بررسی اثر دما بر ضرایب زوال کلر در شبکه توزیع آب آشامیدنی با استفاده از مدل کیفی‌دینامیکی EPANET

تقی علیان کوپایی* محمدرضا حقیقی**

(دریافت ۸۱/۱۲/۱۲ پذیرش ۸۲/۵/۲۶)

چکیده

همان طور که آب حاوی کلر در داخل لوله‌های سیستم شبکه توزیع حرکت می‌کند، همزمان با مواد مختلف موجود در حجم آب و دیواره لوله واکنش داده و مقدار آن در شبکه کاهش می‌یابد. دما به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر این واکنش‌ها می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از مدل کیفی دینامیکی EPANET، اثر دما در دو فصل گرم و سرد سال بر روی ضرایب سینتیکی زوال کلر توسط حجم آب و دیواره لوله در شبکه توزیع آب بهارستان بررسی شد. این ضریب برای حجم آب برابر ۰/۵۳۳- و ۰/۲۰۷- بر روز و برای دیواره لوله برابر ۳- و ۲- میلی‌گرم برمترمربع در روز به ترتیب برای تابستان و زمستان حاصل شد. براساس این نتایج زوال کلر در تابستان ۲/۵ برابر فصل زمستان توسط حجم آب می‌باشد. ولی مصرف کلر توسط دیواره لوله به علت نو بودن شبکه و جنس لوله (پلی‌اتیلن) نزدیک صفر است. نتایج حاصل از پیشگویی مدل و اندازه‌گیری صحرایی با R^2=۰/۳۶۷ و R^2=۰/۹۷۱ به ترتیب برای فصل تابستان و زمستان با انجام آزمون فرضیه صفر در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی : مدل کیفی دینامیکی، زوال کلر، ضرایب سینتیکی.

The Effect of Temperature on the Decay of Chlorine in Water Distribution Network Using EPANET Qualitative Model

Aliyan, T. (M.Sc.) and Haghighi, M. (Ph.D)
Isfahan University of Technology

Abstract

Water which contains chlorine, can synchronously react with different substances in water and/or attached to pipe wall as it flows through distribution system and its amount decreases in network. Temperature affect this reaction. In this study qualitative model, EPANET, was used to investigate the effect of temperature on the decay of chlorine in distribution network of Baharestan city and to obtain the kinetic coefficients of chlorine decay by water volume pipe wall.

The kinetic coefficients of chlorine decay were acquired by measuring the changes of water temperature in two warm and cold seasons (summer and winter) and measuring concentration of chlorine residuals in water distribution network of Baharestan during these two seasons. Reaction coefficients were $-0.533d^{-1}$ and $-0.207d^{-1}$ for pipe wall equall of –0.3 and –2 $mg/m^2.d$ for summer and winter respectively . Based on these results, chlorine decay in the summer is 2.5times more than of the winter caused by water volume, but because of the new distribution network and pipe materials (PE), in these two seasons were very low and close to zero.

Results obtained from the model and those obtained from the field with convergence coefficient of R=0.367 and R=0.971 for summer and winter respectively and accepted based on zero assumption tests at the level of 0.01.

* کارشناس ارشد عمران محیط زیست

** عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

حداقل تصفیهٔ لازم برای کلیه منابع آبی که به مصرف شرب می‌رسد، گندزدائی است. از بین گندزداهای مختلف، کلر و مشتقات آن به دلیل سهولت کاربرد، پایین بودن هزینهٔ نسبی و سمیت آن برای میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا در سیستم‌های تأمین و توزیع آب آشامیدنی در سرتاسر دنیا به طور گسترده به کار برده می‌شود. کلر در کنترل کیفیت مطلوب، حذف آهن، منگنز، هیدروژن سولفید، استرلیزه کردن تانک‌های اصلی و ذخیره و مراقبت کیفی باکتریایی سیستم مؤثر است. بنابراین حداقل سطح کلر باقی‌مانده باید در سیستم توزیع نگهداری شود. فواید و نیاز کلر باقی‌مانده در سیستم‌های توزیع آب توسط اسنید[1] و همکاران تشریح شد. کلر یک ماده شیمیایی نسبتاً ناپایدار است. هر چند به آسانی با ترکیبات مواد آلی و غیر آلی نظیر آمونیاک، سولفیدها، ترکیبات آهن، منگنز و مواد هوموس واکنش می‌دهد، لذا دلیل انتشار تدریجی آن در شبکه توزیع می‌باشد. واکنش‌های کلر با مواد آلی می‌تواند محصولات جانبی ناخوشایندی نظیر تری‌هالومتان‌ها را تولید کند. این مواد به تدریج توسط قانون آب آشامیدنی سالم سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده، به یک سطح آلاینده حداکثر ۰/۸ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. افزایش میزان کلر هم‌چنین ممکن است افزایش خوردگی و مشکل بو و مزه را به دنبال داشته باشد. کلر درحین انتقال با جریان آب در داخل لوله‌ها، همزمان با مواد مختلف در حجم آب و دیواره لوله واکنش می‌دهد. واکنش‌هایی نیز در منبع ذخیره می‌تواند برای هر حجمی از آب رخ دهد. با این واکنش‌ها مقدار کلر آب کاهش می‌یابد که این کاهش، به زمان حرکت آب در شبکه و زمان ماند در تانک ذخیره بستگی دارد. از طرفی عواملی از قبیل زمان تماس، غلظت اولیه کلر، زمان ماند، درجه حرارت، pH، غلظت ترکیبات احیاکنندهٔ آب، کیفیت آب، جنس و عمر لوله‌های شبکهٔ توزیع، شعاع هیدرولیکی لوله، قطر لوله و سرعت جریان آب، بر غلظت کلر باقی‌مانده در شبکه‌های توزیع آب و در نتیجه قدرت میکروب‌کشی آن اثر دارد. درجه حرارت به عنوان یکی از پارامترهای مهم و مؤثر در شدت گندزدایی کلر و ترکیبات آن به دو طریق عمل می‌نماید که شامل افزایش سرعت تکثیر و فعالیت باکتری‌ها و واکنش‌های شیمیایی کلر بوده و هر دو به طور مستقیم در انجام عمل گندزدایی مؤثراند. این مقاله به مطالعه اثر دما بر ضرایب سینتیکی زوال کلر توسط حجم آب و دیواره لوله در دو فصل گرم و سرد سال (تابستان و زمستان سال ۱۳۷۹) در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر بهارستان می‌پردازد.

