مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۵/ شماره ۱/ پیاپی ۴۰/ بهار ۱۴۰۰ (۴۵-۵۳)

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی عددی پارامترهای کمّی و کیفی در شبکه‌های آبرسانی با نرم‌افزار WaterGEMS

مهدی ابراهیمی[۱] و میرعلی محمدی[۲*]

چکیده

مادۀ شیمیایی کلر برای چندین دهه، به‌عنوان بهترین مادۀ ضدعفونی‌کننده یا بخشی از فرایند تصفیۀ آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گرفته است؛ با وجود این، غلظت‌های کلر بیش از ۳ میلی‌گرم در لیتر در آب آشامیدنی، برای سلامتی انسان خطرناک است. در این پژوهش، شبکۀ توزیع آب منطقۀ وحیدیه، واقع در غرب استان تهران، به‌وسیلۀ مدل عددی WaterGEMS شبیه‌سازی شد. در این شبیه‌سازی، اصول حاکم بر طراحی شبکه‌های آبرسانی، برای نائل شدن به تعدادی از پارامترهای کیفی مربوط به مادۀ شیمیایی کلر (از جمله سن آب، غلظت کلر و ردیابی آن)، رعایت و در این مدل‌سازی، سه سناریوی مختلف با افزوده شدن کلر غیرمجاز (بیش از ۳ میلی‌گرم در لیتر) به مخزن‌های توزیع آب و مخازن تنظیم فشار، در نظر گرفته شد. همچنین در مدل‌سازی، به بررسی تعدادی از پارامترهای کمّی (مانند دبی و سرعت جریان آب و افت انرژی) نیز در لوله‌های شبکه آبرسانی منطقه وحیدیه، پرداخته شده و نتایج مدل‌سازی برای سه لولۀ منتخب در نقاط مختلف شبکه مورد بحث قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد، محاسبۀ سن آب در لولۀ شماره ۱۸ حدود ۳ برابر سن آب در لولۀ شماره ۱۶۸ است. غلظت کلر در لوله شماره ۱۶۸ (لوله نزدیک‌تر به مخازن آب)، ۱۰% بیشتر از دو لوله دیگر و بسیار نزدیک به غلظت کلر در مخازن آب بود. با توجه به موضوع ردیابی کلر برای پی بردن به منبع آلودگی، آب لولۀ شماره۲۹۳، یقیناً از مخزن تنظیم فشار شمارۀ ۲ تأمین شده است. طبق نتایج مدل‌سازی پارامترهای کمّی، حداکثر سرعت جریان در لولۀ شماره ۱۸ (۰/۳ متر در ثانیه) به دست آمد که نشان از احتمال رسوب‌گذاری املاح موجود در آب دارد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای کمّی و کیفی، ردیابی کلر، سن آب، غلظت کلر، مدل عددی WaterGEMS، منطقه وحیدیه.

ارجاع: ابراهیمی م. و محمدی م. ۱۴۰۰. شبیه‌سازی عددی پارامترهای کمّی و کیفی در شبکه‌های آبرسانی با نرم‌افزار WaterGEMS. مجله پژوهش آب ایران. ۴۰: ۴۵-۵۳.

1- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه.
2- دانشیار گروه مهندسی عمران- هیدرولیک و مکانیک مهندسی رودخانه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه.
*** نویسنده مسئول**: **m.mohammadi@urmia.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۸

