تحلیل و ارزیابی ابزارهای مدیریت کیفی در شبکه های های توزیع آب در مقابل ورود آلودگی در شبکه آب شرب شهر زاهدان

سیروس حریف[۱]، غلامرضا عزیزیان[*۲]، محمد گیوه‌چی[۳]، محسن دهقانی درمیان[۴]

تاریخ ارسال:۱۳۹۸/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۳/۲۴

مقاله پژوهشی

چکیده

رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی مهم‌ترین دلایل افزایش آلودگی در جهان امروز است. ورود آلودگی به شبکه‌های توزیع آب شرب شهری در اثر وقوع پدیده مکش، می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به‌سلامت انسان وارد کند. آگاهی و شناخت از منابع ورود آلاینده و نحوه حرکت آن باعث مدل‌سازی مناسب این پدیده و انجام مدیریت بحران مناسب در زمان نفوذ این آلاینده‌ها به شبکه می‌گردد. به‌منظور شبیه‌سازی حرکت نیترات در خاک، معادله انتقال-پخش آلودگی خاک در MATLAB کد نویسی گردید. سپس شبکه توزیع شماره ۲ آب شرب شهر زاهدان به‌عنوان منطقه مطالعاتی مدنظر قرارگرفته و نقاط مستعد با غلظت بالای آلاینده در شبکه شناسایی گردیدند. شبیه‌سازی شبکه در اثر وقوع دوساعته آلودگی، با استفاده از مدل عددی EPANET مورد مدل‌سازی قرار گرفت. جهت مدیریت کیفی آب در شبکه از دو ابزار تخلیه آب با غلظت غیر مجاز و جریان رقیق‌ساز بکار گرفته‌شده و نتایج آن‌ها در مدیریت بحران مذکور مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج شبیه‌سازی حرکت آلاینده در خاک، غلظت غیرمجاز نیترات در مجاورت لوله با مقدار بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر را نشان داد. نتایج به‌کارگیری ابزار مدیریت کیفی تخلیه آب با غلظت غیرمجاز نشان داد که با قطع نمودن جریان به مدت ۱/۱ تا ۱/۳ بازه زمانی تزریق آلودگی به شبکه و همچنین خروج آب به میزان ۵ تا ۸ درصد دبی پایه لوله، می‌توان از ورود آلودگی به نقاط دیگر شبکه جلوگیری نمود. علاوه بر این برای اولین‌بار تأثیر مثبت و کارآمد ابزار جریان رقیق‌ساز در مدیریت کیفی شبکه آب به اثبات رسید؛ به‌گونه‌ای که مقدار جریان رقیق‌ساز لازم به‌منظور بهبود وضعیت کیفی شبکه، حدود ۱۶ درصد دبی پایه لوله محاسبه گردید. استفاده از این مقادیر شبیه‌سازی‌شده در شرایط مختلف به‌منظور مدیریت بحران ورود آلاینده به شبکه توزیع آب، امری حیاتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ابزارهای مدیریت کیفی آب، آلودگی شبکه آب، پدیده مکش، تخلیه آب آلوده، جریان رقیق‌ساز

۱ - دانشجوی دکترای مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، پست الکترونیکی siroos.harif@pgs.usb.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، تلفن: ۰۵۴۳۱۱۳۶۴۵۷، پست الکترونیکی: g.azizyan@eng.usb.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳ - استادیار بازنشسته، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، پست الکترونیکی: m_givehchi@yahoo.com

۴- دکترای مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، پژوهشکده هیدرولیک و محیط های آبی، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Mohsen.dehghanidarmian@gmail.com

مقدمه

آب حدوداً ۶۵ درصد از وزن بدن جانداران را تشکیل می‌دهد و بی‌شک ترکیبی حیاتی برای تمامی موجودات زمین محسوب می‌شود. نخستین تمدنی که بشر به شکل شهرنشینی آغاز نمود، در کنار رودخانه صورت پذیرفت؛ اما این آغاز راه بود و با گسترش شهرها و افزایش جمعیت و عدم امکان ساخت همه‌ی شهرها در کنار رودخانه‌ها، انسان‌ها به فکر تأمین هر چه راحت‌تر آب جهت ادامه حیات خود افتادند. به‌کارگیری و ایجاد شبکه‌های آب‌رسانی به شکل امروزی برای اولین بار در سال ۱۳۰۱ در ایران موردبررسی قرارگرفته و در برخی شهرها مانند آبادان، مشهد و بیرجند اجرا شدند. یک شبکه آب‌رسانی خوب بایستی قادر به تأمین نیازهای آبی مشترکین چه به لحاظ کمی (دبی و فشار) و چه از منظر کیفی (خواص فیزیکی و شیمیایی آب) متناسب با استانداردهای موجود باشد (منزوی، ۱۳۸۸). شبکه‌های توزیع آب شهری سیستم‌های پیچیده بزرگی هستند که دارای نقاط دسترسی زیادی هستند که این نقاط دسترسی منجر به پتانسیل آلودگی تصادفی یا عمدی می‌شوند. آلودگی آب عبارت است از وجود یک یا چند ترکیب شیمیایی یا عوامل بیماری‌زا در آب به حدی که استفاده از آن برای مصرف‌کننده مخاطره‌آمیز باشد یا منجر به بیماری شود. به‌طورکلی آلودگی منابع آب به دو دسته آلودگی شیمیایی و آلودگی میکروبی تقسیم‌بندی می‌شود. (McGhee et Hammer, 2000, et al.,1991). خواص فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب ازجمله پارامترهای مهمی هستند که در بهداشت و سلامت آب مصرفی و همچنین سطح رضایتمندی مصرف‌کنندگان جایگاه خاصی دارند. باید توجه داشت که دراین‌بین بررسی عوامل میکروبی و شیمیایی به دلیل عدم قضاوت با چشم ظاهری از اهمیت بالاتری برخوردارند (شبانکاره فرد و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از املاحی که بالا بودن غلظت آن در آب آشامیدنی ازنظر بهداشتی می‌تواند موردتوجه قرار گیرد و باید موردسنجش قرار گیرد. غلظت نیترات است که علاوه بر آلودگی میکروبی می‌تواند به‌عنوان یکی از پارامترهای کنترل کیفی آب نوشیدنی به‌حساب آید (McGhee et Hammer, 2000, et al.,1991). مطابق با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب آشامیدنی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران). غلظت زیاد نیترات در آب مصرفی می‌تواند منجر به متهموگلوبینمی در نوزادان و نیز تشکیل ترکیبات سرطان‌زای نیتروزآمین شود (Greer.et al., 2005).