سینتیک‌های زوال کلر

مصرف کلر باقی‌مانده در سیستم توزیع آب تحت تأثیر بعضی از عوامل قرار می‌گیرد. برخی از این عوامل عبارتند از:

۱- مصرف کلر در اثر واکنش با مواد شیمیایی آلی و غیرآلی.

۲- مصرف کلر در اثر واکنش با لایه بیوفیلم چسبیده به دیواره لوله.

۳- مصرف کلر در اثر فرآیندهای خوردگی.

٤- انتقال جرم کلر و واکنش میان جریان حجمی و دیواره لوله.

یک مدل سینتیک درجه اول برای ناپدید شدن کلر باقی‌مانده در زمان‌های ماند مختلف در شبکه می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$dc/dt = -kc_0$$

که در آن: C_0 غلظت اولیه کلر بر حسب میلی‌گرم در لیتر و K ثابت زوال از درجه اول بر حسب عکس روز می‌باشد. زمان ماند به تقسیم کردن طول لوله به متوسط سرعت جریان در لوله تعریف می‌شود. معادله فوق به صورت زیر کامل می‌شود:

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

که در آن : C_t غلظت کلر برحسب میلی‌گرم در لیتر در زمان t

C_0؛ غلظت اولیه کلر (میلی‌گرم بر لیتر) و

t زمان ماند در لوله (روز). ثابت زوال کلر K بازتاب از چهار عامل می‌باشد. بنابراین مقدار آن خاص بوده و باید توسط اندازه‌گیری‌های فیلدی مشخص شود. گوتو[2] [۱] گزارش کرد که مقادیر K با کیفیت آب، درجه حرارت آب، سرعت جریان، مواد تشکیل دهنده لوله و سطح تماس لوله با آب تغییر می‌کند.

[1] Snead

[2] Goto

سانیر[1] [۲] و همکاران بیان کردند که مقادیر ثابت زوال به پارامترهای سطح خیس شده، درجه حرارت، و نوع پوششی درونی لوله ارتباط دارند. شارپ[2] [۳] و همکاران، شرح دادند که مقادیر K تابعی از قطر لوله، جنس لوله و آهنگ جریان حجمی ورودی می‌باشند.

مصرف کلر توسط واکنش با مواد شیمیایی آلی و غیرآلی در فاز حجم آب به نحو خوبی تعریف شده است. برخی از واکنش‌های شیمیایی سریع‌تر انجام شده و آهنگ واکنش باقی‌مانده به طور منطقی توصیف خوبی از یک نمونه فرآیند زوال درجه اول یا به یک اندازه کمتر، آهنگ فرآیند درجه دوم می‌باشد.

بیوفیلم و برآمدگی‌های چسبیده به دیوارهای لوله می‌تواند علت معنی‌دار در افت کلر باقی‌مانده در زمان باشد. بیوفیلم‌ها می‌توانند خیلی مهم بوده ولی هنوز آن‌ها به قدر کافی شناخته نشده‌اند. وبل[3] [٤] و همکاران، اندازه‌گیری زوال کلر را در ظروف نمونه‌برداری انجام دادند و آن را با زوالی که در آب مشابه، هنگامی که در مقطع‌هایی از لوله‌های فولادی و چدن داکتیل جریان داشت، مقایسه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که زوال کلر اغلب در لوله نسبت به ظرف نمونه‌برداری خیلی سریع‌تر است. و مصرف کلر توسط دیواره لوله به این دلیل است.

اخیراً، روسمن[4] [٥] و همکاران، یک مدل انتقال جرم از زوال کلر را در شبکه لوله‌ها در جریان ناپایدار تحت شرایط آشفته و لایه‌ای به کار بردند. در این مدل واکنش زوال کلر در دیواره را لوله متأثر از نرخ انتقال کلر از جریان حجمی به دیواره پیشنهاد کردند.

