



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1023P-NWWCE

## بررسی صدمات ناشی از وجود گاز کربنیک در شبکه آبرسانی

### مطالعه موردی: شبکه آبرسانی شهر فاروج

علی بهمن<sup>۱</sup>، عباسعلی گریوانی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس مهندسی عمران از مجتمع عالی صنعت آب و برق اصفهان، کارشناس فنی دفتر فنی و خدمات

مهندسی معاونت مهندسی و توسعه آب و فاضلاب خراسان شمالی

۲- معاون مهندسی و توسعه شرکت آب و فاضلاب خراسان شمالی

borna\_bahman1387@yahoo.com

#### خلاصه

گاز کربنیک در آب بیشتر به صورت ترکیبات کربناتی، گازی شکل و مقدار بسیار جزئی به شکل اسید کربنیک وجود دارد. وجود گاز کربنیک در آب‌ها به مقدار لازم نه تنها ضرری ندارد بلکه باعث برقرار شدن رابطه تعادلی می‌شود اما افزایش و یا کاهش این گاز سبب بروز مشکلاتی در شبکه آبرسانی می‌شود که مورد بحث این مقاله است. معمولاً قسمتی از تأسیسات آبرسانی از جنس فلز (فولاد، چدن، گالوانیزه و...) هستند. سرعت خوردگی در لوله‌های شبکه توزیع آبرسانی به کیفیت عایق کاری، خواص شیمیایی سیال و جنس زمین ارتباط دارد. علاوه بر موارد مذکور رسوبات ته‌نشین شده در لوله‌ها و تأسیسات آبرسانی که یکی از دلایل آن دی‌اکسید کربن است، دو مشکل عدیده را به وجود می‌آورند، اول اینکه باعث انسداد مسیرهای جریان و کاهش عملکرد شیرآلات می‌شوند و دوم مسبب بروز پدیده خوردگی گالوانیکی با شدت زیاد خواهند بود. این مقاله به تأثیر کیفیت آب در طولانی مدت بر روی شبکه آبرسانی می‌پردازد و پس از محاسبه و تعیین میزان گاز کربنیک در شبکه آبرسانی، مقدار مناسب آن را تعیین می‌نماید. مقادیر بالاتر و حتی پایین تر سبب بروز مشکلاتی خواهد شد که به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: مواد آلی، گاز کربنیک، شبکه آبرسانی، خوردگی، رسوبات.

#### ۱. مقدمه

" أَفْرَأَيْتُمُ الْمَاءَ الَّذِي تَشْرَبُونَ "

آب مایه حیات و سیاره ما سیاره آبی است. آبی که در شبکه‌های آبرسانی بدست مشترکین می‌رسد، از منابع سطحی یا منابع زیرزمینی استحصال می‌شود که هر کدام ویژگی منحصر به فرد خود را دارند. آب‌های سطحی نسبت به آب‌های زیرزمینی چون تصفیه می‌شوند مقادیر کمتری از سختی، املاح، گازها و مواد آلاینده را به همراه خواهند داشت. برای نمونه آب‌های زیرزمینی اغلب آهن و منگنز بالایی دارند. شبکه‌های آبرسانی بنا به شرایط محیطی از منابع و مخازن متعددی استفاده می‌کند، بنابراین مطالعه واکنش‌ها و ترکیبات شیمیایی موجود در هر منطقه شرایط متفاوتی خواهد داشت. سیدسجاد حسینی نیا و علیرضا عروجی به بررسی خوردگی ناشی از اکسیژن، دی‌اکسید کربن و سایر گازهای موجود در آب تغذیه بویلرها در چرخه‌های تولید بخار از هوازداها و حذف آن‌ها به وسیله هوازدها پرداخته‌اند [۱]. حمید محمودی پور به آلودگی آب از نظر عمومی و چگونگی آلودگی آب از جنبه‌های مختلف پرداخته است. علی ترابیان و همکاران در زمینه بررسی اثر پیش‌ازن‌زنی بر روی حذف کربن کل آلی به وسیله نانوفیلتر همراه با پیش‌ازن‌زنی و در قسمتی دیگر بدون پیش‌ازن‌زنی پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده نشان داد، نانوفیلتراسیون قادر به حذف مقادیر زیادی از مواد آلی بدون نیاز به پیش تصفیه است [۲].