باوجود تلاش‌های جهانی و فناوری‌های مدرنی که برای تولید آب آشامیدنی سالم به کار گرفته‌شده است، بیماری‌های انتقال شده توسط آب که در شمار شایع‌ترین بیماری‌های عفونی نیز قرار دارند، هنوز هم مورد نگرانی می‌باشند. آلودگی آب در شبکه‌های توزیع با سهمی معادل ۲۹ درصد مهم‌ترین عامل شیوع بیماری‌های انتقال شده از راه آب دانسته شده است. در ایران نیز مهم‌ترین عامل ایجاد و شیوع بیماری‌های منتقله از راه آب، آلودگی آن در شبکه‌های توزیع است (قنادی، ۱۳۸۲). دسترسی به منابع آب آشامیدنی سالم در دنیای امروز از عوامل اصلی توسعه کشورها بشمار می‌رود. طبق آمار سازمان جهانی بهداشت، سالانه ۱/۱ میلیارد نفر در جهان به منابع آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند (WHO, 2006) و حدود ۸۰ درصد از مرگ‌ومیر کودکان در اثر بیماری‌های گوارشی مانند اسهال به دنبال مصرف آب آشامیدنی آلوده روی می‌دهد (Balbus et al., 2001). در همین راستا، طبق گزارش‌های اعلام‌شده در سال ۲۰۱۷ سالانه ۴۸۵۰۰۰ کودک در اثر بیماری مرتبط با آب آلوده (اسهال) جان خود را از دست می‌دهند (World Health Organization, 2017). هنگامی‌که یک رویداد مانند آلودگی در سیستم آب اتفاق می‌افتد، در مقیاس وسیع به علت تصادف یا حمله مخرب، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر جامعه و اقتصاد داشته باشد. یکی از این موارد رویداد آلودگی در سال ۱۹۹۳ در میلواکی (ایالات‌متحده آمریکا) می‌باشد که ۴۰۳۰۰۰ مصرف‌کننده را تحت تأثیر قرار داده و هزاران نفر در بیمارستان بستری شدند که منجر به تعدادی مرگ‌ومیر نیز شد. (Corso et al., 2003). اخیراً، در سال ۲۰۱۹ در نروژ (Askoy)، ۲۷،۰۰۰ مصرف‌کننده تحت تأثیر آب آلوده‌شده توسط ماده Clostridium قرار گرفتند(Nikel, 2019).

تهدیدهای مربوط به سیستم‌های توزیع آب معمولاً به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند: ۱) حمله مستقیم به زیرساخت‌های اصلی: سدها، کارخانه‌های تصفیه، مخازن ذخیره‌سازی، خطوط لوله و غیره ۲) حمله سایبری جهت از کار انداختن عملکرد سیستم کنترل نظارت و دستیابی به داده‌های مربوط به آب و کنترل اجزای اصلی که ممکن است منجر به قطع آب یا عدم برخورداری از آب کافی شود ۳) تزریق آلودگی شیمیایی یا بیولوژیکی دریکی از گره‌های سیستم. (Preis et al, 2008) پس از حمله ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱، امنیت سیستم‌های توزیع آب توجه زیادی را به خود جلب کرده است؛ بنابراین، بسیاری از محققان با به حداقل رساندن تأثیر احتمالی در هنگام حمله، امکان ایمن‌سازی سیستم‌های توزیع آب را موردبررسی قرار داده‌اند. تأثیرات تهدیدات آلودگی بر سلامت عمومی را می‌توان با استفاده صحیح از اموری مانند (۱) قرارگیری سنسور، (۲) شناسایی منبع آلودگی و (۳) مدیریت پیامد به حداقل رساند(Bashi-Azghadi, S. N. et al, 2018). بخش آب و فاضلاب توسط وزارت امنیت داخلی آمریکا به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین اهداف حملات سایبری در میان ۱۶ بخش زیرساخت نجات حیات در نظر گرفته‌شده است. محافظت از آن در برابر تهدیدات امنیت سایبری از اولویت‌های ملی در این کشور محسوب می‌شود (White House., 2019). بعد از تشخیص ورود آلودگی به شبکه، باید بهترین تدابیر برای از بین بردن خطرات ناشی از ورود آلاینده به شبکه برای حفظ سلامت عموم انجام گیرد. بسته پروتکل واکنشی اداره حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده، توصیه‌هایی را برای کمینه کردن خطرات ناشی از این تهدیدات ارائه داده است. توصیه‌های این پروتکل شامل: ۱- ایزوله کردن ناحیه آلوده در شبکه، ۲- اعلام‌خطر و اطلاع‌رسانی به عموم مردم و ۳- تخلیه آلودگی از شبکه است (US EPA, 2003).

مطالعات متعددی در نقاط مختلف دنیا در رابطه با کاهش تأثیرات آلودگی و بررسی شبکه‌های آب به‌صورت عددی و آزمایشگاهی انجام‌گرفته است. به‌طور مثال به‌طور مثال (نصیرپور و همکاران، ۱۳۹۸) موقعیت بهینه برای نصب شیرهای فشارشکن در شبکه توزیع آب شهر بیرجند را موردبررسی قراردادند. (کیانی و همکاران، ۱۳۹۷) به معرفی و مدل‌سازی اثرات ویسکوالاستیک در جریان‌های گذرا در لوله‌های پلیمری رایج در شبکه‌های آب‌رسانی پرداختند. در سال ۲۰۰۳ مطالعه‌ای بر روی پتانسیل خطرات بهداشتی نفوذ آلاینده‌ها به سیستم‌های توزیع آب ناشی از تغییرات فشار توسط LeChevallier و همکاران پیگیری شده است. در این تحقیق خطرات بالقوه فشارهای گذرای کم یا منفی برای نفوذ آلودگی‌ها در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی موردبررسی قرارگرفته است (LeChevallier, M. W et al, 2003). (Naserizade et al, 2018) یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی را به‌منظور جانمایی بهینه سنسورهای تشخیص آلودگی در شبکه توزیع آب شهری باهدف کمینه کردن ارزش در معرض ریسک شرطی، احتمال تشخیص ندادن و تعداد سنسور ارائه کردند. در این پژوهش، ریسک از منظر جمعیت آلوده‌شده و زمان تشخیص آلودگی بررسی شد. (de Winter et al, 2019) به معرفی دو الگوریتم جدید پرداختند. در این پژوهش با فرض اینکه سنسورها به‌صورت ناقص عمل کنند به بهینه یابی مکان سنسورها پرداختند، سپس نتایج به‌دست‌آمده از این الگوریتم‌ها را با یک شبکه بررسی کردند که نتایج نشان داد که الگوریتم‌ها قادر به یافتن مکان‌های حسگرها در زمان معقول هستند و راه‌حل‌های آن‌ها نزدیک به بهینه است. (Rasekh and Kelly , 2014) با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی به بهینه‌سازی مهار و تخلیه آلاینده در شبکه آب با هدف حداقل کردن وقفه در سرویس‌دهی شبکه آب پرداختند.