روش تحقیق

مشخصات و موقعیت محل مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه فاز اول شهر بهارستان با وسعتی قریب به ۱۰ کیلومترمربع است که در فاصله ۱۵ کیلومتری جنوب شرق شهر اصفهان واقع شده است. جمعیت تحت پوشش آن در سال انجام تحقیق (۱۳۷۹) حدود ۲۷۰۰۰ نفر بوده است. شهر کاملاً مسکونی – خدماتی است. قسمت مسکونی آن شامل خانه‌های یک، دو و سه طبقه اختصاصی و واحدهای آپارتمانی و قسمت خدماتی آن شامل، مراکز آموزشی، مراکز درمانی، ورزشی و غیره می‌باشد. آب مصرفی این شهر از تصفیه‌خانه بابا شیخ‌علی اصفهان از آب رودخانه زاینده‌زود تأمین می‌گردد که در قسمت شمال شهر توسط ایستگاه پمپاژ با کد ارتفاعی ۱۵٤۲ متر به داخل مخزن ذخیره با کد ارتفاعی ۱٦۲۸/٤ پمپاژ می‌شود. مخزن ذخیره آب شهر از نوع بتونی زمینی مرتفع به حجم ۱۳۲۰۰ مترمکعب است. ایستگاه پمپاژ شامل ۳ پمپ سانتریفوژ از نوع WKL125 سه طبقه می‌باشد. یکی از این پمپ‌ها به عنوان پمپ یدکی و دوتای دیگر برحسب فشار آب پشت خط و میزان آب مصرفی شهر بهره‌برداری است. ظرفیت هر کدام از پمپ‌ها برابر ۱۰۰ مترمکعب در ساعت می‌باشد که به طور دستی کنترل می‌شوند. شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر ترکیبی از لوله‌های اصلی به صورت حلقه‌ای و لوله‌های فرعی به صورت شاخه‌ای می‌باشد. جنس لوله‌های به کار رفته به جز قسمت کمی که آزبست است، همگی از نوع پلی‌اتیلن می‌باشد. قطر لوله‌ها از ۸۰ تا ٤۰۰ میلی‌متر است. شکل ۱ شمایی از این سیستم توزیع آب را نشان می‌دهد. آب مصرفی شهر پس از پمپاژ به داخل مخزن، توسط لوله خروجی مخزن از جنس پلی‌اتیلن به قطر ٤۰۰ میلی‌متر و طول ۱۰۰۰ متر وارد شبکه می‌گردد. میزان آب مصرفی در زمان نمونه‌برداری برابر ۵۰ لیتر بر ثانیه در تابستان و ٤۳ لیتر بر ثانیه در زمستان بود.

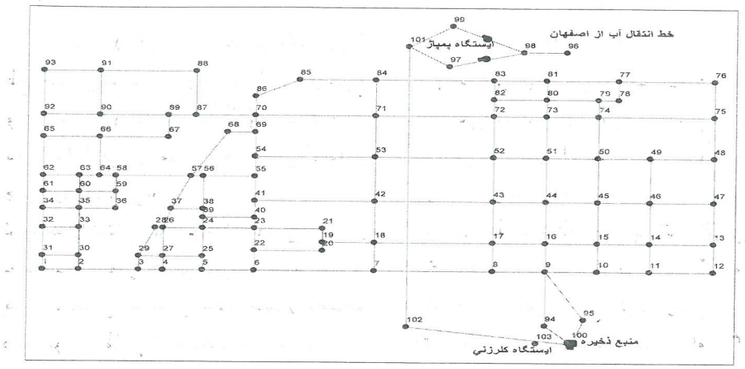
وضعیت کلرزنی آب

برای از بین بردن آلودگی‌های ثانویه احتمالی در شبکه، کلرزنی آب توسط ایستگاه کلرزنی که در نزدیکی مخزن ذخیره قرار داشت، صورت می‌گرفت. سیستم کلرزنی به صورت دستی خاموش و روشن می‌شد. مقدار کلر تزریقی به آب در زمان نمونه‌برداری و قبل از آن برابر ٤ میلی‌گرم در لیتر تنظیم و ثابت نگهداشته شد.

وضعیت دمای هوا و آب

برای بررسی وضعیت دمای هوا ودمای آب در شبکه توزیع و انتخاب ماه‌های گرم و سرد سال از آمار دمای ده‌ساله اداره هواشناسی نزدیک شهر بهارستان استفاده شد. اندازه‌گیری دمای آب در دو دوره گرم و سرد سال توسط

[1] Saimoer
[2] Sharp
[3] Wable
[4] Rossman



شکل ۱- شبکه توزیع آب آشامیدنی فاز یک شهر بهارستان و موقعیت گره‌ها

اندازه‌گیری دمای آب در سه نوبت در روز صورت گرفت و دمای میانگین در روز، به عنوان دمای روزانه آب در نظر گرفته شد. میانگین دمای آب اندازه‌گیری شده در دوره انجام آزمایش ۲۳/۸ و ۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای تابستان و زمستان به دست آمد (شکل ۲ و ۳).

