

## بررسی کارایی جریان رقیق‌ساز، زمان ماند و خروج آب آلوده در مدیریت کیفی شبکه توزیع آب پس از وقوع آلودگی (مطالعه موردی: شبکه آب شرب شهر زاهدان)

سیروس حریف<sup>۱</sup>، غلامرضا عزیزیان<sup>۲\*</sup>، محمد گیوه‌چی<sup>۳</sup>، محسن دهقانی درمیان<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکترای مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳. استادیار بازنشسته، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۴. دکترای مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۵/۳۱، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۸/۱۲)

### چکیده

سیستم‌های توزیع آب شهری، بخش بزرگی از زیرساخت‌های شهری را تشکیل می‌دهند. آگاهی و شناخت از منابع ورود آلاینده و چگونگی حرکت آن، سبب مدل‌سازی و انجام یک مدیریت بحران مناسب هنگام نفوذ این آلاینده‌ها به شبکه می‌شود. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی حرکت نیترات در خاک، معادله انتقال-پخش آلودگی خاک در MATLAB کدنویسی شد. سپس، شبکه توزیع شماره ۲، آب شرب شهر زاهدان به عنوان منطقه مطالعاتی مد نظر قرار گرفت و نقاط مستعد با غلظت زیاد آلاینده در شبکه شناسایی شد. شبیه‌سازی شبکه بر اثر وقوع دوساعته آلودگی، با استفاده از اتصال مدل عددی EPANET و نرم‌افزار MATLAB مدل‌سازی شد. به منظور مدیریت کیفی شبکه، دو ابزار کارآمد و به‌صرفه زمان ماند و جریان رقیق‌ساز معرفی شده و در کنار ابزار تخلیه آب آلوده، استفاده شدند. نتایج به‌کارگیری ابزار مدیریت کیفی تخلیه آب با غلظت غیرمجاز نشان داد با قطع کردن جریان به مدت ۱/۲۵ تا ۲/۴ بازه زمانی تزریق آلودگی به شبکه و همچنین، خروج آب به میزان ۵ درصد دبی پایه لوله، می‌توان از ورود آلودگی به نقاط دیگر شبکه جلوگیری کرد. برای شبیه‌سازی ابزار زمان ماند، شبکه به چهار منطقه نزدیک، میانه، دور و خیلی دور تقسیم شد. نتایج تحلیل کیفی شبکه بیان می‌کند که زمان ماند مورد نیاز گره‌های ناحیه میانه، دور و خیلی دور نسبت به حالت نزدیک به ترتیب بین ۲۵ تا ۳۰، ۵۰ و ۶۷ تا ۷۵ درصد کاهش می‌یابد. در ادامه، تأثیر مثبت و کارآمد جریان رقیق‌ساز به‌عنوان یک راهکار مدیریت و کنترل کیفی شبکه توزیع به اثبات رسید. مقدار جریان رقیق‌ساز لازم به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب شبکه، حدود ۲۰ درصد دبی پایه لوله محاسبه شد.

**کلیدواژگان:** آلودگی شبکه آب، ابزارهای مدیریت کیفی آب، پدیده مکش، تخلیه آب آلوده، جریان رقیق‌ساز، زمان ماند.

## مقدمه

دسترسی به منابع آب آشامیدنی سالم در بسیاری از کشورهای دنیا مسئله‌ای مهم است. شبکه‌های توزیع آب یکی از زیرساخت‌های مهم شهری هستند. شبکه آب شهری شامل صدها کیلومتر لوله و تعداد بسیار زیادی گره می‌شود و این پراکندگی و گستردگی سبب شده است تا شبکه‌های آب شهری آسیب‌پذیری زیادی داشته باشند. به طور کلی، هر تهدید و خطری برای شبکه‌های آب شهری، به طور مستقیم مردمی را مورد هدف قرار می‌دهد که از آن استفاده می‌کنند. از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین این تهدیدها، آلوده شدن شبکه آب با آلاینده‌های شیمیایی و یا بیولوژیکی است [۱]. 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. آلودگی منابع آب به دو دسته آلودگی شیمیایی و میکروبی تقسیم می‌شود [۲ و ۳]. شبکه‌های توزیع به دلیل‌های گوناگون، منجر به کاهش کیفیت آب در خطوط آبرسانی می‌شوند. راه‌یابی مواد آلی به خطوط آبرسانی به علت عواملی مانند شکستگی‌ها، سیفون معکوس، نشت‌های ریز، کاهش و یا فقدان ماده گندزدا، کنش و واکنش متقابل آب و لوله است. این عوامل شرایط را برای رشد جمعیت میکروبی و تغییر ترکیب شیمیایی آب در شبکه‌های توزیع فراهم می‌آورند. به همین دلیل است که آلودگی آب در شبکه‌های توزیع با سهمی معادل ۲۹ درصد مهم‌ترین عامل شیوع بیماری‌های منتقل‌شده از راه آب دانسته شده است. در ایران نیز مهم‌ترین عامل ایجاد و شیوع بیماری‌های منتقل‌شده از راه آب، آلودگی آن در شبکه‌های توزیع است. به این ترتیب، توجه به کیفیت آب در خطوط آبرسانی در زمره یکی از سرفصل‌های مهم کاری واحدهای کنترل کیفیت قرار دارد [۴]. یکی از املاحی که زیاد بودن غلظت آن در آب آشامیدنی از نظر بهداشتی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و باید آزمایش شود، غلظت نترات است که علاوه بر آلودگی میکروبی می‌تواند به‌عنوان یکی از پارامترهای کنترل کیفیت آب نوشیدنی به حساب آید [۲ و ۳]. مطابق با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، بیشترین غلظت مجاز نترات در آب آشامیدنی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است [۵]. طبق آمار سازمان جهانی بهداشت، سالانه ۱/۱ میلیارد نفر در جهان به منابع آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند [۶] و