در هیچ‌یک از تحقیقات فوق اثر هم‌زمان شبیه‌سازی انتقال آلودگی در ستون خاک و ورود آن از طریق مکش به شبکه توزیع آب بررسی نشده است. لذا در این تحقیق ابتدا نحوه انتقال- پخش آلاینده نیترات در محیط خاک توسط نرم‌افزار MATLAB تا مجاورت لوله‌های آب شبیه‌سازی گردیده است. سپس نقاط مستعد مکش و ورود آلودگی به شبکه توزیع آب شرب شهر زاهدان موردتحقیق قرارگرفته و بر اساس آیین‌نامه‌های موجود در شبکه توزیع آب، نقاط با ریسک بالا برای نفوذ آلودگی تعیین گردیده‌اند. پس‌ازآن به بررسی بخش مهمی از شبکه آب شرب زاهدان

تحت ورود ناگهانی نیترات با استفاده از مدل عددی EPANET پرداخته‌شده است. در نهایت بمنظور مدیریت کیفی کارامد شبکه، بصورت همزمان دو ابزار، جریان رقیق-ساز و تخلیه آب آلوده از شبکه مورد شبیه‌سازی قرار گرفته و اثرات اصلاحی آن‌ها مورد مقایسه واقع گردید. لازم به ذکر است در تحقیقات گذشته در بخش مربوط به مدیریت پیامد پس از ورود آلودگی به شبکه از توصیه‌های بسته پروتکل واکنشی اداره حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده، یعنی تخلیه آب آلوده از شبکه استفاده کرده‌اند. لذا در این پژوهش علاوه بر شبیه‌سازی ابزار تخلیه آب آلوده از شبکه، برای اولین‌بار از ابزار جریان رقیق‌ساز برای مدیریت شبکه توزیع استفاده‌شده و درنهایت به مقایسه نتایج این ابزارهای مدیریت کیفی در شبکه پرداخته‌شده است.

مواد و روش‌ها

نرم‌افزار EPANET

نرم‌افزار مورداستفاده در این تحقیق به‌منظور مدل‌سازی هیدرولیکی و کیفی شبکه‌ی آب‌رسانی، مدل کامپیوتری آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا با نام EPANET می‌باشد. EPANET ازجمله قدرتمندترین نرم‌افزارهای طراحی شبکه‌های آب‌رسانی می‌باشد که به‌صورت رایگان از سوی آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) ارائه می‌گردد. این نرم‌افزار رفتار هیدرولیکی و کیفی آب را در شبکه‌های لوله‌کشی در دوره‌های زمانی تعیین‌شده، شبیه‌سازی می‌کند (Rossman, 2000).

معادلات آلودگی در خاک

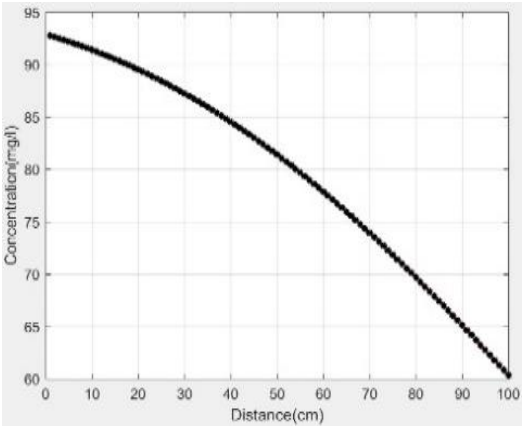
معادله انتقال-پخش آلودگی به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} = D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \qquad (۱)$$

که این معادله دیفرانسیل شامل ترم‌های انتقال و پخش می‌باشد. در این معادله c مقدار غلظت آلاینده در زمان t و مکان x برحسب میلی‌گرم بر لیتر است، u متوسط سرعت جریان برحسب متر بر ثانیه و D ضریب پخش است. این معادله روش‌های حل عددی و تحلیلی متفاوتی دارد که به علت دقت بالای حل تحلیلی در این پژوهش از حل تحلیلی استفاده‌شده است. حل‌های تحلیلی مختلفی تاکنون برای معادله انتقال ارائه‌شده است. با توجه به شرایط مسئله روش حل اوگاتا و بانکز (رابطه ۲) جهت انتقال آلودگی در بخش خاک انتخاب گردید.

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2}\left[erfc\left(\frac{x-Vt}{2\sqrt{Dt}}\right) + exp\left(\frac{Vx}{D}\right) erf\left(\frac{x-Vt}{2\sqrt{Dt}}\right)\right] \qquad (۲)$$

در این معادله C_0 غلظت اولیه آلاینده (ML^{-3})، V سرعت حرکت آلاینده در خاک ($L\,T^{-1}$) و D ضریب پخش (L^2T^{-1}) می‌باشد. به‌منظور حل این معادله شبیه‌سازی مربوط به آن در نرم‌افزار متلب واردشده و نتایج به‌دست‌آمده از آن در شکل ۱، مشاهده می‌شود. معادله انتقال آلودگی از دو جزء اساسی جابجایی و پخش تشکیل‌شده است. ازاین‌رو پارامترهای اساسی در این مسئله سرعت آلاینده، ضریب پخش و غلظت اولیه آلودگی منبع بوده است. لذا بخش جابجایی معادله به‌سرعت حرکت آلاینده در خاک مربوط بوده و بخش پراکندگی نیز مربوط به ضریب پخش است. در این پژوهش غلظت اولیه نیترات مطابق با تحقیقات سودانی و به میزان ۹۲/۹ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد(Soudani et al., 2011). با توجه به عمق لوله‌های آب‌رسانی مدفون‌شده در خاک میزان جابجایی حداکثر به ۱۰۰ سانتی‌متر می‌رسد، بنابراین غلظت ثانویه آلودگی نیز تا همین فاصله در خاک تعیین‌شده و معادله برای فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر حل گردیده است. درنهایت غلظت عبوری از یک ستون خاک ماسه‌ای به میزان حدود ۳۵ درصد کاهش‌یافته است به‌طوری‌که غلظت آلودگی در فاصله‌ای به طول یک متر، ۶۰/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست‌آمده است. این عدد به‌عنوان غلظت آلودگی در کنار لوله بوده و همین میزان به‌عنوان غلظت اولیه برای آلاینده راه‌یافته به درون شبکه در نظر گرفته‌شده است.



شکل (۱): تغییرات غلظت نیترات منتج‌شده از حل تحلیلی در ستون خاک

معادله شبیه‌سازی کیفی آب در نرم‌افزار

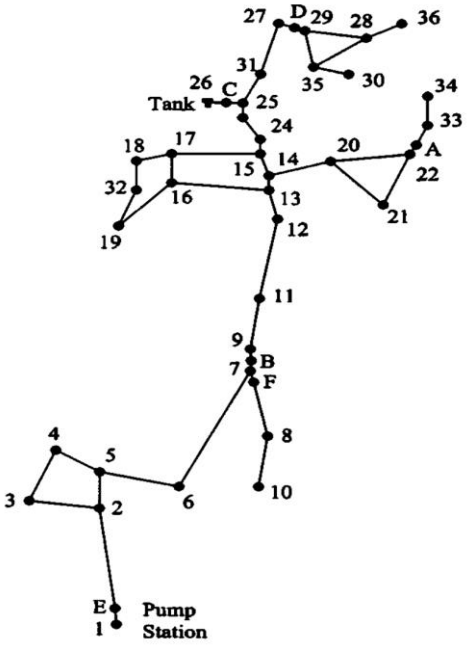
انتقال مواد تشکیل‌دهنده کیفیت آب در امتداد لوله i ام توسط معادله انتقال کلاسیک زیر ارائه‌شده است:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial c_i}{\partial x} \pm R(c_i \qquad (۳)$$

که این معادله شامل ترم‌های انتقال و واکنش می‌باشد. در این معادله c_i غلظت آلاینده در لوله i ام در زمان t و مکان x برحسب میلی‌گرم بر لیتر است، u_i سرعت جریان آب در لوله i ام برحسب متر بر ثانیه است. $R(c_i)$ ترم مربوط به نرخ واکنش است که شامل واکنش دیواره و حجمی می‌باشد.