نمونه‌برداری

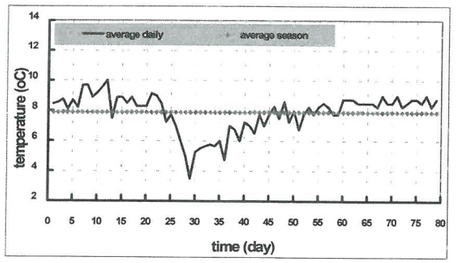
برای اندازه‌گیری کلر باقی‌مانده در طول شبانه‌روز، و استفاده از نتایج آن برای مدل و مقایسه نتایج حاصله با پیشگویی مدل، نیاز به سنجش کلر باقی‌مانده در طول مدت نمونه‌برداری بود. از طرفی به علت عدم وجود دستگاه‌های خودکار سنجش کلر باقی‌مانده و هزینه‌ی بالای تهیه آن‌ها از کشور سازنده، تدابیر ویژه‌ای نیاز بود. بنابراین قرار شد نمونه‌برداری توسط استقرار افراد در نقاط مشخص انجام، و سپس برای سنجش کلر باقی‌مانده به آزمایشگاه انتقال یابد. به این منظور چهار نقطه از شبکه مورد نظر و نقطه خروجی مخزن به عنوان نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند. انتخاب این نقاط، با هدف نمونه‌برداری دقیق‌تر و امکان بررسی رفتار کلر در شبکه بر اساس فاصله از منبع ذخیره، پراکندگی نسبتاً یکنواخت و امکانات نمونه‌برداری شبانه‌روزی صورت گرفت. نقاط نمونه‌برداری عبارت‌اند از گره‌های ۱۳، ۲۵، ۵۳ و ۷۹ (شکل ۱). البته در هنگام نمونه‌برداری به علت ترکیدگی لوله در تابستان گره ۷۹ از نمونه‌گیری خارج شد. برای بالا بردن دقت کار و وجود آب تازه از شبکه، شیرهای برداشت آب در کل زمان نمونه‌برداری به طور دائم باز، و آب دارای جریان بود.

میزان آب خروجی در تمام این نقاط به صورت جریان پیوسته با دبی ۱ لیتر در دقیقه بود. نمونه‌برداری توسط افراد مستقر در مکان‌ها و در فواصل زمانی یک‌ساعت در بطری‌های شیشه‌ای صورت می‌گرفت. نمونه‌ها پس از برداشت در کوتاه‌ترین مسیر برای سنجش کلر باقی‌مانده منتقل می‌شدند. برای داشتن تعداد نمونه کافی از یک نقطه و قابل مقایسه کردن آن‌ها با پیشگویی مدل ۲٤ نمونه در ۲٤ ساعت (هر یک ساعت) از مکان‌های فوق نمونه‌برداری صورت گرفت.

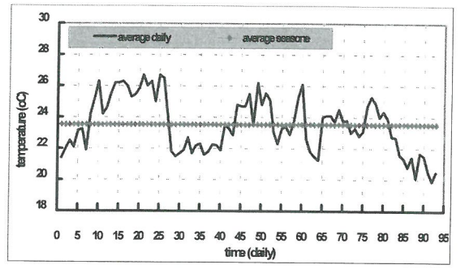
نمونه‌برداری مرحله اول از ساعت ۱۱ صبح روز پنج‌شنبه ۲۰ تیرماه شروع و تا ساعت ۱۱ صبح روز بعد ادامه داشت. نمونه‌برداری مرحله دوم از ساعت ۱۷ روز پنج‌شنبه ۲۰ بهمن ماه آغاز و در ساعت ۱۷ روز بعد خاتمه یافت. اندازه‌گیری کلر باقی‌مانده برای نمونه‌های جمع‌آوری شده به روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل DR/2000 ساخت شرکت HACH آمریکا با دقت یک‌صدم میلی‌گرم در لیتر و کاربرد مصرف DPD صورت می‌گرفت. بنابراین در این دو مرحله تعداد۲۱٦ نمونه آب از نظر کلر باقی‌مانده آزاد اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل مطالعات فیلدی:

برای آنالیز و بررسی اثر دما بر سینتیک زوال کلر بر روی سیستم توزیع آب از نسخه‌ی ۲ برنامه شبیه‌سازی شبکه آب EPANET سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالت متحده استفاده شد. EPANET یک برنامه کامپیوتری است که رفتار کیفی و هیدرولیکی آب را درشبکه لوله‌های تحت



شکل ۲- متوسط دمای آب شبکه توزیع شهر بهارستان در فصل تابستان سال ۱۳۷۹



شکل ۳- متوسط دمای آب شبکهٔ توزیع شهر بهارستان در فصل زمستان سال ۱۳۷۹

فشار آب در طول یک دوره زمانی ممتد شبیه‌سازی می‌کند. برنامه EPANET، سینتیک درجه اول را برای واکنش‌های حجمی آب و سینتیک درجه اول و صفر را در انتقال جرم برای واکنش دیواره لوله به کار می‌برد [۵].

برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی از قبیل طول، قطر، رقوم ارتفاعی و ضریب زبری از نقشه‌های موجود محل استفاده شد. این داده‌ها به عنوان داده‌های اولیه وارد برنامه گردید. میزان مصرف آب هرگره بر اساس نوع و تعداد واحدهای مسکونی در هر حلقه و قبض آب بها تعیین شد. میزان دبی خروجی از مخزن نیز با استفاده از یک فشارسنج جیوه‌ای کنترل و اندازه‌گیری شد. مدل‌های زوال کلر آزمایش شده شامل ترکیبی از مکانیزم‌های واکنشی زیر بود:

سینتیک واکنش حجمی آب

ضریب آهنگ واکنش حجمی (k_b) به طور مستقیم از نتایج آزمایش بطری به دست آمد. برای این آزمایش، بطری‌هایی از جنس شیشه زرد کهربایی رنگ به حجم ۵۵۰میلی‌لیتر با جریان خروجی از مخزن پر و در دمای ثابت معادل میانگین دمای آب اندازه‌گیری شده در دو فصل نگهداری شدند. سپس هر روز یکی از آن‌ها برای سنجش کلر باقی‌مانده آزاد برداشته می‌شد. شکل‌های ٤ و ۵ نمودار زوال کلر باقیمانده را در مقابل زمان نشان می‌دهد. با توجه به نمودارها، ثابت‌های زوال کلر توسط حجم آب برابر ۰/۵۳۳- بر روز با ضریب همبستگی R^2 =۰/۹۷۷ در تابستان و ۰/۲۰۷- بر روز با ضریب همبستگی R^2 =۰/۹٤۷ در زمستان به دست آمد. در مطالعات انجام شده بر روی کلر مصرفی آب خام تصفیه‌خانه چری‌هیل که توسط روسمن و همکاران انجام شد، زوال کلر برابر ۰/۵۵ بر روز به دست آمد [٦]. جدول ۱، مقدار این ضریب برای ۱۱ منبع آب را نشان می‌دهد. همان طور که نتایج آزمایش نشان می‌دهد مقادیر حاصل شده برای منابع آب کاملاً متفاوت است. به طوری که این ضریب بین ۰/۰۸۲ تا ۱۷/۷ بر روز می‌باشد [۷].

سینتیک انتقال جرم

ظاهر شدن آهنگ واکنش دیواره (نه ثابت واکنش) در اثر میزان کلری است که از جریان حجمی آب به دیواره منتقل می‌شود. این فرایند توسط یک لایه‌ی مقاوم از انتقال جرم در طول لوله مدل می‌شود که نرخی از کلر به صورت هیدرودینامیکی به دیواره منتقل می‌شود. این انتقال متناسب با غلظت کلر بین حجم آب و دیواره می‌باشد. برنامه، این پارامتر را با تغییرات مقدار ویسکوزیته دینامیکی آب و انتشار مولکولی کلر در آب نسبت به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در نظر می‌گیرد. ویسکوزیته دینامیکی آب با توجه به دو دمای نمونه‌برداری برابر ۰/۹۲ و ۱/٤۳ و انتشار ملکولی گاز کلر در آب نیز برابر ۱/۵۹۳ و ۰/۹٦٤ به ترتیب برای تابستان و زمستان بود.

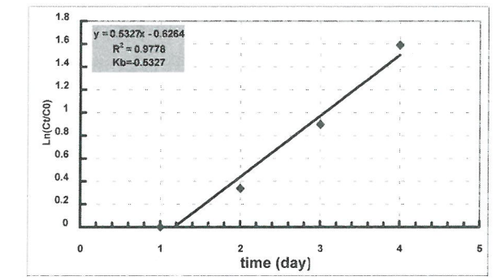
سینتیک واکنش دیواره

کالیبره کیفیت آب با تعدیل نتایج ضرایب واکنش کلر با جدار لوله (kw) برای تناسب وضعیت بهتر شدن بین پیشگویی مدل و مشاهدات اندازه‌گیری در مطالعه صحرایی صورت گرفت. برای تعیین این ضریب از روش سعی و خطا استفاده می‌شود به این منظور با تغییر میزان این ضریب و درجهٔ واکنش آن و سپس مقایسه نتایج حاصل از

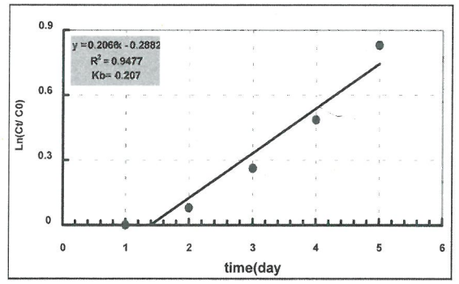
جدول ۱- مقدار ضریب زوال حجمی کلر برای ۱۱ منبع آب [٦]

منابع آب	pH	دما ℃	کربن آلی کل (mg/l)	کلر آزاد (mg/l)	ضریب زوال حجمی day^{-1}
تصفیه‌خانه بلینگهام	۸/۰۵	۱۷/٤	۰/۸٤	۰/۷۲	۰/۸۳۳
تصفیه‌خانه فایرفیلد	۸/۱۵	۱۷/۹	۱/۸۷	۱/۷۳	۱/۱٦
ایستگاه پمپاژ ابرلاین هاریس برگ	۷/۵۲	۱٦/٤	۱/۷۳	۰/۹۸	۰/۲۳۲
رودخانه روسین مارین شمالی	۷/٤۲	۲۲/۲	۰/۵٦	۰/۳۱	۱/۳۲
تصفیه‌خانه دریاچه استافورد مارین شمالی	۸/۸۵	۲۱/۹	۳/۵۵	۰/٤۹	۱۷/۷
مخلوط ۵/۵۰ آب رودخانه و دریاچه استافورد مارین شمالی	۷/۹۲	۲۲/۱	–	۰/٤	۱۰/۸
رودخانه کی ستون پن شمالی	–	۱٦/۲	۰/۷۹	۱/٦۵*	۰/۰۸۲
تصفیه‌خانه پارک جنگلی پن شمالی	–	۱۳/۲	۱/٦٤	۱/۳۰*	۰/۷٦۷
مخلوط ۵/۵۰ آب رودخانه کی ستون و تصفیه‌خانه پارک جنگلی پن شمالی	–	۱٤/۷	۱/۲۳	۱/۳۸*	۰/۲٦٤
چاه شماره ۱۷ پن شمالی	–	۱٤/۸	۱/۰٦	۰/۵*	۰/۳۵۵
چاه شماره ۱۲ پن شمالی	–	۱۸/۳	۰/۵۲	۰/۸۵*	۰/۱۰۲

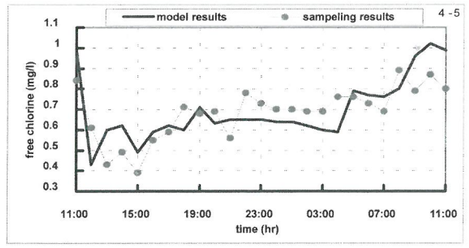
* کلر کل اندازه‌گیری شده.