این مقاله صدمات ناشی از کاهش یا افزایش گاز کربنیک را معرفی کرده و به تأثیر میزان گاز کربنیک در شبکه‌های آبرسانی می‌پردازد. در ابتدا خواص شیمیایی آب به وسیله روابط محاسبه و به منظور دسترسی به نتایج مورد نظر از نمودار تیلمن استفاده کرده و نهایتاً عوامل تأثیرگذار را شناسایی خواهد کرد.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

## ۲. دلایل بررسی گاز کربنیک در شبکه‌های آبرسانی

گاز کربنیک مورد نیاز شبکه آبرسانی مقدار مشخصی است که مقادیر زیاد آن باعث خوردگی شبکه‌های فلزی و ایجاد ترکیبات سرب و روی در آب شده و یا باعث ایجاد رسوب در لوله‌ها و انسداد شیر آلات می‌گردد. این رسوبات سبب افت شدید فشار در شبکه‌هایی با اقطار پایین و منازل، گرفتگی صافی‌های کنتور، انسداد صافی‌ها و در نهایت نارضایتی مشترکین می‌گردد. قسمت اضافی گاز کربنیک آزاد باعث ایجاد رسوبات کلسیم می‌گردد این همان گاز شیری رنگی است که اغلب مشترکین با گاز کلر اشتباه می‌گیرند.

## ۳. شرح مطالعه

در تمامی شبکه‌های آبرسانی که از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده می‌کنند، این گاز وجود دارد. اما بسته به جنس زمین و باکتری‌های موجود در محدوده، میزان گاز کربنیک و کیفیت آن متفاوت است. وجود گاز کربنیک در آب‌ها به مقدار لازم نه تنها ضرری ندارد بلکه باعث برقرار شدن رابطه تعادلی می‌گردد اما با افزایش و کاهش این گاز تغییراتی ایجاد می‌شود که باعث بروز مشکلاتی در شبکه آبرسانی خواهد شد.



رابطه تعادلی

افزایش گاز کربنیک باعث تشکیل اسید کربنیک شده و با تشکیل این ماده خاصیت خوردگی و درجه اسیدی آب افزایش می‌یابد. هر چقدر آب خورنده تر باشد تخریب شبکه آبرسانی بخصوص شبکه‌هایی از جنس فلز سریعتر رخ می‌دهد. ترکیبات ایجاد شده در واکنش بین گاز کربنیک و تأسیسات آبرسانی سبب کاهش کیفیت آب، انسداد و تغییر شکل آب می‌شود. گاهی این تغییر شکل آب موضوع اعتراضات مشترکین است. در واکنشهایی که آب‌های خورنده با تأسیسات فلزی روی می‌دهد، ترکیبات روی و سرب موجود در لوله‌های گالوانیزه و شیرآلات برنجی آزاد شده و سلامت عمومی را به شدت با خطر مواجه می‌کند. این واکنشها در لوله‌های بتونی و سیمانی باعث آزاد شدن کربنات کلسیم موجود در بتن و افزایش مقادیر سختی آب می‌شود. با افزایش دمای آب و یا کاهش فشار آب، گاز کربنیک از محیط خارج شده و رابطه تعادلی بر هم می‌خورد بنابراین کربنات کلسیم رسوب کرده و در زیر لوله ته‌نشین می‌شود. همانند اتفاقی که برای دیگ‌ها و کتریهای آب جوش با تشکیل لایه گچ رخ می‌دهد. تشکیل سنگهای تراورتن در چشمه‌ها به همین علت می‌باشد. بنابراین بایستی در آب‌های شهری میزان گاز کربنیک آزاد به اندازه مورد نیاز باشد تا از رسوب گچ جلوگیری شود.