حدود ۸۰ درصد از مرگ‌ومیر کودکان بر اثر بیماری‌های گوارشی مانند اسهال، به دنبال مصرف آب آشامیدنی آلوده روی می‌دهد [۷]. در همین راستا، طبق گزارش‌های اعلام‌شده در سال ۲۰۱۷ سالانه ۴۸۵ هزار کودک بر اثر بیماری مرتبط با آب آلوده (اسهال) جان خود را از دست می‌دهند [۸]. هنگامی که آلودگی در سیستم انتقال آب اتفاق می‌افتد، می‌تواند تأثیر درخور توجهی بر جامعه و اقتصاد داشته باشد. به طور مثال، در سال ۲۰۱۴ در غرب ویرجینیا (ایالات متحده آمریکا)، ۳۰۰ هزار مصرف‌کننده زمانی که سیستم توزیع آب آشامیدنی به‌طور تصادفی با ماده خام شیمیایی MCHM آلوده شده بود، تحت تأثیر قرار گرفتند [۹]. مسئله مهم پس از ورود آلودگی به شبکه و تشخیص آن توسط ایستگاه‌های پایش، مدیریت بحران ایجادشده و اتخاذ بهترین تصمیم برای جلوگیری از گسترش آلودگی و حذف آن از سیستم توزیع آب است. بسته پروتکل واکنشی اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده توصیه‌هایی را برای کمینه کردن خطرات ناشی از این تهدیدها ارائه داده است. توصیه‌های این پروتکل شامل اعلام خطر و اطلاع‌رسانی به مردم، ایزوله کردن ناحیه آلوده در شبکه، تخلیه کردن آلودگی از شبکه و ترکیبی از سه مورد قبل است [۱۰].

مطالعات متعددی در نقاط مختلف دنیا در رابطه با کاهش تأثیرات آلودگی و بررسی شبکه‌های آب به‌صورت عددی و آزمایشگاهی انجام گرفته است. به‌طور مثال، در سال ۲۰۰۳ مطالعه‌ای 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 بررسی شده است [۱۱]. سلگی و همکاران (۱۳۹۸) غلظت و پهنه‌بندی برخی پارامترهای کیفی شبکه آب شرب شهر ملایر را با استفاده از روش‌های آماری و GIS ارزیابی کردند. در پژوهش یادشده غلظت نترات برابر ۲۷/۶۱ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد [۱۲]. Besner و همکاران (۲۰۰۹) مطالعاتی را در خصوص منابع خارجی آلودگی انجام دادند. آنان متوجه شدند که افزایش بیماری‌های دستگاه گوارش در جمعیت مصرف‌کننده آب خانگی ممکن است با کمبودهای سیستم توزیع ارتباط داشته باشد [۱۳]. Naserizade و همکاران

زمانی گسترده شبیه‌سازی می‌کند. EPANET جریان آب در لوله‌ها، فشار در گره‌ها، ارتفاع آب در تانک‌ها و غلظت مواد شیمیایی را در سراسر شبکه طی یک دوره شبیه‌سازی با چندین گام زمانی دنبال می‌کند. این نرم‌افزار به عنوان یک ابزار تحقیقاتی با هدف ارتقای درک محققان از حرکت و سرانجام، آب در شبکه‌های توزیع آب، طراحی شده است. این برنامه می‌تواند برای کاربردهای مختلفی در تحلیل سیستم‌های توزیع آب استفاده شود [۱۶].

### معادلات آلودگی در خاک

معادله انتقال-پخش آلودگی به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

که این معادله دیفرانسیل شامل ترم‌های انتقال و پخش است. 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 زیاد حل تحلیلی در پژوهش حاضر از حل تحلیلی استفاده شده است. روش حل اوگاتا و بانکز (رابطه ۲) برای انتقال آلودگی در بخش خاک انتخاب شد.

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

در این معادله  $C_0$  غلظت اولیه آلاینده ( $ML^{-3}$ )،  $V$  سرعت حرکت آلاینده در خاک ( $L T^{-1}$ ) و  $D$  ضریب پخش ( $L^2 T^{-1}$ ) است. به منظور حل این معادله شبیه‌سازی مربوط به آن در نرم‌افزار متلب وارد شده و نتایج به دست آمده از آن در شکل ۱، مشاهده می‌شود. معادله انتقال آلودگی از دو جزء اساسی جابه‌جایی و پخش تشکیل شده است. بخش جابه‌جایی معادله به سرعت 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 [۱۷]. با توجه به عمق لوله‌های آب‌رسانی مدفون شده در خاک میزان جابه‌جایی حداکثر به ۱۰۰ سانتی‌متر می‌رسد. بنابراین، غلظت ثانویه

(۲۰۱۸) نوعی مدل شبیه‌سازی-بهبینه‌سازی را به منظور جانمایی بهینه سنسورهای تشخیص آلودگی در شبکه توزیع آب شهری با هدف کمینه کردن ارزش در معرض ریسک شرطی، احتمال تشخیص ندادن و تعداد سنسور ارائه کردند. در پژوهش یادشده، ریسک از منظر جمعیت آلوده‌شده و زمان تشخیص آلودگی بررسی شد [۱۴]. Rasekh (۲۰۱۴) با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی به بهینه‌سازی مهار و تخلیه آلاینده در شبکه آب با هدف حداقل کردن وقفه در سرویس‌دهی شبکه آب پرداختند [۱۵].