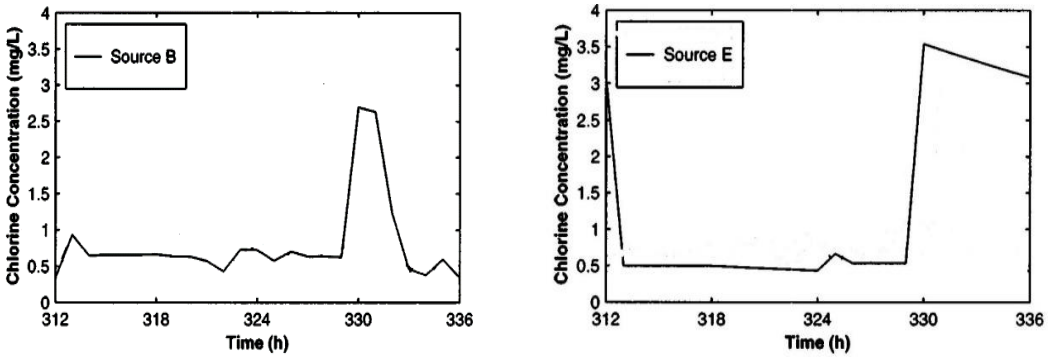
صحت‌سنجی و کالیبراسیون

به‌منظور مقایسه و بررسی مدل عددی EPANET از نتایج شبکه ارائه‌شده توسط (Munavalli, G.R. and Kumar, M.M., 2003)، استفاده شد. تصویری از این مدل آزمایشگاهی در شکل ۲، نشان داده‌شده است. این مدل شامل ۳۴ گره مصرف‌کننده، ۶ گره تقویت‌کننده (A تا F)، یک گره به‌عنوان سرچشمه، ۴۷ لوله و یک تانک است که به بررسی غلظت کلر در شبکه می‌پردازد. مدل آزمایشگاهی کومار و همکاران توسط EPANET مدل‌سازی شد و شرایط مرزی و اولیه مطابق با مدل آزمایشگاهی به مدل عددی اعمال شد.



شکل (۲): مدل آزمایشگاهی کومار و همکاران (Munavalli, G.R. and Kumar, M.M., 2003)

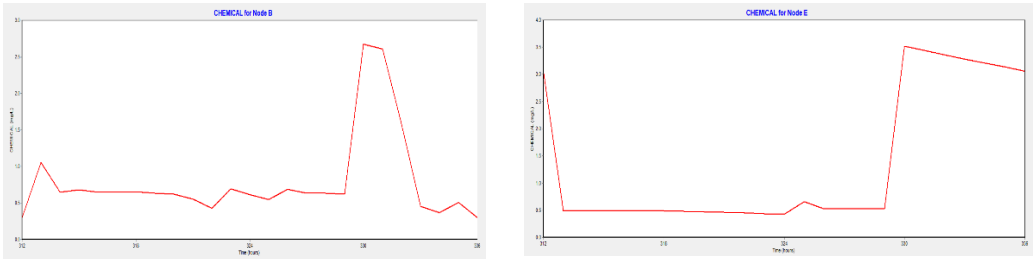
اشکال ۳ و ۴، به ترتیب نتایج ارائه‌شده (غلظت کلر باقی‌مانده) توسط کومار و همکاران و مدل عددی EPANET را برای ۲ گره B و E نشان می‌دهند. با مقایسه این ۲ شکل مشاهده می‌شود که مدل عددی EPANET به‌خوبی و با دقت بسیاربالا به نتایج ارائه‌شده توسط کومار و همکاران رسیده است؛ که این بیانگر کارایی و دقت بالای این مدل برای مدل‌سازی کیفی در شبکه‌های آب می‌باشد.



الف. غلظت کلر باقی‌مانده در گره E

ب. غلظت کلر باقی‌مانده در گره B

شکل (۳): نتایج ارائه‌شده توسط کومار و همکاران الف) گره E ب) گره B



الف. غلظت کلر باقی‌مانده در گره E

ب. غلظت کلر باقی‌مانده در گره B

شکل (۴): نتایج ارائه‌شده توسط مدل عددی EPANET

معرفی محدوده مطالعاتی

استان سیستان و بلوچستان با وسعت حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومتر مربع معادل ۱۱/۵ درصدکشور را به خود اختصاص داده است. شهرستان زاهدان به‌عنوان مرکز استان سیستان و بلوچستان دارای مساحتی حدود ۳۶۵۸۱ کیلومترمربع (حدود ۲۰ درصد کل سطح استان) در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. با توجه به اقلیم منطقه، آب‌وهوای شدیداً گرم و خشک بر این شهر حکم فرماست. نحوه توزیع آب در شهر زاهدان به‌صورت ثقلی صورت می‌گیرد. این شهر دارای دو شبکه آب‌رسانی شماره یک و دو می‌باشد که محدوده آن‌ها در شکل ۵، نشان داده‌شده است.

شکل (۵): تقسیم‌بندی شبکه آب‌رسانی شهر زاهدان

تعیین نقاط مستعد ورود آلودگی به شبکه

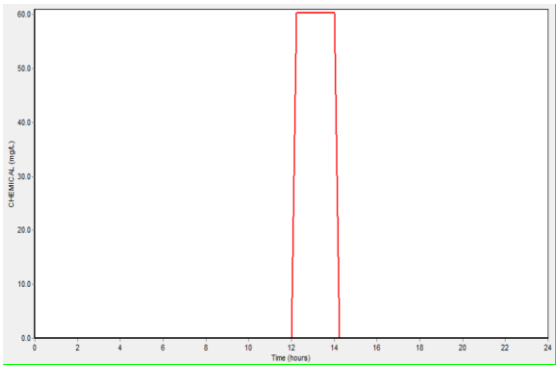
برای تعیین نقاطی که پتانسیل ورود آلودگی به شبکه را دارند بایستی بر اساس ویژگی‌های نشت و همچنین ویژگی‌های فشار گذرا در شبکه اقدام به انتخاب آن‌ها نمود. اداره آب امریکا در سال ۲۰۰۷، درنتیجه بررسی‌های میدانی ویژگی‌هایی را ارائه داده است که در آن نقاط با این ویژگی‌ها، دارای بیشترین پتانسیل وقوع فشارهای گذرا هستند. به‌طور خلاصه این نقاط عبارت است از گره‌هایی در شبکه با فشار خیلی بالا و خیلی پایین. لذا بر این اساس گره‌های موجود در شبکه امتیازدهی شده و نقاطی که

دارای بیشترین احتمال وقوع چنین رویدادی را دارند انتخاب‌شده است. محدوده نقاط ورود آلودگی در شکل ۶، نشان داده‌شده است.