## ۴. مروری بر روشهای حذف گاز کربنیک

گازهای مختلف زیادی می‌توانند در آب به صورت محلول وجود داشته باشند. هیدروژن سولفید، دی‌اکسید کربن، اکسیژن، آمونیاک، کلرین و نیتروژن از جمله گازهایی هستند که بیشتر از بقیه گازها در آب وجود دارند. نوع و میزان گازهای محلول در آب به شرایط محیطی، منبع آب، مسیر عبور آب، دما، فشار و جنس گاز بستگی دارد. حلالیت گازها در آب را می‌توان طبق رابطه تعادلی هنری بیان کرد. حلالیت گازها در آب بطور مستقیم متناسب با فشار جزئی آن در اتمسفر در حال تماس با آب است. بنابراین با کاهش فشار جزئی گاز می‌توان غلظت آن را در آب کم کرد. حلالیت گاز با افزایش دمای حلال کاهش خواهد یافت و از نظر تئوری، در دمای اشباع تماس گازهای ترکیب نشده از آب خارج می‌شوند. [۳]

بطور کلی برای حذف ناخالصی‌های گازی آب دو شیوه عمده وجود دارد:

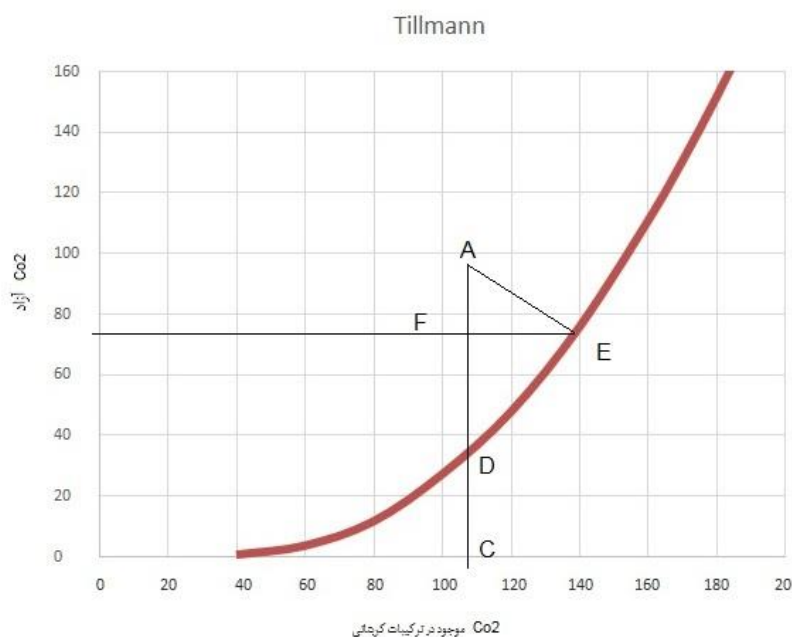
الف) روش‌های فیزیکی حذف گازها: حذف فیزیکی گازها براساس قانون هنری قابل توصیف است. بدین گونه که کاهش فشار جزئی گاز سبب کاهش غلظت گاز در آب می‌شود. برای این منظور می‌توان از روش‌های افزایش دمای آب، دمیدن گاز، گاززدایی تحت خلأ، گاززدایی تحت فشار

استفاده نمود. حذف گازها در این روش با هوادهی و دمیدن هوا، برج های گاززدا (degasor)، هوادایی سرد (Cold de-aeration)، هوادایی گرم (Hot de-aeration) خواهد بود. [۴]

ب) روش های شیمیایی حذف گازها: در این روش بسته به اینکه حذف چه گازی مورد نظر است، ماده شیمیایی افزوده می شود و نیز در شرایط عملیاتی از قبیل PH و دما به دلیل موثر بودن حذف شیمیایی تفاوت خواهد کرد.