در هیچ‌یک از تحقیقات یادشده اثر هم‌زمان شبیه‌سازی انتقال آلودگی در ستون خاک و ورود آن از طریق مکش به شبکه توزیع آب بررسی نشده است. بنابراین، در تحقیق حاضر ابتدا چگونگی انتقال-پخش آلاینده نیترات در محیط خاک توسط نرم‌افزار MATLAB تا مجاورت لوله‌های آب شبیه‌سازی شده است. سپس، نقاط مستعد مکش و ورود آلودگی به شبکه توزیع آب شرب شهر زاهدان تحقیق شده و بر اساس آیین‌نامه‌های موجود در شبکه توزیع آب، نقاط با ریسک بالا برای نفوذ آلودگی تعیین شده‌اند. پس از آن، به بررسی بخش مهمی از شبکه آب شرب زاهدان تحت ورود ناگهانی نیترات با استفاده از اتصال مدل عددی EPANET و نرم‌افزار MATLAB پرداخته شده است. در نهایت، به منظور مدیریت کیفی کارآمد شبکه، به صورت هم‌زمان سه ابزار زمان ماند، جریان رقیق‌ساز و تخلیه آب آلوده از شبکه برای نخستین بار شبیه‌سازی شده و آثار اصلاحی آنها مقایسه شد. درخور یادآوری است در تحقیقات گذشته در بخش مربوط به مدیریت پیامد پس از ورود آلودگی به شبکه از توصیه‌های بسته پروتکل واکنشی اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، یعنی تخلیه آب آلوده از شبکه استفاده کرده‌اند. بنابراین، در پژوهش حاضر علاوه بر شبیه‌سازی ابزار تخلیه آب آلوده از شبکه، از دو ابزار جریان رقیق‌ساز و زمان ماند برای مدیریت شبکه توزیع استفاده شده و در نهایت، به مقایسه نتایج این ابزارهای مدیریت کیفی در شبکه پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

#### نرم‌افزار EPANET

EPANET یک برنامه کامپیوتری است که رفتار هیدرولیکی و کیفی آب را در شبکه‌های لوله تحت فشار و به صورت دوره

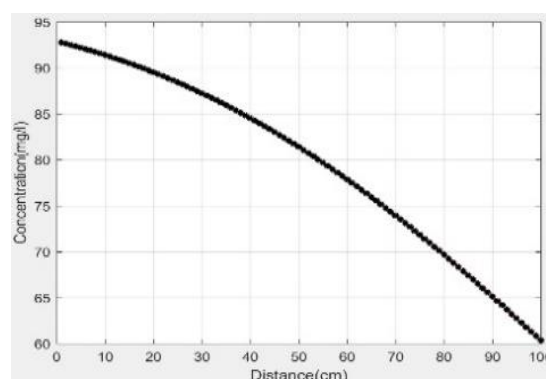
که این معادله شامل ترم‌های انتقال و واکنش می‌شود. در این معادله  $c_i$  غلظت آلاینده در لوله  $i$  ام در زمان  $t$  و مکان  $x$  برحسب میلی‌گرم بر لیتر است،  $u_i$  سرعت جریان آب در لوله  $i$  ام برحسب متر بر ثانیه است.  $R(c_i)$  ترم مربوط به نرخ واکنش است که شامل واکنش دیواره و حجمی می‌شود.

#### صحت‌سنجی و کالیبراسیون

به‌منظور مقایسه و بررسی نرم‌افزار MATLAB از نتایج شبکه‌آرائه‌شده توسط Kumar و همکاران (۲۰۰۳) استفاده شد. تصویری از این مدل آزمایشگاهی در شکل ۲، نشان داده شده است. این مدل شامل ۳۴ گره مصرف‌کننده، ۶ گره تقویت‌کننده (A تا F)، یک گره به‌عنوان سرچشمه، ۴۷ لوله و یک تانک می‌شود که به بررسی غلظت کلر در شبکه می‌پردازد. مدل آزمایشگاهی کومار و همکاران توسط EPANET شبیه‌سازی شد و سپس، توسط MATLAB مدل‌سازی شده و شرایط مرزی و اولیه مطابق با مدل آزمایشگاهی به مدل MATLAB اعمال شد [۱۸].

شکل‌های ۳ و ۴، به‌ترتیب نتایج ارائه‌شده (غلظت کلر باقی‌مانده) توسط کومار و همکاران و نرم‌افزار MATLAB را برای ۲ گره B و E نشان می‌دهند. با مقایسه این ۲ شکل مشاهده می‌شود که نرم‌افزار MATLAB به‌خوبی و با دقت بسیار زیاد به نتایج ارائه‌شده توسط کومار و همکاران رسیده است؛ که کارایی و دقت زیاد این مدل را برای مدل‌سازی کیفی در شبکه‌های آب بیان می‌کند.

آلودگی نیز تا همین فاصله در خاک تعیین شده و معادله برای فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر حل شده است. درنهایت، غلظت عبوری از یک ستون خاک ماسه‌ای به میزان حدود ۳۵ درصد کاهش یافته است، به‌طوری که غلظت آلودگی در فاصله‌ای به طول یک متر،  $۶۰/۳۳$  میلی‌گرم بر لیتر به دست آمده است. این عدد به‌عنوان غلظت آلودگی در کنار لوله بوده و همین میزان به‌عنوان غلظت اولیه برای آلاینده‌راه‌یافته به درون شبکه در نظر گرفته شده است.

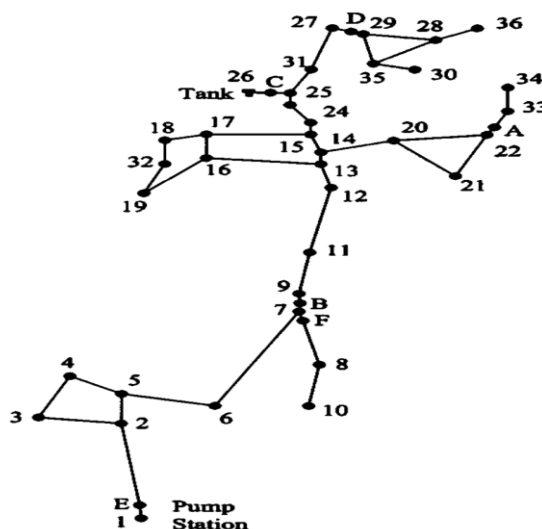


شکل ۱. تغییرات غلظت نیترات منتج‌شده از حل تحلیلی در ستون خاک

#### معادله شبیه‌سازی کیفی آب در نرم‌افزار

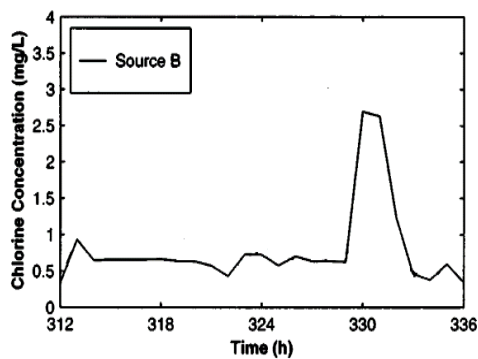
انتقال مواد تشکیل‌دهنده کیفیت آب در امتداد لوله  $i$  ام توسط معادله انتقال کلاسیک (رابطه ۳) ارائه شده است:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial c_i}{\partial x} \pm R(c_i) \quad (3)$$