شکل (۶): منطقه مستعد برای ورودی آلودگی به شبکه آب شرب شهر زاهدان

نتایج و بحث

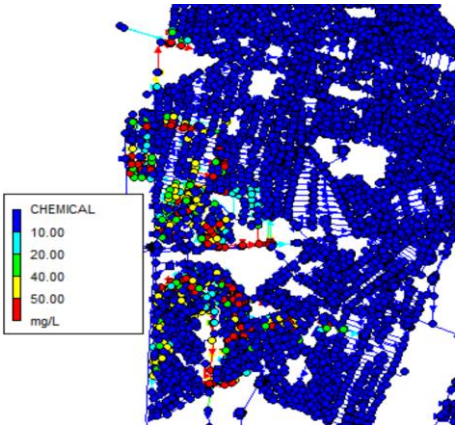
انتخاب‌شده است. پس از تزریق آلودگی به شبکه و اجرای نرم‌افزار، نتایج نشان داد که غلظت در بسیاری از نقاط شبکه بیشتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (مقدار استاندارد) بود. شکل ۸، نتایج مدل عددی را در ساعت ۱۸ (۶ ساعت پس از تزریق آلودگی به شبکه) نشان می‌دهد که یک دید عمومی مناسب از منظر مناطق درخطر ریسک ناشی از ورود آلودگی را به بهره‌بردار پس از ورود آلاینده به شبکه ارائه می‌دهد.



شکل (۷): سناریوی ورود نیترات به شبکه آب

شبیه‌سازی فرایند انتقال-پخش آلودگی نیترات در شبکه

حال که انتقال آلودگی تا مجاورت شبکه‌های لوله شبیه‌سازی‌شده است، در اثر وقوع یک فشار منفی در نقاطی از شبکه این آلودگی و با همین میزان غلظت وارد شبکه می‌گردد. از بین نقاط مستعد برای نفوذ آلودگی در شبکه یک گره انتخاب شد و مقدار آلودگی ثابت ۶۰/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر از این نقطه به شبکه تزریق شد. یک الگوی زمانی برای ورود آلودگی معرفی‌شده که در شکل ۷، قابل‌مشاهده است بدین‌صورت که با کاهش فشار و در پی آن وقوع فشار منفی در ساعت ۱۲ ورود آلودگی انجام‌شده و در ساعت ۱۴ با عادی شدن جریان ورود آلودگی قطع‌شده است. همچنین مدت اجرای نرم‌افزار ۲۴ ساعت



شکل (۸): نحوه توزیع نیترات در شبکه آب شهر زاهدان (۶ ساعت پس از تزریق آلاینده) در مدل عددی EPANET

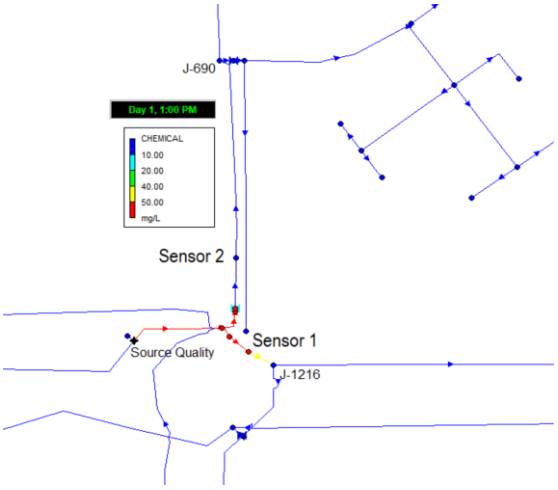
تحلیل و بررسی سناریوهای مدیریتی کنترل آلودگی

در قسمت قبل سناریوی بررسی وضعیت کیفی شبکه آب شرب شهر زاهدان مدنظر قرار گرفت. حال در این بخش راهکارهایی جهت مدیریت و کنترل آلودگی مدنظر این پژوهش (نیترات) ارائه می‌گردد. مطابق با بسته پروتکل واکنشی اداره حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده، یکی از راه‌های مقابله با آلودگی پس از ورود به شبکه، تخلیه آب آلوده از شبکه می‌باشد. لذا اولین ابزار مدیریت کیفی شبیه‌سازی‌شده در این پژوهش، تخلیه آب آلوده از شبکه می‌باشد. همچنین (Darmian et al., 2018;

(Monfared et al., 2017; Farhadian et al., 2014 ابزار جریان رقیق‌ساز را به‌عنوان یک ابزار کارآمد هنگام مواجه با آلودگی معرفی کردند. لذا در این پژوهش از ابزار جریان رقیق‌ساز به‌عنوان ابزار دوم جهت مدیریت و کنترل آلودگی در شبکه آب شرب شهر زاهدان استفاده‌شده است و درنهایت به بررسی این دو ابزار پرداخته‌شده است.

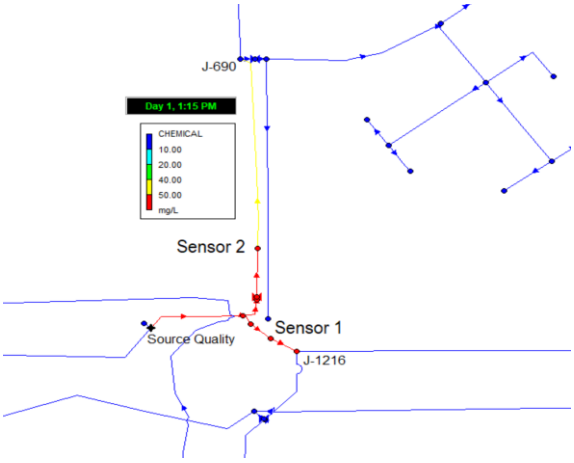
نتایج ابزار مدیریت کیفی تخلیه آب با غلظت غیرمجاز از شبکه

در مرحله اول مدیریت آلودگی وارده به شبکه از ابزار تخلیه آب آلوده از شبکه استفاده‌شده است. ۲ سنسور با شماره‌های ۱ و ۲ در نزدیکی محل تزریق آلودگی در شبکه موجود است، بطوریکه وقتی آلودگی در محل این سنسورها تشخیص داده شود، پس از مدتی، لوله‌های پایین‌دست شبکه بسته می‌شوند تا از ورود آلودگی به بقیه نقاط شبکه جلوگیری شده و همچنین در محل اولین گره بعد از سنسورها شیر تخلیه آب به خارج از شبکه نصب‌شده است.