## ۵. نمودار تیلمن

برای تعیین میزان دی اکسید کربن خورنده کافیت در منحنی تعادلی گاز کربنیک، از محل برخورد مقادیر  $CO_2$  موجود در ترکیبات کربناتی و  $CO_2$  آزاد (نقطه A)، خطی عمود بر محور افقی رسم نمائیم. مقدار AD نمایانگر گاز کربنیک آزادی است که سبب افزایش خاصیت خوردگی میشود. مقدار DC گاز کربنیک وابسته است که این مقدار برای برقراری رابطه تعادلی نیاز است. گاز کربنیک وابسته با تأسیسات فلزی، بتن و سیمان واکنش نشان می دهد. بخشی از گاز کربنیک وابسته مستقیماً سبب انحلال کربنات کلسیم موجود در بتن میشود که برای بدست آوردن میزان آن خطی با زاویه ۴۵ درجه از نقطه A رسم شود تا در نقطه E منحنی را قطع کند. مقدار FC گاز کربنیک وابسته و مقدار AF آن مقدار از گاز کربنیک وابسته ای است که سبب انحلال کربنات کلسیم می شود. [۳] اگر مقدار AF زیاد باشد میزان جرم گرفتگی داخل کتری ها و تأسیسات بیشتر خواهد بود [۵].



شکل ۱ - منحنی تعادلی گاز کربنیک در آب (تیلمن)

## ۶. محاسبات و شرح مطالعات

برای تعیین میزان گاز کربنیک بایستی از به منحنی تعادلی گاز کربنیک استفاده نمائیم. محور عمودی این نمودار مربوط به  $CO_2$  آزاد و محور افقی آن مربوط به  $CO_2$  موجود در ترکیبات کربناتی است. دیاگرام تیلمن یکی از منحنی های بسیار خوبی می باشد که رابطه این دو ترکیب را نمایش می دهد. اما دو مشکل اساسی در محاسبات وجود دارد، اول اینکه هزینه انجام آزمایش  $CO_2$  کل بسیار بالا است و مشکل دوم بازه نمودار تیلمن از ۰ تا ۱۶۰ است و مقادیر بالاتر را تحت پوشش قرار نمی دهد.

### ۶-۱- تعیین میزان گاز کربنیک آزاد

برای اندازه گیری میزان گاز کربنیک در آزمایشگاه از ۰٫۵ سانتیمتر مکعب معرف فنل فنالتین و تیرانت ۱٫۵ نرمال سود سوزآور استفاده می‌شود، تیراسیون با نمایان شدن رنگ صورتی با دوام ۳۰ ثانیه خاتمه می‌یابد. برای نمونه ۱۰۰ سانتیمتر مکعبی هر ۱ سی سی سود سوزآور معادل ۸٫۸ میلیگرم برلیتر دی‌اکسید کربن آزاد می‌باشد. اما حالت تعادل این گاز در رابطه تعادلی، به شدت تحت تأثیر دما است. بنحوی که با افزایش دما سبب خروج گاز از آب و رسوب مقداری کربنات کلسیم می‌شود. در هوادهی و کاهش فشار بمنظور گاززدایی نیز این اتفاق رخ میدهد. بنابراین جهت جلوگیری از خطرات وجود این گاز، بایستی مقدار آن در آب مصرفی صفر باشد. برای بررسی صحت نتایج آزمایشگاهی یکسری فرمول به شرح زیر وجود دارد. برای محاسبه کل  $CO_2$  وجود در آب به پارامترهای قلیائیت کل و اسیدیته آب (PH) نیاز داریم. با داشتن این دو آیتم قلیائیت بی کربناتی، قلیائیت کربناتی و  $CO_2$  موجود در ترکیبات کربناتی بدست آمده و با محاسبه این آیتم‌ها میزان  $CO_2$  کل بدست می‌آید [۶]. اگر A مقدار قلیائیت کل و B مقدار اسیدیته (PH) باشد آنگاه C قلیائیت بی‌کربناتی، D قلیائیت کربناتی، E دی‌اکسید کربن آزاد خواهد بود.