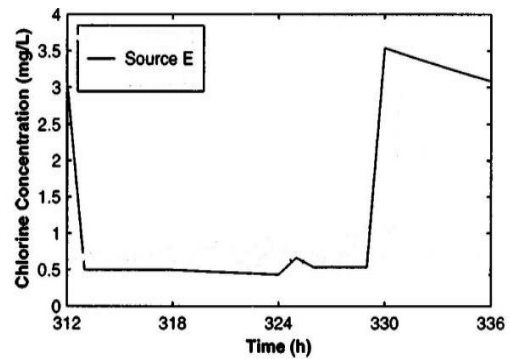


شکل ۲. مدل آزمایشگاهی کومار و همکاران [۱۸]

حریف و همکاران: بررسی کارایی جریان رقیق‌ساز، زمان ماند و خروج آب آلوده در مدیریت کیفی شبکه توزیع آب ... ۱۰۳۷

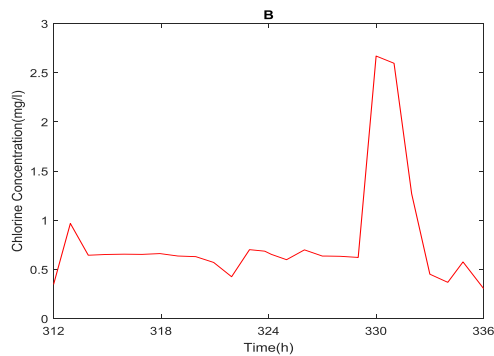


ب. غلظت کلر باقی‌مانده در گره B

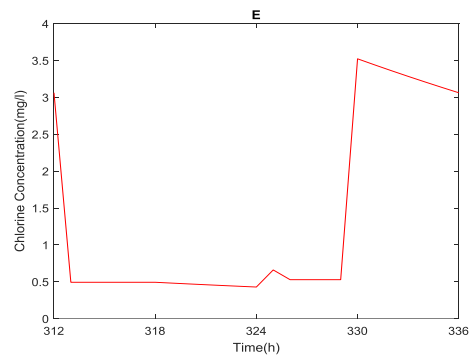


الف. غلظت کلر باقی‌مانده در گره E

شکل ۳. نتایج ارائه‌شده توسط کومار و همکاران (الف) گره E (ب) گره B [۱۸]



ب. غلظت کلر باقی‌مانده در گره B



الف. غلظت کلر باقی‌مانده در گره E

شکل ۴. نتایج ارائه‌شده توسط نرم‌افزار MATLAB

بلوچستان قرار دارد. با توجه به اقلیم منطقه، آب‌وهوای به‌شدت گرم و خشک بر این شهر حکم‌فرماست. چگونگی توزیع آب در شهر زاهدان به‌صورت ثقلی صورت می‌گیرد. این شهر دو شبکه آبرسانی ۱ و ۲ دارد که محدوده آنها در شکل ۵، نشان داده شده است.

#### معرفی محدوده مطالعاتی

استان سیستان و بلوچستان با وسعت حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومترمربع معادل ۱۱/۵ درصد کشور را به خود اختصاص داده است. شهرستان زاهدان به‌عنوان مرکز استان سیستان و بلوچستان مساحتی حدود ۳۶۵۸۱ کیلومترمربع (حدود ۲۰ درصد کل سطح استان) در شمال استان سیستان و

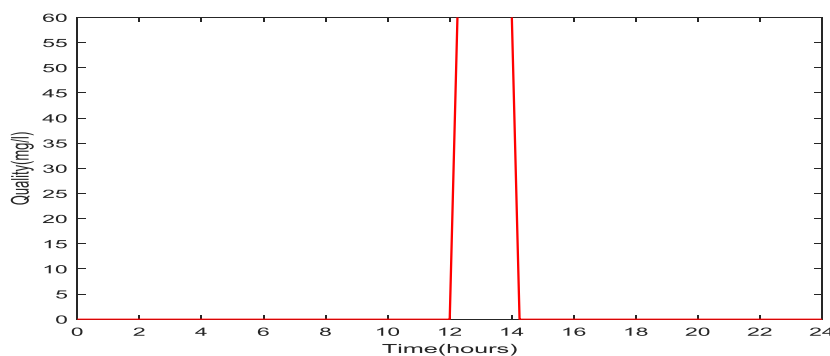


شکل ۵. تقسیم‌بندی شبکه آبرسانی شهر زاهدان

آلودگی و با همین میزان غلظت وارد شبکه می‌شود. از بین نقاط مستعد برای نفوذ آلودگی در شبکه، دو گره انتخاب شد و مقدار آلودگی ثابت  $60/33$  میلی‌گرم بر لیتر از این نقاط به شبکه تزریق شد. یک الگوی زمانی برای ورود آلودگی معرفی شده که در شکل ۷، قابل مشاهده است. به این صورت که با کاهش فشار و در پی آن وقوع فشار منفی در ساعت ۱۲ ورود آلودگی انجام شده و در ساعت ۱۴ با عادی شدن جریان ورود آلودگی قطع شده است. همچنین، مدت اجرای نرم‌افزار ۲۴ ساعت انتخاب شده است. پس از تزریق آلودگی به شبکه و اجرای نرم‌افزار، نتایج نشان داد غلظت در بسیاری از نقاط شبکه بیشتر از  $50$  میلی‌گرم بر لیتر (مقدار استاندارد) بود. شکل ۸ نتایج نرم‌افزار MATLAB را در ساعت ۱۷ (۵ ساعت پس از تزریق آلودگی به شبکه) نشان می‌دهد یک دید عمومی مناسب از منظر مناطق در خطر ریسک ناشی از ورود آلودگی را به بهره‌بردار پس از ورود آلاینده به شبکه ارائه می‌دهد.