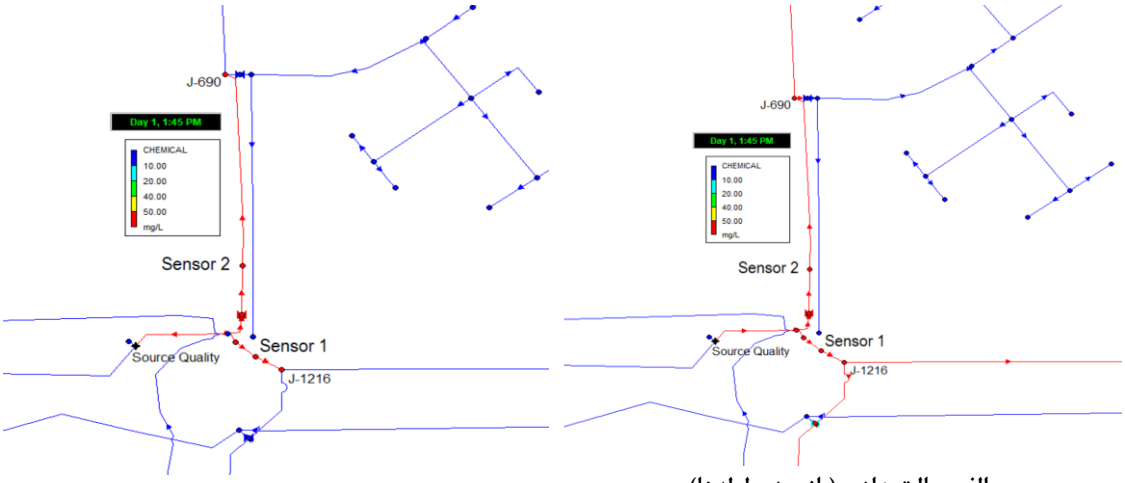


شکل (۹): تشخیص آلودگی در Sensor1 در ساعت ۱۳

مطابق با شکل ۹، با تزریق آلودگی در گره با نام Source Quality در ساعت ۱۲ و اجرای نرم‌افزار، در ساعت ۱۳ (یک ساعت پس از تزریق آلودگی) Sensor 1 آلودگی در شبکه را تشخیص می‌دهد و پس‌ازآن لوله‌های پایین‌دست شبکه یعنی ۲ لوله متصل به گره J-1216 شروع به بسته شدن می‌کنند. در ادامه در ساعت ۱۳:۱۵ دقیقه آلودگی در Sensor 2 شناسایی می‌شود و بلافاصله پس از تشخیص، ۲ لوله متصل به گره J-690 شروع به بسته شدن می‌کنند. شکل ۱۰، تشخیص آلودگی در سنسور شماره ۲ در زمان ۱۳:۱۵ را نشان می‌دهد. همچنین مطابق با این شکل در این ساعت لوله‌های بعد از گره J-1216 بسته‌شده‌اند و از ورود آلودگی به نقاط دیگر شبکه جلوگیری شده است. شکل ۱۱، وضعیت شبکه در ساعت ۱۳:۴۵ دقیقه را در ۲ حالت عادی (باز) و بعد از بسته شدن لوله‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پس از بسته شدن لوله‌ها آلودگی در شبکه محبوس شده و به نقاط دیگر وارد نشده است.



شکل (۱۰): تشخیص آلودگی در Sensor2 در ساعت ۱۳:۱۵و بسته‌شده لوله‌های متصل به J-1216



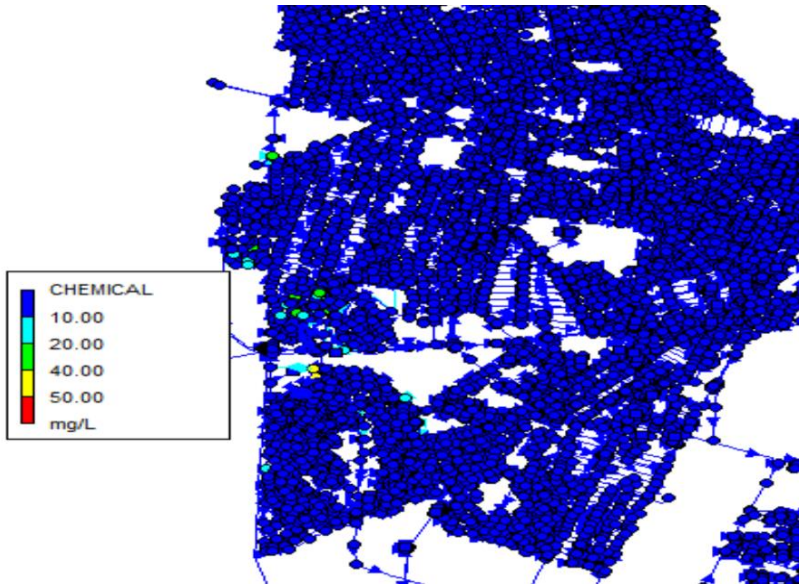
ب. حالت بسته شدن لوله‌ها

الف. حالت عادی (باز بودن لوله‌ها)

شکل (۱۱): نمایی از وضعیت شبکه توزیع آب در حالت باز و بسته شدن لوله‌ها در ساعت ۱۳:۴۵ دقیقه

پس از بستن لوله‌ها گام بعدی تخلیه آب آلوده از شبکه می‌باشد. همان‌طور که گفته شد در محل گره‌های بعد از سنسورها یعنی دو گره J-1216 و J-690 شیر تخلیه آب به خارج از شبکه نصب‌شده است، این شیرها قابلیت تخلیه حداکثر ۲۰ درصد دبی پایه لوله را دارند. نتایج حاصل از تخلیه آب آلوده از این شیرها نشان داد که حداقل مقدار دبی به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه (غلظت کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) که باید از گره J-1216 تخلیه شود برابر با ۱۶/۵ لیتر بر ثانیه به مدت ۶۰ دقیقه بود که این مقدار دبی، معادل ۵/۸۶ درصد دبی پایه لوله است. همچنین لوله‌های متصل به گره مذکور به مدت ۱۲۵ دقیقه باید بسته باشد تا از ورود آب با غلظت بیشتر از مقدار مجاز (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) به نقاط دیگر شبکه جلوگیری کند.

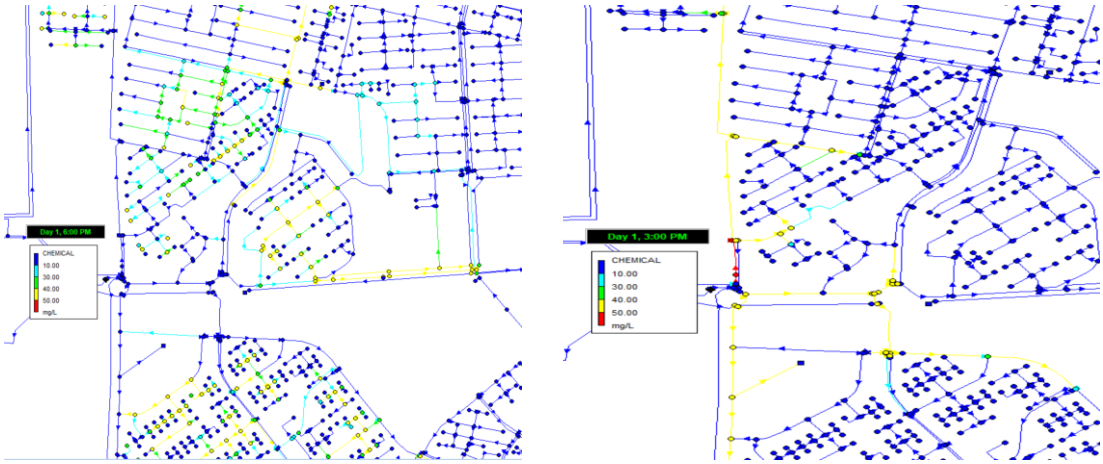
مطابق با نتایج مدل عددی حداقل مقدار دبی به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه (غلظت کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) که باید از گره J-690 تخلیه شود برابر با ۷ لیتر بر ثانیه به مدت ۹۰ دقیقه بود که این مقدار دبی، معادل ۷/۴۵ درصد دبی پایه لوله است. همچنین لوله‌های متصل به گره مذکور به مدت ۱۳۵ دقیقه باید بسته باشد تا از ورود آب با غلظت بیشتر از مقدار مجاز (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) به نقاط دیگر شبکه جلوگیری کند. شکل ۱۲، وضعیت شبکه آب را بعد از اعمال بستن و تخلیه آب آلوده از شبکه در ساعت ۱۸ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این ساعت تمامی گره‌ها غلظتی کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دارند. با مقایسه شکل ۱۲ و شکل ۸، مشاهده می‌شود که تخلیه آب باعث بهبود وضعیت شبکه پس از تزریق آلودگی به شبکه شده است.