$$HCO_3^- \text{ as mg } CaCO_3 / \text{lit } (C) = \frac{A - (5 * 10^{(B-10)})}{1 + (0.94^{(B-10)})} \quad (1)$$

$$CO_3^{2-} \text{ as mg } CaCO_3 / \text{lit } (D) = 0.94 * C * 10^{(B-10)} \quad (2)$$

$$OH_3^- \text{ as mg } CaCO_3 / \text{lit} = 5 * 10^{(B-10)} \quad (3)$$

$$CO_2 \text{ as mg } CaCO_3 / \text{lit } (E) = 2 * A * 10^{(6-B)} \quad (4)$$

$$\text{mg total } CO_2 / \text{lit} = E + (0.44 * (2C + D)) \quad (5)$$

شایان ذکر است فرمولهای فوق الذکر جهت کنترل صحت نتایج هستند و مقادیر مورد نیاز در آزمایشگاه قابل اندازه گیری می‌باشند.

### ۶-۲- افزایش دامنه نمودار تیلن با روابط ریاضی

برای حل مشکل دوم به وسیله روابط ریاضی معادله خط نمودار تیل من محاسبه شده و نمودار شماره یک به نمودار شماره دو تغییر یافت. رابطه ریاضی بدست آمده  $0.008 X^2 = 0.6964 XY - 16.357 +$  است که می‌توان در اعداد بزرگتر از آن استفاده کرد. در این معادله X نمایانگر  $CO_2$  موجود در ترکیبات کربناتی و Y نمایانگر  $CO_2$  آزاد است. نمودار نهایی تیل من بعد از افزایش بازه محاسبات به شکل زیر تغییر خواهد کرد.

### ۶-۳- تعیین پارامترهای مورد نیاز آب

گزارش آزمایشگاه در خصوص مقادیر بدست آمده برای نمونه آب یکی از منابع به شرح زیر است:

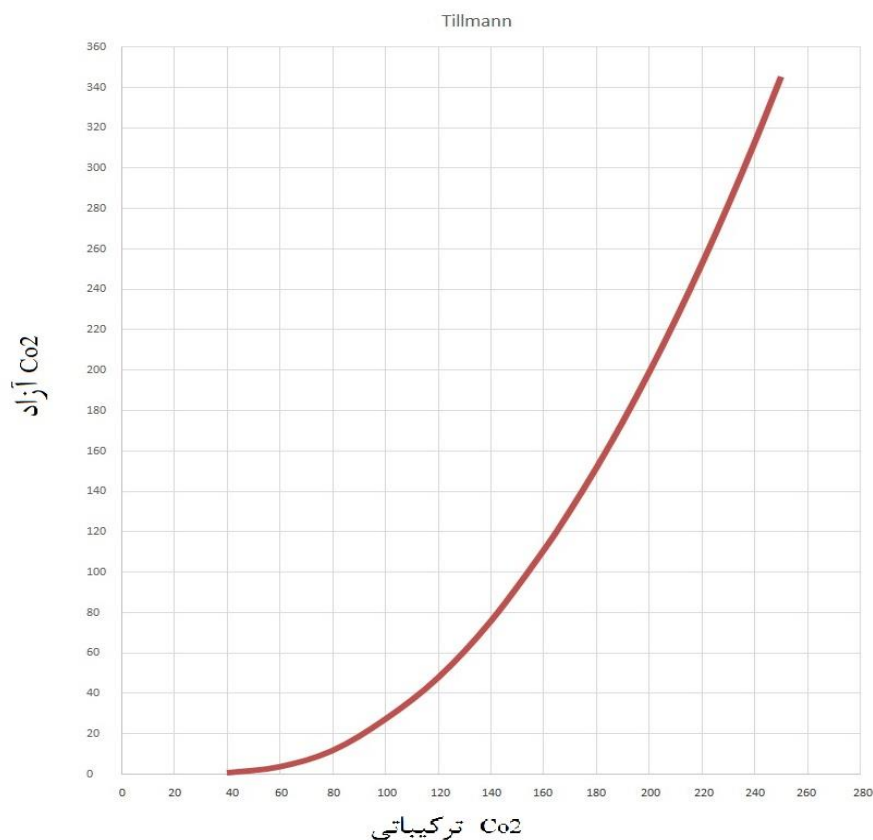
جدول ۱ - پارامترهای آب مورد آزمایش

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار	توضیحات
۱	دی‌اکسید کربن آزاد در نمونه آب	میلیگرم بر لیتر	۱۶۵٫۶	
۲	دی‌اکسید کربن ترکیباتی در نمونه آب	میلیگرم بر لیتر	۱۷۷٫۱	
۳	قلیائیت بی کربناتی	میلیگرم بر لیتر	۲۱۳٫۸۴	
۴	قلیائیت کربناتی	میلیگرم بر لیتر	۳۱٫۱۶	

در قدم نهایی اعداد را در نمودار تیلمن قرار داده و طبق دستورالعمل مقادیر را محاسبه می نمائیم.

جدول ۲ - نتایج حاصله از نمودار تیلمن

ردیف	نام	شرح	مقدار	واحد	توضیحات
۱	AC	کل گاز کربنیک	۱۶۵,۶	میلیگرم بر لیتر	کل گاز کربنیک
۲	AD	گاز کربنیک آزاد	۲۵,۶	میلیگرم بر لیتر	گاز کربنیک اضافی
۳	AF	گاز کربنیک حلال کربنات کلسیم	۸,۶	میلیگرم بر لیتر	گاز کربنیک رسوب گذار (انحلال کربنات کلسیم)
۴	DC	گاز کربنیک وابسته (مورد نیاز)	۱۴۰	میلیگرم بر لیتر	مورد نیاز جهت برقراری رابطه تعادلی



شکل ۲ - منحنی تعادلی گاز کربنیک در آب (محاسبه شده بوسیله فرمولهای ریاضی)

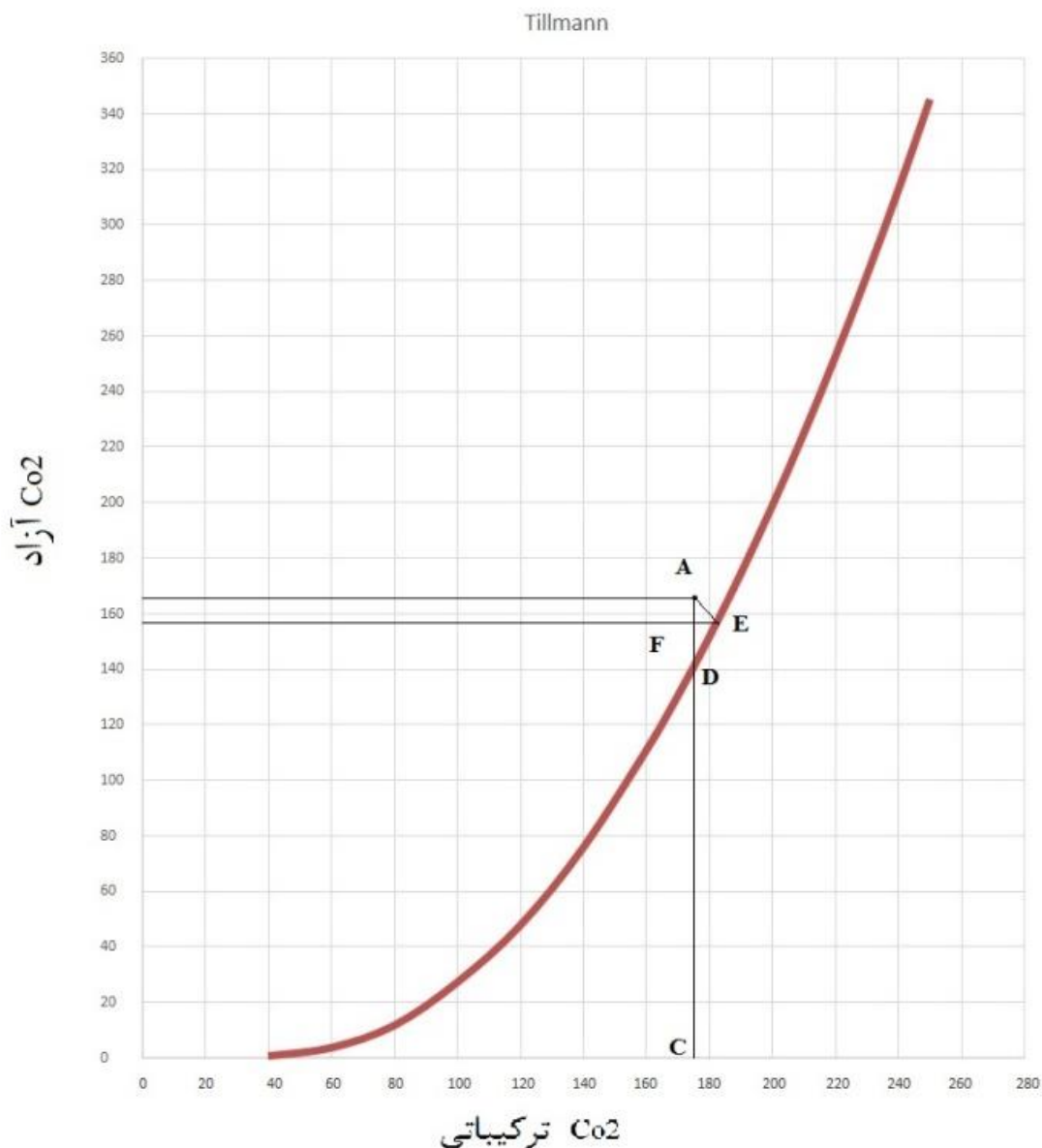
#### ۴-۶- محاسبه گاز کربنیک خورنده و رسوب گذار در نمونه آب :