مقدمه

از توانمندی‌های مهم مدل عددی WaterGEMS شبیه‌سازی غلظت مواد شیمیایی محلول در آب است. این موضوع از گذشته مورد توجه کارشناسان حوزهٔ کیفیت آب بوده است. مهم‌ترین مادهٔ شیمیایی که در فرایند تصفیهٔ آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، مادهٔ کلر است که غالباً به‌صورت گاز کلر به آب مخازن تزریق می‌شود؛ بنابراین آگاهی از غلظت این ماده برای سلامت جامعهٔ مصرف آب، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. کلر به عنوان مادهٔ گندزدا شناخته می‌شود؛ در صورتی‌که غلظت مادهٔ مذکور بیشتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر باشد (تزریق مقادیر غیرمجاز سهوی یا عمدی)، سبب مسمومیت و عوارض نامطلوب در انسان‌ها خواهد شد (شریعت‌پناهی، ۱۳۶۸)؛ بنابراین باید غلظت این ماده در شبکهٔ آبرسانی پایش شود. علاوه بر تعیین غلظت کلر با مدل عددی WaterGEMS می‌توان به بررسی پارامترهای مربوط به سن آب و ردیابی کلر پرداخت. منظور از سن آب در شبکهٔ آبرسانی، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا آب، پس از ورود به شبکه موردنظر، مصرف شود. منظور از ردیابی کلر، این است که اگر غلظت مادهٔ مذکور در یک لوله از شبکهٔ آبرسانی، غیرمجاز تشخیص داده شود، آب موردنظر از کدام یک از اجزای شبکهٔ آبرسانی (مخزن) و با چه احتمالی تأمین شده است؟ به عبارت دیگر، مسیر حرکت آب تا رسیدن به جزء مورد نظر چگونه بوده است؟ برای تحلیل موضوعات نام‌برده، ابتدا باید شبکهٔ آبرسانی منطقه موردنظر، با توجه به اصول طراحی شبکه‌های آب (ضوابط مرتبط با جمعیت طرح، سرانهٔ مصرف، سرعت، فشار، انتخاب قطر و جنس لوله‌ها و ...) با نرم‌افزار WaterGEMS مدل‌سازی شود. در مقالهٔ حاضر، منطقهٔ وحیدیه، در شهرستان شهریار، واقع در غرب استان تهران مدل‌سازی شد. همچنین برای بررسی ابعاد مختلف موضوع پژوهش، سناریوهای مختلفی برای تزریق کلر در مخازن موجود در منطقه، لحاظ شد. تعدادی از پارامترهای کمی، مانند سرعت، افت انرژی و دبی آب نیز در لوله‌های منتخب شبکهٔ آبرسانی موردنظر، محاسبه می‌شوند. در ادامه به بررسی پژوهش‌هایی که در این زمینه با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS انجام شده است، پرداخته می‌شود. آراجو و همکاران (۲۰۰۶) با تعریف یک تابع هدف، فشار و در نتیجه نشت در شبکهٔ توزیع را حداقل کردند. به‌علاوه آنان با روش الگوریتم ژنتیک، تعداد و موقعیت شیرهای کاهندهٔ فشار و میزان بازشدگی دریچه‌ها را برای کنترل فشار آب، بهینه کردند. لیهیو و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شبکه‌های عصبی، به این نتیجه رسیدند که مدیریت نوین سامانه توزیع آب، به آن‌دسته از مدل‌های کیفیت آب نیازمندند که می‌توانند دینامیک تغییرات کیفیت آب در محیط سامانه توزیع را به‌درستی پیش‌بینی کنند. راموس و همکاران (۲۰۰۸) عملکرد سامانهٔ تأمین آب برای لوله‌ها با مواد مختلف را مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که در شبیه‌سازی فشار حالت پایدار، تفاوت معناداری بین مواد لوله چدنی و پلی‌اتیلن وجود نداشت. همچنین عملکرد نوسان فشار در شبکهٔ پلی‌اتیلن، نسبت به شبکهٔ چدنی بهتر است. کریمی (۱۳۹۳) با استفاده از مدل WaterGEMS به کالیبراسیون فشار در شبکهٔ آبرسانی زاهدان پرداخت. وی با انجام اصلاحات در شبکهٔ آبرسانی مذکور، نشان داد که فشار متوسط در شبکه، از ۲۳ متر ستون آب در وضعیت موجود، به ۳۱ متر ستون آب خواهد رسید که باعث توزیع مناسب فشار و تقلیل افت در لوله‌ها می‌شود. آتشی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی مشکلات شبکهٔ آبرسانی شهرستان برازجان در استان بوشهر پرداختند. آنان راهکارهایی برای رفع مشکلات آن، با استفاده از مدل WaterGEMS ارائه کردند که جواب‌گوی نیاز آبی حداقل و حداکثر مصرف روزانه با رعایت سرعت و فشار مناسب در شبکه باشد. تیموری (۱۳۹۴) با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS به بررسی سناریوهای مختلف مدیریت فشار در بخشی از شبکه آبرسانی گرگان پرداخت. وی نشان داد از بین سناریوهای مختلف مدیریت فشار که باعث جلوگیری از نشت آب، حوادث شبکه و مدیریت مصرف می‌شود، سناریوی اضافه کردن لولهٔ مستقیم از مخزن به مناطق کم‌فشار به همراه شیر فشارشکن در مناطق پرفشار، کارایی بیشتری خواهد داشت. توسلی (۱۳۹۵) به مدل‌سازی میزان کلر باقیمانده در شبکهٔ آبرسانی شبستر با استفاده از نرم‌افزار EPANET پرداخت. وی، هدف از پژوهش خود را تنظیم مقدار حداقل و حداکثر کلر مصرفی در شبکهٔ آبرسانی مذکور، عنوان کرد. سنگی و نیسی (۱۳۹۶) به مدل‌سازی و تحلیل شبکه توزیع آب شهر شادگان در استان خوزستان به کمک نرم‌افزار WaterGEMS پرداختند. با توجه به کمبود فشار در ناحیهٔ انتهایی شهر، با مدل‌سازی و تحلیل خطوط

پیشنهادی در نرم‌افزار و انجام عملیات اجرایی مناسب، مشکل افت فشار منطقه، مرتفع شد. غیبی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از نرم‌افزار EPANET به ارزیابی اثر تغییرات سن و جنس لوله‌ها بر زوال جداره‌ای کلر در شبکه آبرسانی شهر پلینز جورجیا آمریکا پرداختند. آنان نتیجه گرفتند دو پارامتر مذکور، عوامل مؤثری در زوال جداره‌ای کلر در شبکه آبرسانی هستند. آقاسی (۱۳۹۷) به ارائه مدلی برای تعیین نقاط مناسب تزریق کلر در بخشی از شبکهٔ آبرسانی مشهد با نرم‌افزار WaterGEMS پرداخت. وی نتیجه گرفت تعیین نقاط مناسب برای تزریق کلر به هندسهٔ شبکه، قطر لوله‌ها، سرانهٔ مصرف و الگوی مصرف وابسته است. جوادی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل عددی WaterGEMS شبکهٔ آبرسانی را در شهرستان سمیرم واقع در استان اصفهان شبیه سازی کردند. آنان با به‌کارگیری دو حالت شبکه پمپی و شبکهٔ ثقلی نتیجه گرفتند میزان کلر مصرفی در روش پمپی ۷ درصد کمتر از روش ثقلی است. همچنین در روش پمپی، مدیریت کیفی آب، تضمین می‌شود و هزینه‌ها نیز کاهش می‌یابد. ویدهی و گیتا (۲۰۱۹) با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS غلظت ماده شیمیایی کلر و نیز تخمین هزینه نهایی سامانه آبرسانی یک منطقهٔ روستایی را در هندوستان بررسی کردند. نتیجهٔ پژوهش، حاکی از استاندارد بودن غلظت کلر باقیمانده (کمتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر) در لوله‌های شبکه داشت. پژوهش‌های انجام شده پیشین، بسیار ارزشمند هستند و در تحلیل‌های این پژوهش، بسیار مؤثر بوده‌اند؛ اما در مقالهٔ حاضر، سعی شد با محاسبه پارامترهای مهم کمی و کیفی آب در لوله‌های منتخب شبکهٔ آبرسانی منطقهٔ وحیدیه (که تاکنون پژوهشی در این زمینه انجام نشده است)، نگاه جامع‌تری به طراحی و کنترل شبکه‌های آبرسانی، در ذهن پژوهشگران این حوزه، شکل بگیرد. این نگاه کامل‌تر، به کنترل کیفی و کمی مؤثرتر آب، جهت تأمین نیازهای جامعهٔ مصرف آب، هدایت خواهد شد. در این مقاله، به بررسی موارد ذیل پرداخته شده است که جای خالی مجموعه آن‌ها در پژوهش‌های پیشین مشاهده شده است:

الف- مدل‌سازی زمان ماند آب (تعیین سن آب) در لوله‌های منتخب شبکه؛

ب- مدل‌سازی غلظت کلر در لوله‌های منتخب شبکه؛

ج- ردیابی کلر در لوله‌های منتخب که دارای آلودگی شیمیایی با غلظت‌های غیرمجاز کلر هستند؛

د- مدل‌سازی پارامترهای سرعت، افت انرژی و دبی آب در لوله‌های منتخب، برای بهینه‌سازی عملکرد شبکهٔ آبرسانی.

مواد و روش‌ها

نرم‌افزار WaterGEMS

نرم‌افزار WaterGEMS ابزاری توانمند برای شبیه‌سازی پارامترهای کمی و کیفی آب در شبکه‌های آبرسانی بوده که توسط شرکت Haestad Methods آمریکا طراحی شده است و زیر نظر انجمن هیدرولیک آمریکا فعالیت دارد (نظری، ۱۳۹۰). نرم‌افزار مذکور را می‌توان پیش از اجرای شبکهٔ آبرسانی، برای طراحی و پس آن نیز برای رفع نواقص و بهینه کردن عملکرد هیدرولیکی آن به کار برد. مهم‌ترین اجزای شبکه‌های آبرسانی شامل لوله‌ها، گره‌ها، شیرها، پمپ‌ها، مخازن تأمین فشار و مخزن‌های آب است. مراحل تحلیل شبکهٔ توزیع آب در مدل عددی مذکور، عبارت است از الف- ترسیم شبکه بر اساس مختصات گره‌ها، ایجاد خطوط لوله و تعیین عناصر کنترل هیدرولیکی شبکه (پمپ، شیر فشارشکن و ...)؛ ب- تعریف مشخصات هیدرولیکی شبکه (ارتفاع‌های معادل فشار، جنس لوله‌ها، تیپ اتصالات و ...)؛ ج- تعیین شیوهٔ عملکرد هیدرولیکی شبکهٔ توزیع (منحنی‌های توان و فشار پمپ، توابع زمانی مصرف در گره‌ها و ...)؛ د- تعیین روش آنالیز شبکه بر اساس مشخصات طرح؛ ه- انجام تحلیل هیدرولیکی و تعیین وضعیت سرویس‌دهی شبکه و ی- نمایش نتایج تحلیل کمی و کیفی شبکه (تابش، ۱۳۹۵).

مشخصات منطقهٔ مورد بررسی و پارامترهای مهم در طراحی سیستم آبرسانی

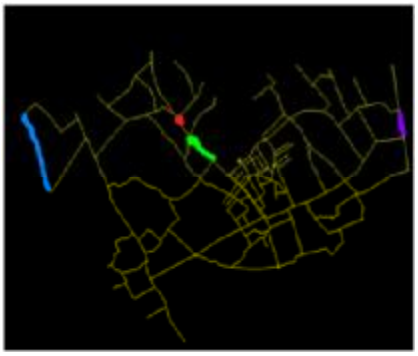
منطقهٔ وحیدیه از توابع شهرستان شهریار در استان تهران و در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۱ درجه و یک دقیقهٔ طول شرقی قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۲۰ متر است. دورهٔ طرح سامانهٔ آبرسانی در این شهر ۳۰ ساله (۱۳۸۵-۱۴۱۵) در نظر گرفته شده است. همچنین جمعیت منطقهٔ مورد بررسی، در سال پایانی طرح، حدود ۷۸۶۰۰ نفر برآورد شد (بر اساس محاسبه میزان رشد در دوره‌های قبلی و استفاده از روش رشد هندسی). همچنین میزان مصرف سرانهٔ کل

