) Deterioration of water quality in distribution systems. AWWA.
4. American Water works Association (1988) New dimension in safe drinking water. An overview of the 1986 SDWA amendments and proposed primary drinking water regulations.
5. American Water Works Association (1986) Maintaining distribution - system water quality. AWWA.
6. American Water Works Association (1987) Distribution system maintenance techniques. AWWA.
7. American Water Works Association (1985) Internal corrosion of water distribution systems. Cooperative Research Reports, AWWA.
8. American Water Works Association (1935) Corrosion control. AWWA, Seminar Proceeding.