شکل (۱۲): نحوه توزیع غلظت نیترات در شبکه آب شهر زاهدان (۶ ساعت پس از تزریق آلاینده) در مدل عددی EPANET

جریان رقیق‌ساز

جریان رقیق‌ساز ابزاری کارا و مقرون‌به‌صرفه جهت مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب می‌باشد. در این قسمت از تحقیق با رویکرد پدافند غیرعامل، پس از ورود آلودگی به شبکه آب شرب شهر زاهدان، به عملیات حفاظت کیفی شبکه پرداخته‌شده است. برای این هدف و به‌منظور رقیق‌سازی در این پروژه از مخازنی که نزدیک به محل تزریق آلودگی هستند، استفاده‌شده است تا با حداقل هزینه ممکن پروسه‌ی حفاظت و مدیریت کیفی شبکه انجام گیرد. مطابق باحالت قبل، ۲ سنسور شماره ۱ و ۲ آلودگی غیرمجاز در شبکه را تشخیص می‌دهند، لذا جهت اصلاح کیفیت آب شبکه از ابزار جریان رقیق‌ساز استفاده‌شده است که جریان موردنیاز از نزدیک‌ترین مخازن موجود در شبکه به‌منظور کاهش زمان تماس آلودگی غیرمجاز و بهینه کردن هزینه‌ها تأمین می‌گردد. خروجی‌های ابزار جریان رقیق‌ساز برای گره J-1216، به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه (غلظت کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) نشان داد که حداقل مقدار آب موردنیاز برای این گره برابر با ۴۵/۴ لیتر بر ثانیه بود که این مقدار جریان معادل ۱۶ درصد دبی پایه لوله می‌باشد. این مقدار جریان باید در بازه زمانی ۱۰۵ دقیقه به شبکه تزریق شود. مطابق با نتایج مدل عددی حداقل مقدار آب موردنیاز برای گره J-690 به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه برابر با ۱۴/۸ لیتر بر ثانیه بود که این مقدار جریان معادل ۱۵/۷ درصد دبی پایه لوله می‌باشد. این مقدار جریان باید در بازه زمانی ۱۰۵ دقیقه به شبکه تزریق شود. شکل ۱۳، وضعیت شبکه توزیع آب را در ساعات ۱۵ و ۱۸ یعنی ۳ و ۶ ساعت پس از تزریق آلودگی در شبکه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، جریان رقیق‌ساز مانع از ورود آلودگی به نقاط پایین‌دست شبکه می‌شود و غلظت در تمامی گره‌ها کمتر از مقدار مجاز می‌باشد.



الف ب

شکل (۱۳): نحوه توزیع نیترات در شبکه آب شهر زاهدان در مدل عددی EPANET. الف) ۳ ساعت ب)۶ ساعت، پس از تزریق آلودگی به شبکه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا به شبیه‌سازی انتقال آلودگی در ستون خاک و ورود آن از طریق مکش به شبکه توزیع آب شرب شهر زاهدان پرداخته‌شده است. لذا ابتدا نحوه انتقال-پخش آلاینده نیترات در محیط خاک توسط برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی گردیده است. سپس این آلودگی در اثر پدیده مکش وارد شبکه آب شرب شده و به بررسی شبکه آب شرب زاهدان به کمک مدل عددی EPANET، پرداخته‌شده است. نتایج صحت‌سنجی و کالیبراسیون مدل مذکور نشان داد که مدل به لحاظ هیدرولیکی و کیفی با دقت مطلوب و خوبی در شبکه‌های توزیع عمل می‌کند. پس‌ازآن سناریوی شبیه‌سازی ۲۴ ساعته شبکه پس از وقوع آلودگی در ساعت ۱۲ تا ۱۴ به شبکه آب شهر زاهدان موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با ورود آلودگی به شبکه، با گذشت زمان غلظت در گره‌ها بیشتر از مقدار مجاز (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) شد. لذا به‌منظور مدیریت بحران، از دو ابزار کارآمد تخلیه و جریان رقیق‌ساز برای کنترل کیفی در شبکه استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی مربوط به تخلیه آب آلوده از شبکه نشان داد که این ابزار به‌خوبی مانع از نفوذ آلودگی به نقاط پایین‌دست می‌شود. به این صورت که پس از تشخیص آلودگی توسط سنسورهایی که در نقاط مختلف شبکه جانمایی شده‌اند. به‌منظور اصلاح و مدیریت کیفی شبکه با بسته شدن لوله‌ها، از انتقال آب به نقاط پایین‌دست شبکه تا ساعاتی بعد از اتمام ورود آلودگی به شبکه جلوگیری می‌شود. لذا در این بازه زمانی بسته بودن لوله‌ها، مصرف‌کننده‌هایی که در نقاط پایین‌دست قرار دارند، قادر به استفاده از آب نیستند. همچنین بسته به میزان تزریق آلودگی از شبکه باید حجمی از آب از شبکه تخلیه‌شده که می‌توان این ۲ مورد را به‌عنوان نقاط ضعف این ابزار بیان نمود. پس‌ازآن تأثیر مثبت و کارآمد جریان رقیق‌ساز به‌عنوان یک راهکار مدیریت و کنترل کیفی شبکه نیز به اثبات رسید. به‌این‌ترتیب که با رهاسازی یک حجم آب مشخص به‌عنوان جریان رقیق‌ساز در نقاط مختلف تشخیص آلودگی در شبکه توسط سنسورها، اصلاح کیفیت آب حاصل شد و غلظت نیترات به زیر مقدار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید. در مواقعی که آلودگی در چندین نقطه از شبکه شناسایی می‌شود، جریان رقیق‌ساز بهینه نیز باید از چند نقطه به شبکه تزریق گردد. لازم به ذکر است که مقدار جریان رقیق‌ساز به‌دست‌آمده برای شبکه توزیع آب شهر زاهدان به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه، حدود ۱۶ درصد دبی پایه لوله محاسبه گردید که می‌تواند به‌عنوان یک الگو در شبکه در

شرایط بحرانی بکار گرفته شود. قابل‌ذکر است که در حالت استفاده از جریان رقیق‌ساز، مصرف‌کنندگان شبکه از آب سالم برخوردار هستند و آب شبکه قطع نمی‌شود که از نقاط مثبت این ابزار مدیریت کیفی شبکه می‌باشد.