(مجموع مصارف خانگی، عمومی، تجاری، صنعتی، فضای سبز و تلفات) در سال پایانی افق طرح (۱۴۱۵)، ۲۱۵ لیتر در روز برآورد شد (طبق توصیه‌های نشریه ۱۱۷-۳ سازمان برنامه و بودجه و روش تجربی کاپن)؛ بنابراین میزان مصرف آب در شبکهٔ مذکور، ۱۹۵ لیتر در ثانیه خواهد بود. همچنین ضریب حداکثر مصرف روزانه، برابر ۱/۵ است که با توجه به اقلیم منطقهٔ موردنظر، انتخاب شد. آب منطقهٔ موردنظر در گذشته، از پنج حلقه چاه آب تأمین می‌شد که در طراحی سامانهٔ جدید آبرسانی، دو مخزن بتنی زمینی به حجم هر کدام ۵۰۰۰ مترمکعب تقریباً در وسط شبکه آبرسانی برای جمع‌آوری آب آن‌ها، در نظر گرفته شده است که مکان دو مخزن مذکور با رنگ قرمز مشخص شده است. (شکل ۱) (رنگ قرمز در شکل ۱). تعداد دو مخزن تنظیم فشار آب نیز با حجم هر کدام ۵۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شد. همچنین به‌دلیل وضعیت توپوگرافی محدودهٔ موردنظر (شیب ثقلی کم)، یک ایستگاه پمپاژ نیز در کنار این مخازن لحاظ شده است. علاوه بر این‌ها، یک واحد کلرزنی در نزدیکی مخزن، برای سالم‌سازی آب منطقهٔ موردنظر طراحی شده که مقدار حداکثر تزریق کلر به آب مخزن، سه میلی‌گرم در لیتر خواهد بود. جنس لوله‌ها با توجه به معیارهای خوردگی و سهولت حمل، نصب و تعمیر عمدتاً پلی‌اتیلن انتخاب شده است. محدودهٔ قطر لوله‌های شبکه بین ۱۱۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر می‌باشد. عمر لوله‌های مورد استفاده، برای دورهٔ طرح (۳۰ سال)، جواب‌گو خواهد بود. برای انجام مدل‌سازی شبکهٔ آبرسانی مربوطه، ابتدا در محیط نرم‌افزار AutoCAD گره‌ها و لوله‌های شبکه ترسیم می‌شوند. پس از انجام اصلاحات نهایی، اطلاعات وارد نرم‌افزار WaterGems می‌شود. در این مرحله، لازم است تا کد ارتفاعی مربوط به گره‌ها، از نرم‌افزار ArcView استخراج شود. مرحلهٔ بعدی، تعریف سایر اجزای شبکه، الگوی مصرف و سناریوهای مختلف خواهد بود. در نهایت، به آنالیز شبکه و تحلیل گزارش‌ها خواهیم پرداخت. پس از مدل‌سازی سامانهٔ آبرسانی، شبکهٔ وحیدیه دارای ۲۷۰ گره و ۳۳۰ قطعه لوله است (شکل ۱).

نتایج و بحث

بخش اول - پارامترهای کیفی آب

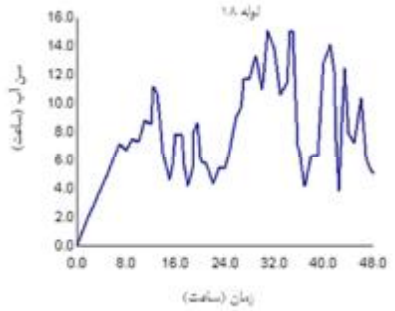
برای تبیین موضوع مقالهٔ حاضر، غلظت کلر در لوله‌های منتخب شماره ۱۸، ۱۶۸ و ۲۹۳ که به‌ترتیب در سمت‌های چپ، وسط و راست شبکهٔ آبرسانی واقع شده‌اند (رنگ‌های آبی، سبز و بنفش شکل ۱) در یک دورهٔ شبیه‌سازی ۴۸ ساعته، تحت سه سناریوی مختلف، بررسی شد که این رویکردها عبارتند از: سناریوی شماره یک: غلظت پایه کلر در حالت عادی در مخازن آب، مخزن‌های تنظیم فشار، پمپ‌ها، شیرها و گره‌ها به ترتیب برابر ۰/۱و۱،۱،۰،۵،۲ میلی‌گرم در لیتر؛ سناریوی شمارهٔ دو: غلظت کلر در مخازن آب به عدد ۱۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که در سایر اجزا همان مقادیر قبلی هستند و سناریوی شماره سه: غلظت کلر در مخزن‌های تنظیم فشار به ۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که در بقیهٔ اجزا، شرایط سناریوی شمارهٔ دو حاکم است. پارامترهای مربوط به سن آب، غلظت کلر و ردیابی آن، طبق الگوی مصرف ساعتی، با نرم‌افزار WaterGEMS محاسبه می‌شوند.



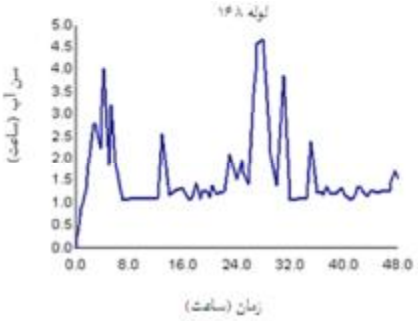
شکل ۱- نمایشی از شبکه آبرسانی وحیدیه در نرم‌افزار Water GEMS