با توجه به جدول بالا، توضیحات تکمیلی به شرح زیر است :

الف: در نمونه آب شهر فاروج جهت حفظ رابطه تعادلی تنها ۱۴۰ میلیگرم بر لیتر دی اکسید کربن نیاز است.

- ب: مقدار ۲۵,۶ میلیگرم بر لیتر، دی اکسید کربن اضافی است.
- ج: مقدار ۱۴۰ میلیگرم بر لیتر از گاز کربنیک موجود سبب انحلال کربنات کلسیم موجود در بتن می شود.
- چ: مقدار ۱۵۸ میلیگرم بر لیتر از گاز کربنیک موجود، به صورت وابسته است.
- ح: مقدار ۸,۶ میلیگرم بر لیتر از گاز کربنیک موجود، سبب بروز انسداد در شبکه ها و تولید گچ در دیگ های بخار و کتری ها میشود.

## ۷. نتیجه گیری



شکل ۳ - منحنی تعادلی گاز کربنیک در آب فاروج

همانطور که عنوان شد قسمتی از تأسیسات آبرسانی از جنس فلز ( فولاد، چدن و گالوانیزه) هستند. این قسمت بدلیل خاصیت خوردندگی آب به مرور از داخل دچار فرسودگی می شوند. قسمتی از گاز کربنیک مازاد سبب انحلال کربنات کلسیم موجود در بتن و تأسیسات بتنی موجود در مخازن و لوله های



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



آزبست و نهایتاً افزایش سختی آب خواهد شد. بنابراین بایستی مقدار مناسب گاز کربنیک را جهت برقراری رابطه تعادلی محاسبه نمود و در نهایت مازاد آن را با روشهای مقرون بصره از شبکه حذف کرد.

برخی از مشکلات مستقیم و غیر مستقیمی که گاز کربنیک اضافی ایجاد خواهد کرد به شرح ذیل است: ایجاد رسوب و گچ، ایجاد رنگ شیری در آب که برخی مشترکین آن را با کلر اشتباه می گیرند، خرابی شیرآلات، افت فشار در شبکه های با قطر پائین، گرفتگی صافی ها و کاهش شدید کیفیت آب و آزاد شدن روی و سرب از شیرآلات برنجی و لوله های گالوانیزه.