منابع

شبانکاره فرد، ا.، ر، حیاتی و س. دوبرادران. ۱۳۹۳. بررسی کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر بوشهر در سال ۱۳۹۱. سال هفدهم، شماره ۶،ص ۱۲۳۵-۱۲۲۳

قنادی، م .۱۳۸۲. راهبردهای کنترل کیفیت در شبکه‌های توزیع آب. فصلنامه آب و محیط‌زیست. ص ۱۱-۴

کیانی، س.، فتحی مقدم، م.، فتحی، ا و ع، حقیقی. ۱۳۹۷. مدل‌سازی عددی جریان گذرا در شبکه آب‌رسانی ویسکوالاستیک. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۹ شماره ۱، ص ۷۵-۶۱.

منزوی، م. ت .۱۳۸۸. آب‌رسانی شهری. تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳ آب آشامیدنی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تجدید نظر پنجم.

نصیرپور، ح.، نصیریان، علی و ا، اکبرپور. ۱۳۹۸. تعیین موقعیت بهینه شیرهای فشارشکن در شبکه توزیع آب مطالعه موردی: شبکه توزیع آب شهر بیرجند. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۱۰، شماره ۱، ص ۳۳-۱۷.

Balbus, J.M. and M.E, Lang. 2001. Is the water safe for my baby? Pediatric Clinics of North America, 48(5), pp.1129-1152.

Bashi-Azghadi, SN., A, Afshar, and MH, Afshar. 2018. Multi-period response management to contaminated water distribution networks: Dynamic programming versus genetic algorithms. Engineering Optimization. 4;50(3):415-29.

. Corso, P.S., M.H, Kramer., K.A, Blair., D.G, Addiss., J.P, Davis and A.C, Haddix. 2003. Costs of illness in the 1993 waterborne Cryptosporidium outbreak, Milwaukee, Wisconsin. Emerging infectious diseases, 9(4), p.426.

Darmian, M. D., S. A. H, Monfared., G, Azizyan., S. A, Snyder and J. P, Giesy. 2018. Assessment of tools for protection of quality of water: Uncontrollable discharges of pollutants. Ecotoxicology and environmental safety, 161, 190-197.

de Winter C, Palleti VR, Worm D, Kooij R. 2019. Optimal placement of imperfect water quality sensors in water distribution networks. Computers & Chemical Engineering. 2; 121:200-11.

Farhadian, M., O.B, Haddad., S, Seifollahi-Aghmiuni and H.A, Loáiciga. 2014. Assimilative capacity and flow dilution for water quality protection in rivers. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, 19(2), p.04014027.

Greer, F.R. and M, Shannon. 2005. Infant methemoglobinemia: the role of dietary nitrate in food and water. Pediatrics, 116(3), pp.784-786.

Hammer, M.J. 2000. Water and Wastewater Technologies. 2nded. John Wiley and Sons, NewYork, 137-157.

LeChevallier, M. W., R. W, Gullick., M. R, Karim., M, Friedman and J. E, Funk. 2003.The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. Journal of Water and Health, 1(1), 3-14.

McGhee, T. J and E. W, Steel. 1991. Water supply and sewerage (Vol. 6). New York: McGraw-Hill.

Monfared, S. A. H., M. D, Darmian., S. A, Snyder.,G, Azizyan.,B, Pirzadeh and M. A, Moghaddam. 2017. Water quality planning in rivers: assimilative capacity and dilution flow. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 99(5), 531-541.

Munavalli, GR., and MM, Kumar. 2003. Optimal scheduling of multiple chlorine sources in water distribution systems. Journal of water resources planning and management. 129(6):493-504.

Naserizade, SS., MR, Nikoo, and Montaseri H. 2018. A risk-based multi-objective model for optimal placement of sensors in water distribution system. Journal of hydrology. 1; 557:147-59.

Nikel, D., 2019. Norway water crisis: Thousands fall ill on island near bergen. https://www.forbes.com/sites/davidnikel/2019/06/15/norway water-crisis-thousands-fall-ill-on-island-near-bergen/#68185250616d, [Accessed: 2019-08-30].

Preis, A., A, Ostfeld. 2008. Multiobjective contaminant sensor network design for water distribution systems. Journal of Water Resources Planning and Management.134(4):366-77.

Rasekh A, and Brumbelow K. 2014. Drinking water distribution systems contamination management to reduce public health impacts and system service interruptions. Environmental Modelling & Software. 1; 51:12-25.

Soudani, A., M, Chiban., M, Zerbet and F, Sinan. 2011. Use of Mediterranean plant as potential adsorbent for municipal and industrial wastewater treatment. Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 3(8), 199-205.

US EPA. 2003. Response protocol toolbox: Planning for and responding to drinking water contamination threats and incidents - overview and application, US Environmental Protection Agency.

White House. 2013. Presidential policy directive Critical infrastructure security and resilience. Accessed August 15, 2019.

World Health Organization. 2017. https://www.who.int/news-room/fact sheets/ detail/ drinking-water

Analysis and Evaluation of Water Quality Management Tools in Water Distribution Networks Against Pollution Entrance in Zahedan Water Distribution Network

Siroos Harif[1], Gholamreza Azizyan[*2], Mohammad Givehchi[3], Mohsen Dehghani Darmian[4]

Abstract

Population growth and urbanization are the main reasons for increased pollution nowadays. Pollution entrance into urban drinking water distribution networks, can cause irreparable damage to human health as a result of the suction phenomenon. Awareness and understanding of pollutant sources and the process of contamination transport in the water network leads to advancements in the development of suitable modeling of this phenomenon, as well as, enabling proper crisis management, when the contaminants enter the network. In order to simulate the movement of nitrate in the soil, the nitrate advection-dispersion equation was programmed in MATLAB. The second zone of water distribution network of Zahedan has been considered as the study area and potential points with high concentration of pollutants in the network have been identified. Network simulation, after two hours of contamination, was tested for water contamination by using EPANET software. To manage the network pollution crisis, two water quality management tools were used in the distribution network, including polluted water discharging and dilution flow, then their results were compared in the crisis management. The results of simulating the movement of pollutants in the soil demonstrated that nitrate concentration near the pipe is unallowable and greater than 50 mg/l. The results of discharging of the polluted water showed that by closing pipes from 1.1 to 1.3 of the pollution injection time and also discharging water from 5 to 8% of the base pipe flow can prevent the pollution from entering other parts of the network. Moreover, For the first time, efficiency and positive performance of dilution flow as another tool for quality management of water distribution network was proved. The Required dilution flow to treat the quality of water was determined to be approximately 16% of the base pipe flow. In order to manage the pollution crisis in the water distribution network, it is vital to use these valuable tools in different situations.

Keywords: Water Quality Management Tools, Water Network Pollution, Suction Phenomenon, Discharge of polluted water, Dilution Flow

1 - PhD student of water engineering and hydraulic structures, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email address: siroos.harif@pgs.usb.ac.ir

2 - Associate Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email address: g.azizyan@eng.usb.ac.ir (corresponding author).

3 - Retired Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email address: m_givehchi@yahoo.com

4 - PhD of water engineering and hydraulic structures, Department of Hydraulic Engineering and Hydro-Environment, Water Research Institute, Tehran, Iran, Email address: Mohsen.dehghanidarmian@gmail.com