الف- محاسبهٔ سن آب در لوله‌های منتخب

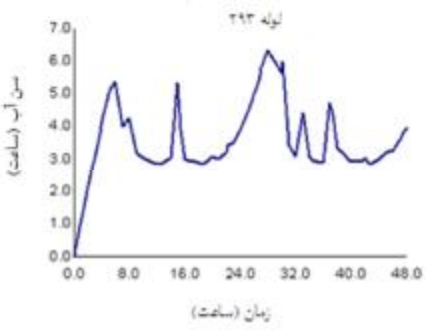
شکل‌های ۲ تا ۴ مربوط به محاسبهٔ سن آب در لوله‌های منتخب شبکه است. همان‌گونه که در شکل‌های ۲ تا ۴ مشاهده می‌شود، سن آب در لولهٔ شماره ۱۸ بیشتر که حداکثر آن در حدود ساعت ۳۲ از دورهٔ شبیه‌سازی با مقدار ۱۵ ساعت رخ داده است. علت آن‌را با توجه به منطقهٔ وحیدیه، می‌توان وجود جمعیت کمتر مصرف‌کنندهٔ آب، در اطراف این لوله دانست. همچنین مشاهده می‌شود حداکثر سن آب در لولهٔ شماره ۱۶۸ کمتر از لولهٔ شمارهٔ ۲۹۳ و کمتر از ۵ ساعت شده است؛ بنابراین حداکثر سن آب در لولهٔ شمارهٔ ۱۸ حدود ۳ برابر حداکثر سن آب در لولهٔ شماره ۱۶۸ می‌باشد. بدیهی است هرچه سن آب در یک لوله بیشتر باشد، آب لولهٔ موردنظر، برای افراد مصرف‌کننده، کیفیت پایین‌تری خواهد داشت.