شکل ۶. منطقه مستعد برای ورودی آلودگی به شبکه آب شرب شهر زاهدان



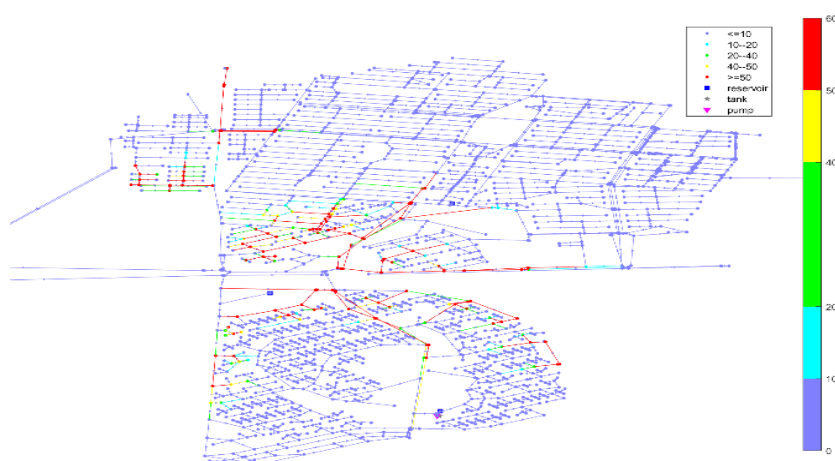
شکل ۷. سناریوی ورود نیترات به شبکه آب

### تعیین نقاط مستعد ورود آلودگی به شبکه

برای تعیین نقاطی که پتانسیل ورود آلودگی به شبکه را دارند، باید بر اساس ویژگی‌های نشست و همچنین، ویژگی‌های فشار گذرا در شبکه اقدام به انتخاب آنها کرد. اداره آب آمریکا در سال ۲۰۰۷، در نتیجه بررسی‌های میدانی ویژگی‌هایی را ارائه داده است که در آن نقاط با این ویژگی‌ها، بیشترین پتانسیل وقوع فشارهای گذرا را دارند. به‌طور خلاصه، این نقاط عبارت است از: گره‌هایی در شبکه با فشار خیلی بالا. بنابراین، گره‌های موجود در شبکه امتیازدهی شده و نقاطی که دارای بیشترین احتمال وقوع چنین رویدادی را دارند، انتخاب شده است. محدوده نقاط ورود آلودگی در شکل ۶، نشان داده شده است.

### نتایج و بحث

شبیه‌سازی فرایند انتقال-پخش آلودگی نیترات در شبکه حال که انتقال آلودگی تا مجاورت شبکه‌های لوله شبیه‌سازی شده است، بر اثر وقوع یک فشار منفی در نقاطی از شبکه این



شکل ۸. چگونگی توزیع نیترات در شبکه آب شهر زاهدان (۵ ساعت پس از تزریق آلاینده) در نرم‌افزار MATLAB

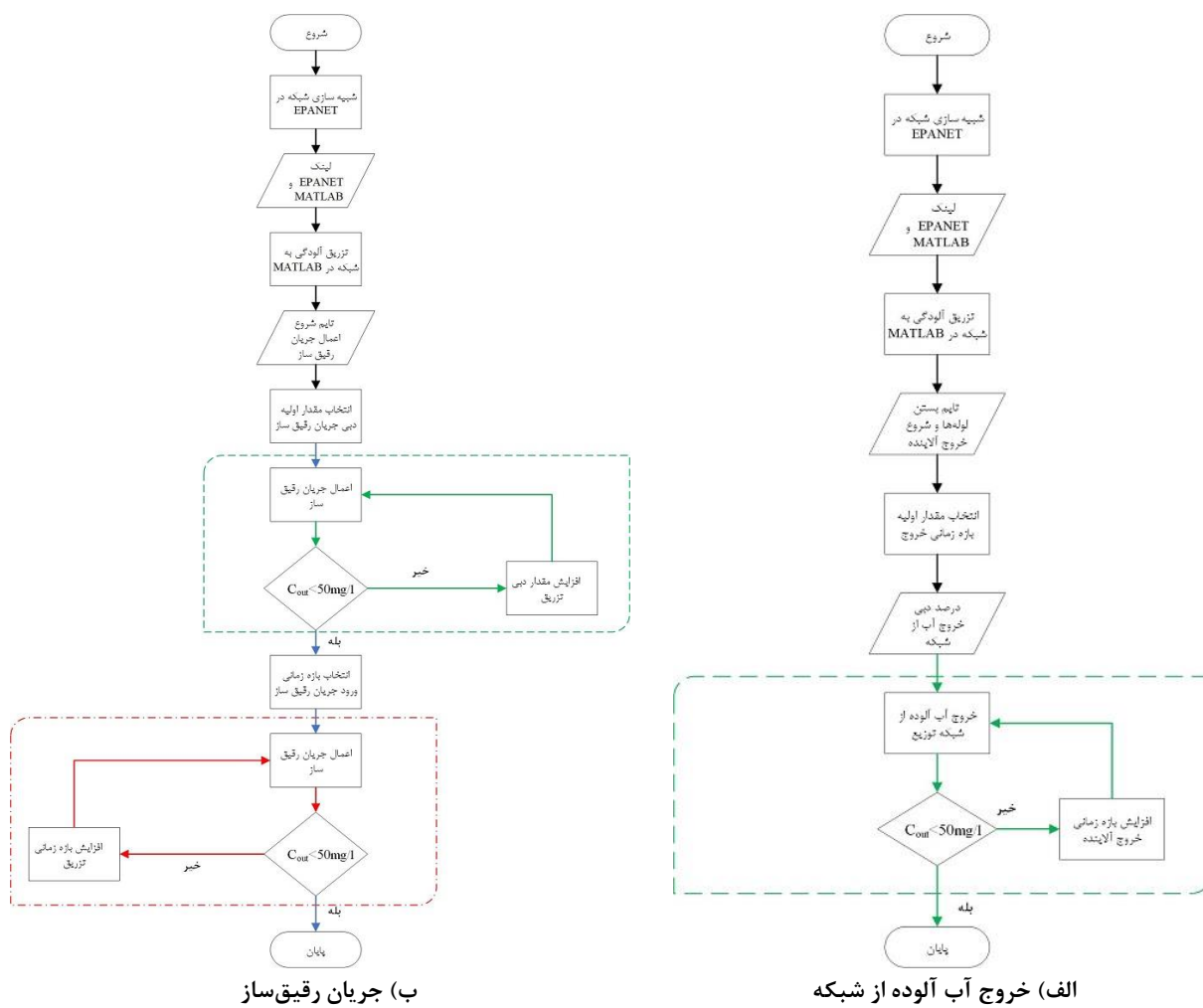
موجود است. وقتی آلودگی در محل این سنسورها تشخیص داده شود، پس از ۱۵ دقیقه لوله‌های پایین‌دست شبکه بسته می‌شوند تا از ورود آلودگی به بقیه نقاط شبکه جلوگیری شود. همچنین، در محل اولین گره بعد از سنسورها شیر تخلیه آب به خارج از شبکه نصب شده است، به طوری که ۳۰ دقیقه بعد از بسته شدن لوله‌ها تخلیه آب آلوده از شیرهای مربوطه انجام می‌گیرد. مطابق شکل ۱۰، با تزریق آلودگی در ۲ گره با نام Source Quality1 و Source Quality2 در ساعت ۱۲ و اجرای نرم‌افزار MATLAB، در ساعت ۱۲:۴۵ دقیقه، Sensor 1 آلودگی در شبکه را تشخیص می‌دهد و پس از آن، در ساعت ۱۳ 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 در ساعت ۱۳:۳۰ دقیقه شروع به بسته شدن می‌کنند. شکل ۱۱، تشخیص آلودگی در سنسور ۲ در زمان ۱۳:۱۵ را نشان می‌دهد. همچنین، مطابق با این شکل در این ساعت لوله‌های بعد از گره J-1216 بسته شده‌اند و از ورود آلودگی به نقاط دیگر شبکه جلوگیری شده است. شکل ۱۲، وضعیت شبکه در ساعت ۱۴ 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.