اگر مشخصات نمونه آب زیر منحنی تعادلی باشد بدین معناست که آب پتانسیل بالایی برای انحلال کربنات کلسیم و به تبع آن توانایی زیادی در خوردگی لوله ها خواهد داشت. اکثر منابع زیرزمینی این مشکل را در شبکه های آبرسانی ایجاد می کنند.

مشاهده می شود که در برخی مناطق با شرایط اقلیمی مشابه، عمر تأسیسات آبرسانی متفاوت است. لذا یکی از راهکارها بررسی کیفیت آب منطقه است. گاز های محلول در آب توانایی تغییر در شرایط بهره برداری را دارند، لذا شناسایی تاثیرات آن ها و آشنایی با راه های کاهش آسیب ها به طراحی و راهبری تأسیسات کمک میکند.

این موضوع فقط مربوط به تأسیسات آبرسانی شرکتهای آب و فاضلاب نیست بلکه مستقیماً با تأسیسات داخلی مشترکین مستقیماً ارتباط دارد. آبگرمکنهای داخل منازل، ماشینهای لباسشویی و ظرفشویی، کتری ها، صافی ها و لوله کشی منازل تحت تأثیر مدیریت گازهای محلول در آب هستند. پیشنهاد می گردد:

- ❖ با توجه به اینکه میزان گاز کربنیک شبکه بالا است از روشهای مقرون بصره جهت کاهش گاز ها اقدام گردد تا از تخریب تأسیسات و کاهش کیفیت آب جلوگیری نمود. این گاز بایستی در شبکه آبرسانی شهر به حداقل مقدار خود برسد.
- ❖ منابع به تفکیک مورد مطالعه قرار بگیرد و آنهایی که مقادیر بالایی از دی اکسید کربن دارند بعد از بررسی حذف یا با ایجاد تناسب با سایر منابع مخلوط شوند.
- ❖ کارشناسان بهره برداری و آزمایشگاههای آب نسبت به اندازه گیری گازهای موجود در آب و تاثیرات آن ها اقدام نمایند و نتایج حاصل از محاسبات را در کنار میزان تخریب مخازن و تأسیسات آبرسانی قرار دهند تا با مقایسه نتایج به راهکار مقرون بصره دست یابند.

### ۸. قدردانی

در اینجا بر خود می دانیم از شرکت آب و فاضلاب خراسان شمالی جهت ارائه امکانات آزمایشگاهی، تامین محیط تحقیقاتی و حمایت های مالی تشکر نمائیم .

### ۹. مراجع

۱. حسینی نیا، سیدسجاد و علیرضا عروجی، ۱۳۹۲، آشنایی با کارکرد هوازدهای آب های تغذیه بویلر و نکاتی پیرامون نحوه سایننگ آن ها، اولین کنفرانس علمی تجهیزات عملیاتی و فرآیندی، تهران، شرکت هم اندیشان انرژی کیمیا.
۲. محمودی پورحمید، ۱۳۸۸، آلاینده های آب و تأثیرات مواد شیمیایی معدنی و کانی ها بر بدن انسان، دومین کنفرانس سراسری آب، بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان.
۳. پرتال تخصصی مشهد بویلر، حذف ناخالصی های گازی از آب، ۱۳۹۳، [www.mboiler.ir](http://www.mboiler.ir).
۴. علی ترابیان؛ غلامرضا نبی بیدهندی؛ علی اصغر قدیم خانی؛ حسین اعتمادی؛ مهری شکوهی، بررسی اثر پیش اکسیداسیون بر حذف کربن کل آلی از آب به وسیله نانوفیلتراسیون. زمستان ۱۳۸۷، مجله آب و محیط زیست مقاله ۳، دوره ۱۹، شماره ۴.
۵. منزوی م.ت، آبرسانی شهری، ۱۳۸۷، انتشارات دانشگاه تهران.



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران  
دانشگاه تهران، تهران  
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



6. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 2012