شکل ۲- سن آب در لوله شماره ۱۸



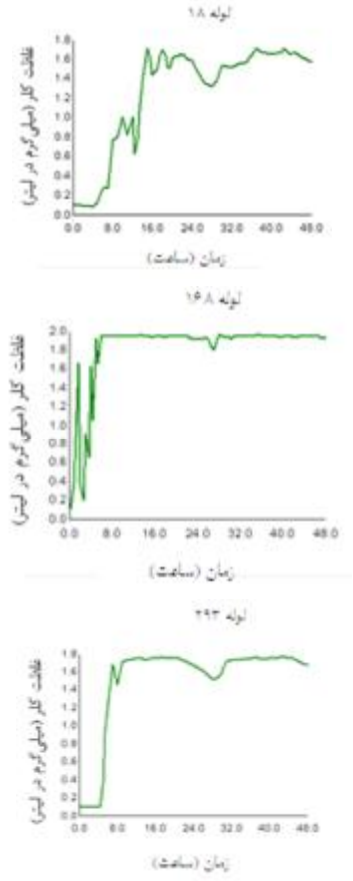
شکل ۳- سن آب در لوله شماره ۱۶۸



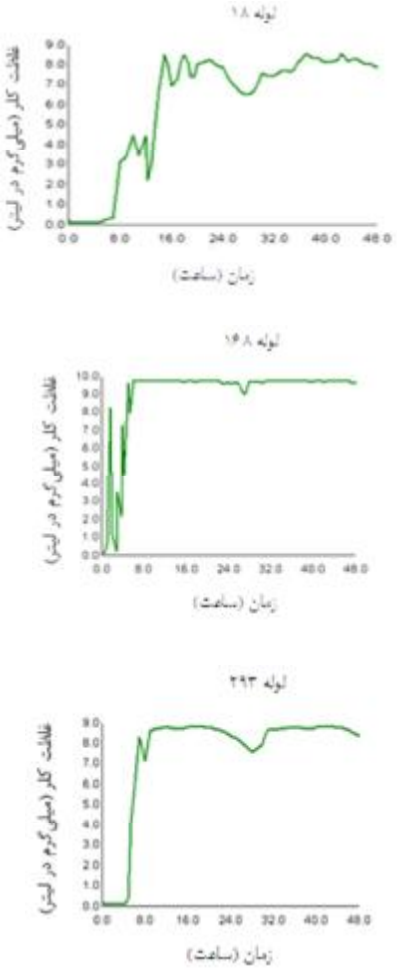
شکل ۴- سن آب در لوله شماره ۲۹۳

ب- محاسبه غلظت کلر در لوله‌های منتخب در سناریوهای تعریف شده

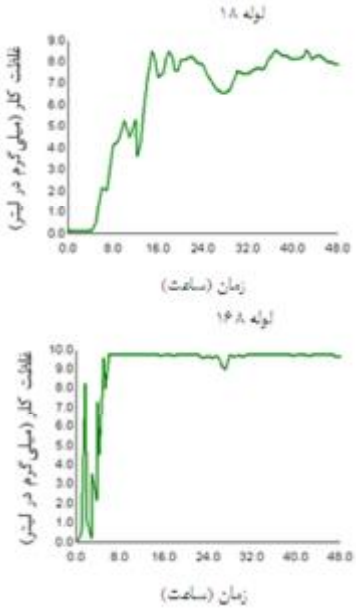
با توجه به سه سناریوی تعریف شدهٔ فوق، نمودارهای مربوط به آن‌ها در شکل‌های ۵ تا ۷ نمایش داده شده‌اند. همان‌گونه که در شکل‌های ۵ تا ۷ دیده می‌شود، مقادیر غلظت کلر در سناریوهای مختلف تعریف شده در لولهٔ شماره ۱۶۸ همان مقادیر غلظت کلر تزریق شده به مخازن آب است (به‌ترتیب ۲، ۱۰ و۱۰ میلی‌گرم در لیتر). همچنین غلظت کلر در لولهٔ شماره ۱۶۸، ۱۰ درصد بیشتر از دو لولهٔ دیگر در سناریوهای سه‌گانه است. درضمن، محاسبهٔ غلظت کلر در لوله‌های منتخب، حکایت از تأثیر زیاد غلظت کلر در مخازن آب بر غلظت کلر در لوله‌های شبکه آبرسانی دارد؛ به گونه‌ای که حداکثر غلظت آب در لولهٔ شماره ۱۶۸ برابر با مقدار تزریق کلر در مخازن آب و در دو لولهٔ دیگر مقداری کمتر است (نزدیک‌تر بودن لولهٔ شماره ۱۶۸ به مخازن آب). همچنین با توجه به سناریوی شمارهٔ سه (شکل ۷)، با افزوده شدن غلظت کلر در مخازن تنظیم فشار، تغییر محسوسی در غلظت کلر موجود در لوله‌ها در مقایسه با سناریوی شماره ۲ ایجاد نشده که به‌دلیل حجم بسیار کمتر مخازن تنظیم فشار، در مقایسه با مخازن نگهداری آب است (۱۰ برابر بودن حجم مخازن آب در مقایسه با حجم مخازن تنظیم فشار). با توجه به شکل‌های ۵ تا ۷، غلظت کلر به عنوان یک مادهٔ شیمیایی محلول در آب، بیشتر تحت تأثیر غلظت کلر در مخازن آب است و آلودگی شیمیایی در سایر اجزاء شبکهٔ آبرسانی (مانند مخازن تنظیم فشار)، تأثیر چندانی بر آلودگی شیمیایی آب لوله‌ها ندارد. بنابراین مراقبت از غلظت کلر موجود در مخازن آب شبکهٔ آبرسانی و داشتن حساسیت در مورد آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.



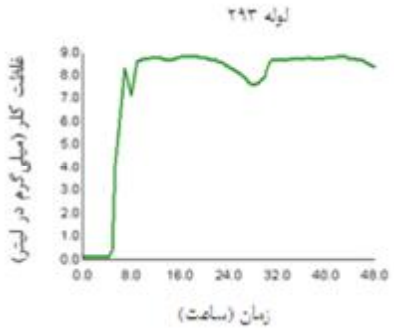
شکل ۵- غلظت کلر در لوله‌های منتخب در سناریوی شماره یک



شکل ۶- غلظت کلر در لوله‌های منتخب در سناریوی شماره دو



شکل ۷- غلظت کلر در لوله‌های منتخب در سناریوی شماره سه

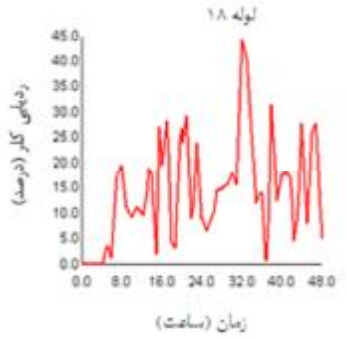


ادامه شکل ۷- غلظت کلر در لوله‌های منتخب در سناریوی شماره سه

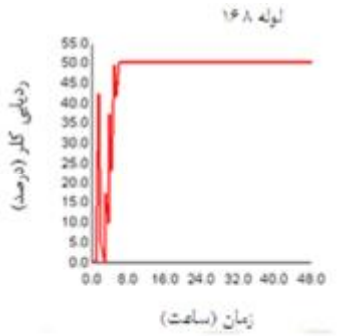
ج- ردیابی مادۀ شیمیایی کلر در سناریوی شمارۀ سه

شکل‌های ۸ تا ۱۰ مربوط به ردیابی کلر در سناریوی شمارۀ سه است که در ذیل آورده شده‌اند.

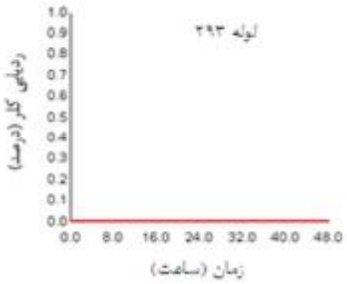
با توجه به شکل ۸، احتمال تأمین آب لولۀ شمارۀ ۱۸ از مخزن تنظیم فشار آب شمارۀ ۱، در دورۀ شبیه‌سازی ۴۸ ساعته بر اساس سناریوی تعریف شده، حداکثر ۴۵ درصد (حدود ساعت ۳۲ از دورۀ شبیه‌سازی) و در بقیۀ ساعت‌ها نیز در نمودار یاد شده، مشخص است. با توجه به این‌که منطقۀ موردنظر دارای دو مخزن تنظیم فشار است، حداکثر احتمال تأمین آب از مخزن تنظیم فشار شمارۀ دو، در ساعت مذکور ۵۵ درصد خواهد بود. با توجه به شکل ۹، احتمال تأمین آب لولۀ شمارۀ ۱۶۸ از مخزن شماره ۱، بر مبنای سناریوی شمارۀ ۳، ۵۰ درصد است؛ بنابراین احتمال تأمین آب لولۀ مذکور از هر دو مخزن آب یکسان که با توجه به نزدیک‌تر بودن لولۀ مذکور به دو مخزن آب، این امر منطقی است. به‌علاوه با توجه به شکل شماره ۱۰، احتمال تأمین آب لوله شماره ۲۹۳ از مخزن تنظیم فشار آب شمارۀ ۱، صفر درصد است. به‌عبارت دیگر، نیازی به بررسی مخزن تنظیم فشار شمارۀ یک، به‌عنوان منبع آلودگی شیمیایی نخواهیم داشت و آب لولۀ مذکور، حتما از مخزن تنظیم فشار شمارۀ دو تأمین شده است. آشکار است که ردیابی کلر در سامانه‌های آبرسانی، امکان پاک‌سازی منبع آلاینده را در زمان مناسب فراهم می‌کند یا می‌توان، اقدام به قطع موقتی جریان آب مسیر موردنظر تا عادی شدن اوضاع کرد.