### تحلیل و بررسی سناریوهای مدیریتی کنترل آلودگی

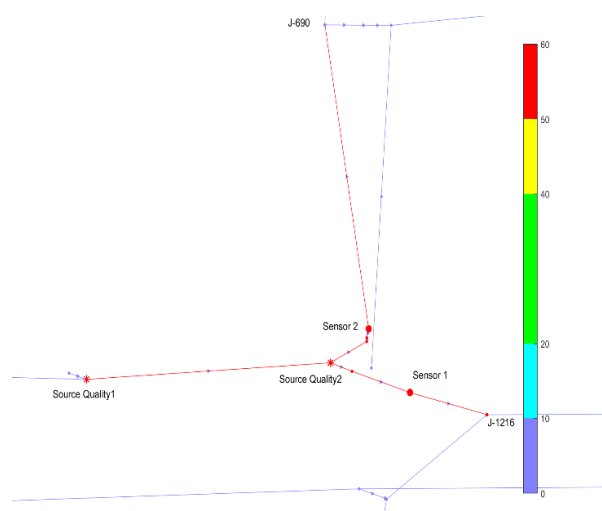
در قسمت قبل سناریوی بررسی وضعیت کیفی شبکه آب شرب شهر زاهدان مد نظر قرار گرفت. حال در این بخش راهکارهایی برای مدیریت و کنترل آلودگی مد نظر این پژوهش (نیترات) ارائه می‌شود. مطابق با بسته پروتکل واکنشی اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، یکی از راه‌های مقابله با آلودگی پس از ورود به شبکه، تخلیه آب آلوده از شبکه است. بنابراین، نخستین ابزار مدیریت کیفی شبیه‌سازی شده در پژوهش حاضر، تخلیه آب آلوده از شبکه است. همچنین، Dehghani Darmian و همکاران (۲۰۱۸)؛ Hashemi Monfared و همکاران (۲۰۱۷) و Farhadian و همکاران (۲۰۱۴) دو ابزار جریان رقیق‌ساز و زمان ماند را به‌عنوان ابزارهای کارآمد هنگام مواجهه با آلودگی معرفی کردند [۱۹-۲۱]. بنابراین، در پژوهش حاضر از دو ابزار جریان رقیق‌ساز و زمان ماند به‌عنوان ابزارهای دوم و سوم برای مدیریت و کنترل آلودگی در شبکه آب شرب شهر زاهدان استفاده شده و در نهایت، به بررسی این سه ابزار پرداخته شده است. شکل ۹، فلوجارت مربوط به فرایند تخلیه آب آلوده از شبکه و فرایند جریان رقیق‌ساز را نشان می‌دهد.

### نتایج ابزار مدیریت کیفی تخلیه آب با غلظت غیرمجاز از شبکه

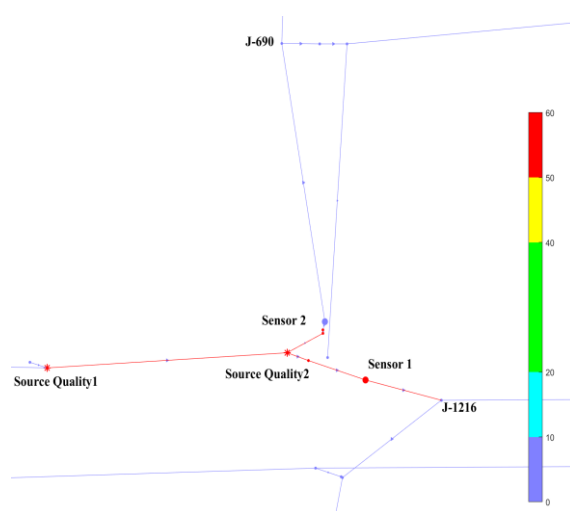
در مرحله اول مدیریت آلودگی وارد شده به شبکه از ابزار تخلیه آب آلوده از شبکه استفاده شده است. ۲ سنسور با شماره‌های ۱ و ۲ در نزدیکی محل تزریق آلودگی در شبکه