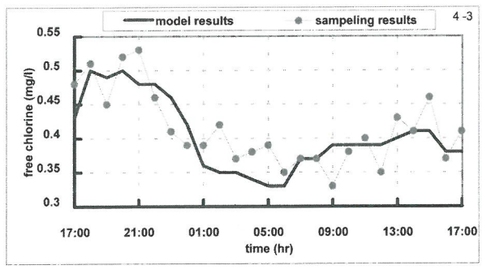
شکل ٤- زوال غلظت کلر آزاد در دمای ثابت
۲٤درجه سانتیگراد



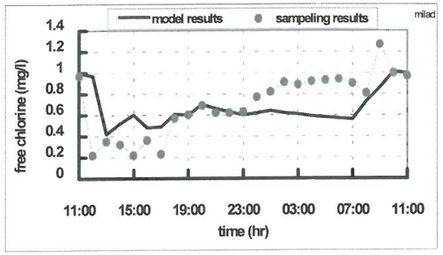
شکل ٥- زوال غلظت کلر آزاد در دمای ثابت
۷ درجه سانتیگراد



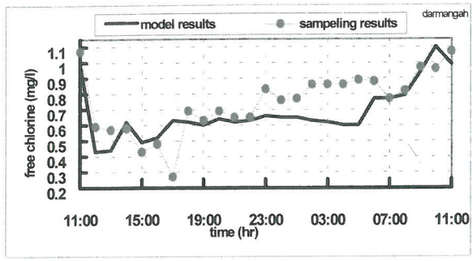
شکل ٦- تغییرات کلر اندازه‌گیری شده و پیشگویی مدل در گره ۲۵ با واکنش درجه صفر با k_w=-3 برای دیواره لوله در بیستم تیرماه



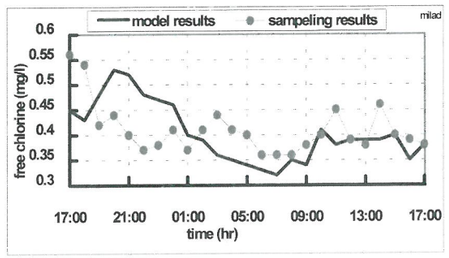
شکل۷- تغییرات کلر اندازه‌گیری شده و پیشگویی مدل در گره ۲۵ با واکنش درجه صفر با kw=-2 برای دیواره لوله در بیستم بهمن ماه



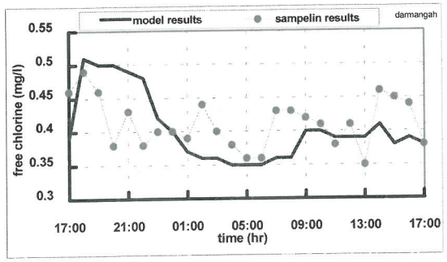
شکل ۸- تغییرات کلر اندازه‌گیری شده و پیشگویی مدل در گره ۵۳ با واکنش درجه صفر با kw=-3 برای دیواره لوله در بیستم تیرماه



شکل ۹- تغییرات کلر اندازه‌گیری شده و پیشگویی مدل در گره ۱۳ با واکنش درجه صفر با kw=-3 برای دیواره لوله در بیستم تیرماه



شکل ۱۰- تغییرات کلر اندازه‌گیری شده و پیشگویی مدل در گره ۱۳ با واکنش درجه صفر با k_w=-2 برای دیواره لوله در بیستم بهمن ماه



شکل ۱۱- تغییرات کلر اندازه‌گیری شده و پیشگویی مدل در گره ۵۳ با واکنش درجه صفر با kw=-2 برای دیواره لوله در بیستم بهمن ماه

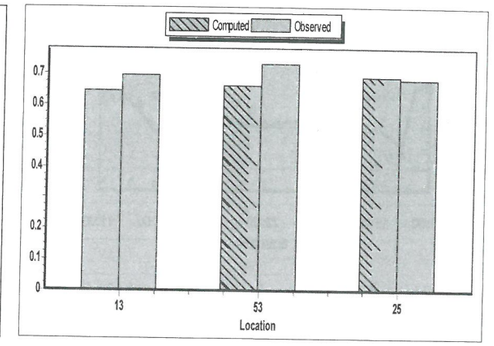
اندازه‌گیری در محل و نتایج مدل مقدار سینتیک واکنش دیواره محاسبه شد. برای انتخاب بهترین ضریب سینتیک دیواره و درجهٔ واکنش آن از نتایج آماری خطای ریشهٔ میانگین مربعات (RMSE) و ارتباط بین میانگین‌های اندازه‌گیری شده در مطالعه صحرایی و پیش‌گویی مدل شکل‌های ۱۲ و ۱۳ برای دو مرحله نمونه‌برداری استفاده شد. به این ترتیب ضریب زوال دیواره برابر ۳- و۲- میلی‌گرم بر مترمربع بر روز برای فصل تابستان و زمستان به ترتیب با درجه واکنش صفر انتخاب شدند. شکل‌های ٦ تا ۱۱ نمودارهای حاصل از انتخاب این ضرایب و درجه واکنش دیواره را برای مکان‌های نمونه‌برداری، و شکل‌های ۱٤ و ۱۵ توزیع کلر را در سیستم توزیع نشان می‌دهد.