شکل ۸- ردیابی کلر در لوله شماره ۱۸ از مخزن تنظیم فشار آب شماره یک



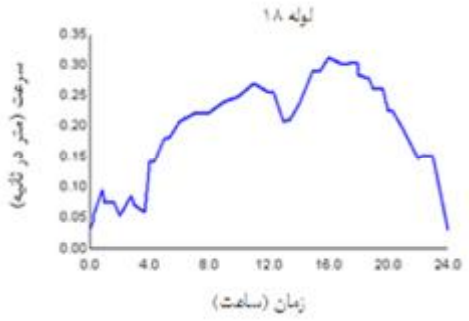
شکل ۹- ردیابی کلر در لوله شماره ۱۶۸ از مخزن آب شماره یک



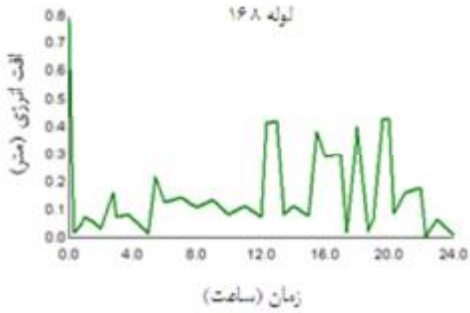
شکل ۱۰- ردیابی کلر در لوله شماره ۲۹۳ از مخزن تنظیم فشار آب شماره یک

بخش دوم- پارامترهای کمی

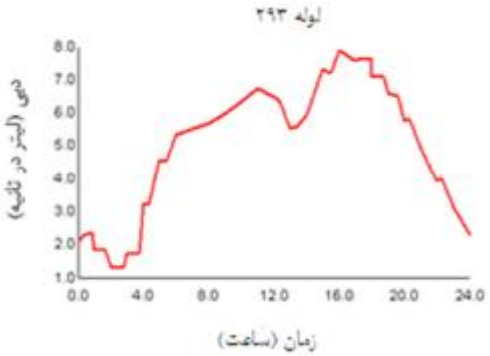
در این بخش، شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ که مربوط به سرعت، افت انرژی و دبی آب در لوله‌های منتخب هستند، با توجه به الگوی مصرف ساعتی، در یک شبانه‌روز بررسی می‌شوند که از جمله توانمندی‌های مدل عددی WaterGEMS است و مورد توجه آن‌دسته از کارشناسان مهندسی آب می‌باشد که علاقه‌مند به بررسی پارامترهای کمی سامانه‌های آبرسانی هستند. روابط مربوط به محاسبهٔ پارامترهای کمی آب، در کتاب‌های هیدرولیک کاربردی به تفصیل آمده است (محمدی، ۱۳۹۸).



شکل ۱۱- سرعت آب در لولهٔ شمارهٔ ۱۸



شکل ۱۲- افت انرژی در لولهٔ شمارهٔ ۱۶۸



شکل۱۳- دبی در لولهٔ شمارهٔ ۲۹۳

همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، حداکثر سرعت آب در لولهٔ شمارهٔ ۱۸، ۰/۳ متر در ثانیه است که با توجه به سن بالای آب در لولهٔ مذکور، توجیه‌پذیر است و برای جلوگیری از رسوب‌گذاری در این لوله باید چاره‌اندیشی شود (مانند کاهش قطر لوله). با توجه به شکل ۱۲، حداکثر افت انرژی در لولهٔ شمارهٔ ۱۶۸، ۰/۴ متر است. در ضمن بر اساس شکل ۱۳ حداکثر آبدهی لولهٔ شمارهٔ ۲۹۳، ۸ لیتر در ثانیه است. با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ و مقایسهٔ آن‌ها با نمودارهای سرعت، افت انرژی و دبی در سایر لوله‌های شبکهٔ آبرسانی، می‌توان با رعایت

اصول حاکم بر هیدرولیک شبکه‌های توزیع آب (ضوابط کنترل سرعت و فشار)، پیشنهادات لازم برای اصلاح و بهینه‌سازی سامانهٔ آبرسانی منطقهٔ مورد مطالعه، را ارائه داد تا نسبت به رفع نواقص احتمالی بر مبنای نیاز جمعیت مصرف‌کنندهٔ آب، اقدام شود (تغییر مشخصات مربوط به جنس و قطر لوله‌ها، شیرآلات و سایر اجزاء شبکهٔ آبرسانی).

نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه در بخش‌های پیشین بررسی شد، مهم‌ترین نتایج حاصل از پژوهش حاضر، به‌شرح ذیل بیان می‌شوند:

۱- مدل عددی WaterGEMS، نتایج مهمی را در حوزه‌های کمی و کیفی به نمایش می گذارد که می‌تواند پیش از اجرای شبکه و حتی پس از آن، برای رفع نواقص و بهینه‌سازی، مورد توجه کارشناسان آب، قرار گیرد.

۲- با کاهش جمعیت مصرف‌کنندهٔ آب در اطراف یک لوله، سن آب در لولهٔ موردنظر افزایش می‌یابد (افزایش ۳ برابری حداکثر سن آب در لولهٔ شمارهٔ ۱۸، در مقایسه با لولهٔ شمارهٔ ۱۶۸) که این موضوع باعث کاهش کیفیت آب نیز خواهد شد.