شکل ۹. فلوجارت مربوط به ابزارهای مدیریت کیفی شبکه آب

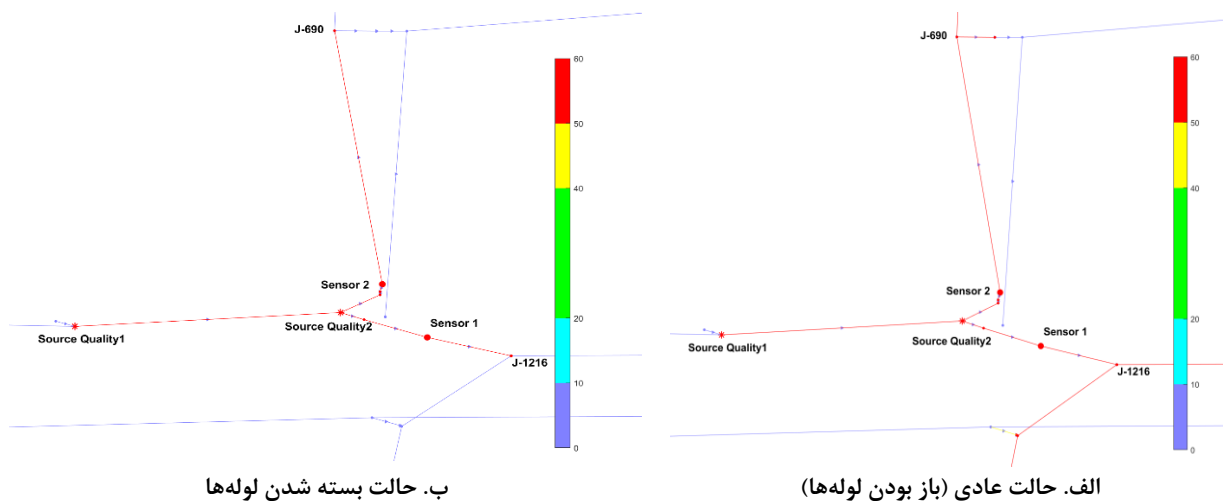


شکل ۱۱. تشخیص آلودگی در Sensor2 در ساعت ۱۳:۱۵ و بسته شدن لوله های متصل به J-1216



شکل ۱۰. تشخیص آلودگی در Sensor1 در ساعت ۱۲:۴۵ دقیقه

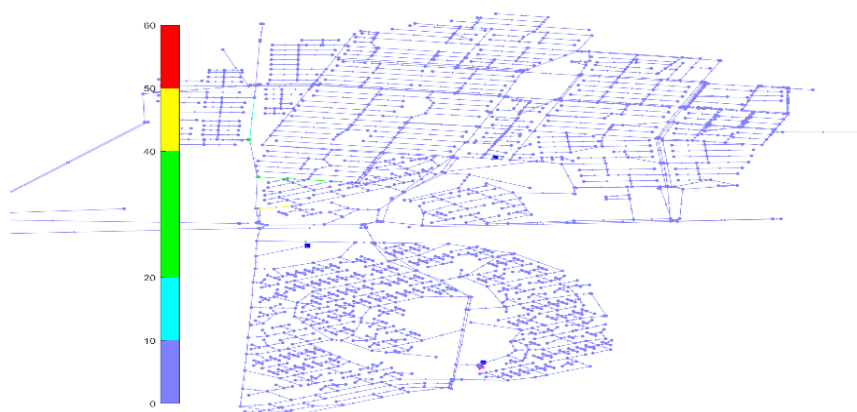




شکل ۱۲. نمایی از وضعیت شبکه توزیع آب در حالت باز و بسته شدن لوله‌ها در ساعت ۱۴

وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه حداقل مقدار دبی، برای دستیابی به کمترین حجم آب خروجی از شبکه، که باید از گره J-690 تخلیه شود برابر با  $4/7$  لیتر بر ثانیه به مدت ۲۵۵ دقیقه بود که این مقدار دبی، معادل ۵ درصد دبی پایه لوله است. همچنین، لوله‌های متصل به گره یادشده به مدت ۲۸۵ دقیقه باید بسته باشند تا از ورود آب با غلظت بیشتر از مقدار مجاز به نقاط دیگر شبکه جلوگیری شود. درخور یادآوری است که چنانچه محدودیتی در بازه زمانی بسته شدن لوله‌های شبکه وجود داشته باشد، می‌توان از دبی‌های دیگر استفاده کرد تا مدت بسته شدن کاهش یابد. مطابق جدول ۱، برای گره J-690 چنانچه مقدار دبی تخلیه به ۳۰ درصد دبی پایه لوله افزایش یابد، حداکثر زمان بسته بودن لوله‌ها به ۱۳۵ دقیقه کاهش می‌یابد. اما حجم آب تخلیه‌شده از شبکه افزایش می‌یابد. شکل ۱۳ وضعیت شبکه آب را بعد از بستن و تخلیه آب آلوده از شبکه در ساعت ۱۷ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این ساعت تمامی گره‌ها غلظتی کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دارند. با مقایسه شکل ۱۳ و شکل ۸، مشاهده می‌شود که تخلیه آب سبب بهبود وضعیت شبکه پس از تزریق آلودگی به شبکه شده است.