مقایسه صورت گرفته بین نتایج اندازه‌گیری و پیشگویی مدل توسط جان[1] [۷] و همکاران، بر روی سیستم توزیع آب هاریس بارگ در شکل ۱٦ نشان داده شده است. این مقایسه برای یک دمای ثابت انجام شده و واکنش در نظر گرفته برای حجم آب و دیواره لوله به ترتیب درجه اول و درجه صفر می‌باشد. به عبارتی با فرض‌های فوق منحنی‌های رسم شده بین نتایج مدل و نتایج صحرایی بهتر منطبق شده‌اند. در صورتی که به کار بردن تنها ضریب زوال حجمی کلر برای مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده، نتیجه خوبی نداده است. (شکل ۱۷).

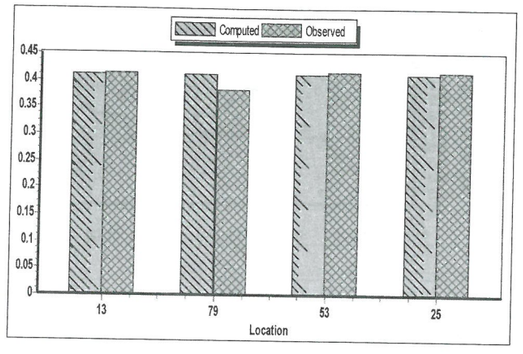
بحث و نتایج

پارامترهای مؤثر بر غلظت کلر باقی‌مانده در زمان t در شبکه‌های توزیع آب عبارت‌اند از: غلظت اولیه کلر، زمان ماند، کیفیت آب (عامل مؤثر بر ثابت زوال کلر در حجم آب)،جنس و عمر لوله (عامل مؤثر بر ثابت زوال کلر در دیواره لوله)، شعاع هیدرولیکی لوله، قطر لوله و درجه حرارت. بررسی دماهای اندازه‌گیری نشان می‌دهد که تغییرات دمای آب در دو فصل گرم و سرد سال اختلاف قابل توجهی برابر ۱۵ درجه سانتی‌گراد دارند. این تغییرات

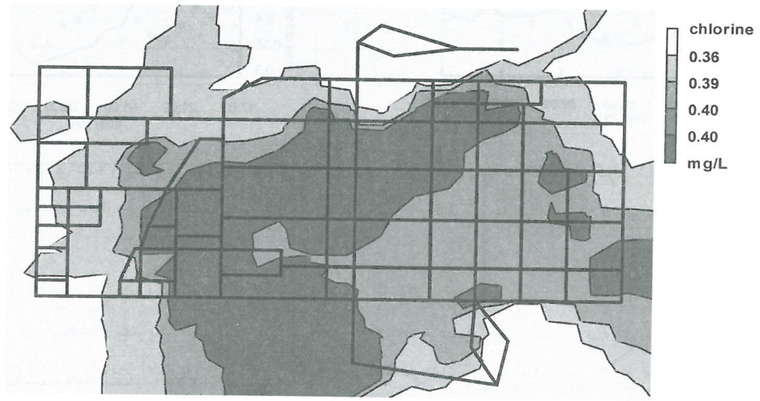
[1] John



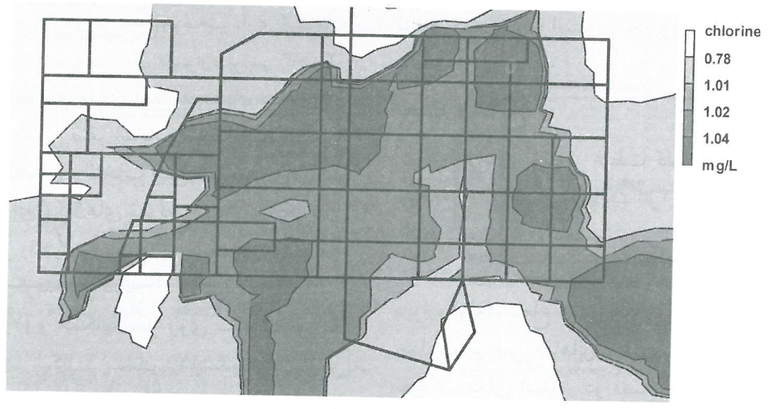
شکل ۱۲- مقایسه میانگین مقادیر برای کلر اندازه‌گیری شده و پیش‌گویی مدل در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در بیستم تیر ماه با شرایط : واکنش درجهٔ یک با k_b=-0.533 برای آب و درجهٔ صفر با k_w=-3 برای دیواره لوله



شکل ۱۳- مقایسه میانگین مقادیر برای کلر اندازه‌گیری شده و پیش‌گویی مدل در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در بیستم بهمن ماه باشرایط : واکنش درجهٔ یک با k_b=-0.207 برای آب و درجهٔ صفر با k_w=-2 برای برای دیواره لوله



شکل ١٤- توزیع کلر آزاد باقی‌مانده در شبکه آب آشامیدنی شهر بهارستان در ساعت ١٠ صبح در بیستم بهمن ماه ١٣٧٩