۳- با توجه به سناریوهای سه‌گانهٔ تعریف شده در این پژوهش، غلظت کلر در لوله‌های شبکهٔ آبرسانی تا حد زیادی متأثر از غلظت کلر در مخازن جمع‌آوری آب است؛ به‌گونه‌ای‌که تغییر غلظت کلر در مخازن تنظیم فشار نیز با توجه به حجم کم آن‌ها، اثرگذاری چندانی بر کیفیت آب سیستم آبرسانی محدوده مورد مطالعه ندارد و غلظت کلر در لولهٔ شمارهٔ ۱۶۸ که به مخازن آب نزدیک‌تر، ۱۰ درصد بیشتر از دو لولهٔ دیگر است.

۴- با توجه به سناریوی شمارهٔ ۳، ردیابی کلر در سامانهٔ آبرسانی، نقش مهمی در شناسایی منبع آلودگی شیمیایی با کلر دارد و می‌تواند برای اقدامات مدیریتی بعدی، مفید باشد. به‌گونه‌ای‌که دیده شد، در سناریوی تعریف شده، احتمال تأمین آب لولهٔ شمارهٔ ۱۸ از مخزن تنظیم فشار شمارهٔ ۲، بیش از مخزن تنظیم فشار شمارهٔ ۱ و احتمال تأمین آب لولهٔ شمارهٔ ۱۶۸ از هر دو مخزن آب، یکسان است. در ضمن آب لوله شمارهٔ ۲۹۳ حتما از مخزن تنظیم فشار شمارهٔ ۲ تأمین شده است.

۵- محاسبهٔ پارامترهای کمی در شبکهٔ آبرسانی (سرعت جریان، افت انرژی و دبی آب)، نقش مهمی در طراحی اجزاء شبکه و اصلاح آن خواهد داشت. همان‌گونه که دیده شد، کنترل مقدار سرعت در لولهٔ شماره ۱۸ (که حداکثر سرعت ۰/۳ متر در ثانیه است)، نشان از احتمال رسوب‌گذاری در آینده دارد.

منابع

۱. آتشی م، اسدی ز. و االله‌دادی م. ۱۳۹۴. بررسی مشکلات شبکه‌های آبرسانی یکپارچه و ارائه راهکارها جهت رفع مشکلات (پایلوت مطالعاتی: شهر برازجان). دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تبریز. ۸ ص.

۲. آقاسی م. ۱۳۹۷. ارائه مدلی جهت تعیین نقاط مناسب تزریق کلر در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از مدل WaterGEMS(پهنه R توزیع آب شهر مشهد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. موسسه آموزش عالی خاوران. ۹۰ ص.

۳. تابش م. ۱۳۹۵. مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. ۵۸۵ ص.

۴. توسلی ف. ۱۳۹۵. مدل‌سازی میزان کلر باقیمانده در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از نرم‌افزار EPANET. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز. ۱۱۵ ص.

۵. تیموری م. ۱۳۹۴. تحلیل پارامترهای هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر گرگان در راستای مدیریت فشار آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۴۰ ص.

۶. سنگی ا. و نیسی ا. ۱۳۹۶. راهنمای مدل‌سازی و تحلیل شبکه توزیع آب شهر شادگان به کمک نرم‌افزار WaterGEMS. اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب. دانشگاه شهید بهشتی، تهران. ۸ ص.

۷. شریعت‌پناهی م. ۱۳۶۸. اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب. دانشگاه تهران. ۱۵۵ ص.

۸. غیبی م. دانش ش. و کرابی م. ۱۳۹۶. ارزیابی اثر تغییرات سن و جنس لوله‌ها بر زوال جداره‌ای کلر در شبکه آبرسانی به کمک مدل کیفی- هیدرولیکی EPANET. دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران. دانشگاه علامه

مجلسی، تهران. ۱۱ ص.
۹. کریمی م. ۱۳۹۳. کالیبراسیون فشار و مدیریت آن در شبکه آبرسانی شهر زاهدان با بهره‌گیری از مدل WaterGEMS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه سیستان و بلوچستان. ۱۹۲ ص.
۱۰.محمدی م. ۱۳۹۸. هیدرولیک کاربردی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه ارومیه. ۶۵۵ ص.
۱۱.نظری ع. ۱۳۹۰. طراحی شبکه‌های آبرسانی با WaterGEMS. انتشارات الیاس. ۲۳۰ ص.
12. Araujo L.S. Ramos H. and Coello S.T. 2006. Pressure control for leakage minimization in water distribution systems management. Journal of Water Resources Management. 20(1): 133-149.
13. Javadinejad S. Ostad-Ali-Askari K. and Jafari F. 2019. Using simulation model to determine the regulation and to optimize the quantity of chlorine injection in water distribution networks. Modeling Earth Systems and Environment. 5(3): 1015-1023.
14. Lihui Ma. Kunlun Xin. and Suiqing Liu. 2008. Using radial basis function neural networks to calibrate water quality model. World Academy of Science. Engineering and Technology. 385-393.
15. Ramos H. Tamminen S. and Covas D. 2008. Water supply system performance for different pipe materials: sensitivity analysis to pressure variation. Water Resources Management. 22: 1579-1607.
16. Vidhi N. and Geeta S. 2019. Design and analysis of rural water supply system using Loop 4.0 and WaterGEMS V8i for Navashihora zone1. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 9(1): 2258-2266.