شکل ١٥- توزیع کلر آزاد باقی‌مانده در شبکهٔ آب آشامیدنی شهر بهارستان در ساعت ١٠صبح بیستم تیر ماه ١٣٧٩

می‌تواند بر ضرایب سینتیکی مربوط به زوال کلر و در نتیجه میزان کلر مصرفی و کلر باقی‌مانده آزاد در شبکه تأثیر داشته باشد. در این مطالعه اثر دما بر روی سینتیک زوال کلر در حجم آب کاملاً مشهود بوده به طوری که تفاوت این دو ضریب در تابستان و زمستان بیش از دو برابر می‌باشد. در صورتی که تغییرات سینتیک زوال کلر در دیواره لوله در دو مرحله نمونه برداری خیلی کم است. نزدیک بودن مقادیر زوال دیواره به صفر و عدم اختلاف آن‌ها را می‌توان مربوط به نو بودن شبکه (ناچیز بودن یا عدم وجود لایهٔ بیولوژیکی مصرف کننده کلر در دیواره) و نوع و جنس لوله (پلی‌اتیلن با ضریب زبری هیزن بالا؛ ١٥٠-١٤٠ = C_H) دانست. به صورتی که می‌توان گفت دیواره لوله در زوال کلر شبکه توزیع در این مطالعه دخالتی ندارد. اثر دما بر سینتیک انتقال جرم از حجم آب به دیواره لوله که ناشی از ویسکوزیته و پخش مولکولی کلر در آب است، قابل ملاحظه می‌باشد. به طوری که اختلاف این دو پارامتر در فصل گرم ١/٦ برابر فصل سرد سال است.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که دما بر روی کلر باقی‌مانده آزاد در شبکه‌های توزیع آب با تأثیر بر ضرایب سینتیکی مصرف کلر قابل توجه است. این اثر می‌تواند ازدیاد مصرف کلر برای رسیدن به غلظت مطلوب کلر آزاد باقی‌مانده در فصول گرم سال را به دنبال داشته باشد. با بررسی چگونگی توزیع کلر، تعیین این ضرایب با توجه به دمای آب در شبکه توزیع، تعیین نقاط و زمان‌های تزریق کلر می‌توان مقدار کلر باقی‌مانده را در سیستم شبکه‌های آب آشامیدنی بهینه نمود و از آلودگی‌های میکروبی و یا ترکیبات جانبی کلرزنی نظیر تری‌هالومتان‌ها در آب جلوگیری کرده هزینهٔ مصرف کلر را نیز کاهش داد.

توصیه‌ها و پیشنهادات

بر اساس تجربیات حاصل از این مطالعه پیشنهادات و توصیه‌های زیر ارائه می‌گردد:

١- با استفاده از این سیستم می‌توان مقدار کلر باقی‌مانده را در نقاط مختلف بررسی کرده و نقاط بحرانی را شناسایی کرد.

٢- با توجه دمای آب در فصول مختلف سال می‌توان مقدار کلر باقی‌مانده را بهینه نمود و به این ترتیب در میزان مصرف کلر صرفه‌جویی کرد.

٣- بهینه کردن کلر کلیه شبکه‌های توزیع آب به منظور کاهش خطرات جانبی و آلودگی‌های ثانویه با استفاده از مدل‌های کیفی آب نظیر EPANET .

٤- انتخاب یک ماده شیمیایی سالم و واکنش ناپذیر به عنوان یک ردیاب در مطالعات فیلدی برای کالیبره کردن مدل.

٥- استفاده از سنسورها به صورت ترکیب با سیستم تله‌متری در مکان‌های استراتژی در سیستم توزیع برای کالیبره کردن مداوم و جاری مدل‌های کیفی آب.

منابع و مراجع

١- علیان کوپایی ،ت.، (١٣٨٠). " *مقایسه تغییرات ضرایب سینتیکی زوال کلر در شبکه توزیع آب بهارستان در دو فصل گرم و سرد سال*" *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان.

1- Goto, K., (1988). *"Residual Chlorine Concentration Decreasing Rate Coefficients for Various Pipe Material"*, 17th LWSA Water Supply Conf., 7(2), Rio de Janerio, Brazil.

2- Saunier, B. M. and Jarrige, P. A., (1990). *"Evalution of Water Quality in Potable Water Distribution Networks: Diagnosis and Modeling"* Jour. Information Eau, Poitiers, Farnce.

3- Sharp, W. W. , Pfeffer, J. and Morgan, M., (1991). *"In Situ Chlorine Decay Rate Testing"* Proc. AWWA, RF/USEPA Conf. On Water Quality Modeling in Distribution Systems, Cincinnati.

4- Wable, O. Etal., (1991). *"Modeling Chlorine Concentration in a Network and Application to Paris Distribution Network"* Proc. AWWARF/USEPA Conf. On Water Quality Modeling in Distribution Systems, Cincinnati.

5- Rossman, L. A., (1996).*"EPANET User,s Manual"*, Rick Management Research Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency Cincinnati Ohio.

6- Rossman, L.A., (1994). *"Modeling Chlorine Residual in Drinking Water Distribution System"*, Journal of Environmental Engineering, Vol. 120, No.4.

7- John J., Vascon L.A., and et. Al, (1996). *"Kinetics of Chlorine Decay"*, Journal of AWWA, Vol. 89, Juss. 7, pp 54-65.