پس از بستن لوله‌ها، گام بعدی تخلیه آب آلوده از شبکه است. همان‌طور که گفته شد، در محل گره‌های بعد از سنسورها یعنی دو گره J-690 و J-1216 شیر تخلیه آب به خارج از شبکه نصب شده است. ابزار تخلیه آب آلوده از شبکه شامل مقدار دبی تخلیه و بازه زمانی تخلیه آب از شبکه است. به این صورت که با تغییر مقدار دبی، بازه زمانی تخلیه هم تغییر می‌کند. بنابراین، مقادیر مختلف دبی تخلیه از ۵ تا ۴۰ درصد دبی پایه لوله انتخاب شدند و محاسبه شد. جدول ۱، نتایج خروجی مربوط به تخلیه آب آلوده از شبکه را نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۱، به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه (غلظت کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) حداقل مقدار دبی، برای دستیابی به کمترین حجم آب خروجی از شبکه، که باید از گره J-1216 تخلیه شود، برابر با  $14/1$  لیتر بر ثانیه به مدت ۱۰۵ دقیقه بود که این مقدار دبی، معادل ۵ درصد دبی پایه لوله است. همچنین، لوله‌های متصل به گره یادشده به مدت ۱۵۰ دقیقه باید بسته باشند تا از ورود آب با غلظت بیشتر از مقدار مجاز ( $50$  میلی‌گرم بر لیتر) به نقاط دیگر شبکه جلوگیری شود. همچنین، مطابق با نتایج مدل عددی به‌منظور بهبود



شکل ۱۳. چگونگی توزیع غلظت نیترات در شبکه آب شهر زاهدان (۵ ساعت پس از تزریق آلاینده) در نرم افزار MATLAB

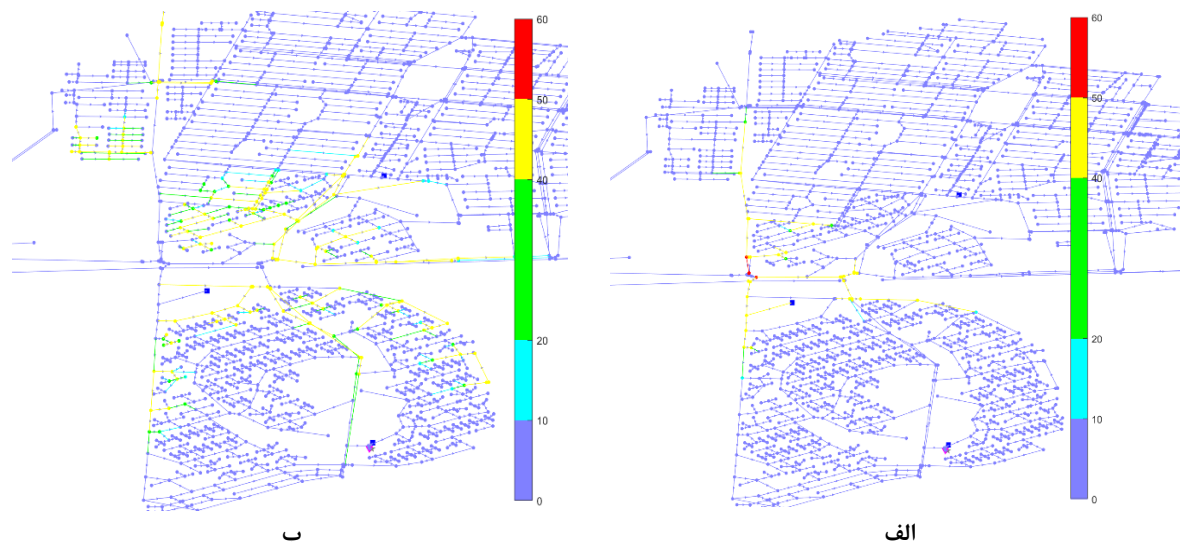
جدول ۱. نتایج نرم افزار MATLAB مربوط به فرایند تخلیه آب آلوده از شبکه

ردیف	درصد دبی پایه لوله ها	بازه زمانی بسته بودن لوله های گره J-1216	بازه زمانی بسته بودن لوله های گره J-690	بازه زمانی تخلیه از گره J-1216	بازه زمانی تخلیه از گره J-690
۱	۵	۱۳ تا ۱۵:۳۰	۱۳:۳۰ تا ۱۸:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵:۱۵	۱۴ تا ۱۸:۱۵
۲	۱۰	۱۳ تا ۱۵:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۶:۴۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵	۱۴ تا ۱۶:۴۵
۳	۱۵	۱۳ تا ۱۵:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۶:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵	۱۴ تا ۱۶:۱۵
۴	۲۰	۱۳ تا ۱۵:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۶	۱۳:۳۰ تا ۱۵	۱۴ تا ۱۶
۵	۲۵	۱۳ تا ۱۵:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۶	۱۳:۳۰ تا ۱۵	۱۴ تا ۱۶
۶	۳۰	۱۳ تا ۱۵:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵:۴۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵	۱۴ تا ۱۵:۴۵
۷	۳۵	۱۳ تا ۱۵:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵:۴۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵	۱۴ تا ۱۵:۴۵
۸	۴۰	۱۳ تا ۱۵:۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵:۴۵	۱۳:۳۰ تا ۱۵	۱۴ تا ۱۵:۴۵

### جریان رقیق ساز

جریان رقیق ساز ابزاری کارا و به صرفه برای مدیریت کیفی سیستم های منابع آب است. در این قسمت از تحقیق با رویکرد پدافند غیرعامل، پس از ورود آلودگی به شبکه آب شرب شهر زاهدان، به عملیات حفاظت کیفی شبکه پرداخته شده است. برای این هدف و به منظور رقیق سازی در این پروژه، از مخازنی که نزدیک به محل تزریق آلودگی هستند، استفاده شده است تا با حداقل هزینه ممکن پروسه حفاظت و مدیریت کیفی شبکه انجام گیرد. مطابق با حالت قبل، سنسورهای ۱ و ۲ آلودگی غیرمجاز در شبکه را تشخیص می دهند، بنابراین برای اصلاح کیفیت آب شبکه از ابزار جریان رقیق ساز استفاده شده است که جریان مورد نیاز از نزدیک ترین مخازن موجود در شبکه به منظور کاهش زمان تماس آلودگی غیرمجاز و بهینه کردن هزینه ها تأمین می شود. خروجی های ابزار جریان رقیق ساز برای گره J-1216، به منظور بهبود وضعیت کیفی

آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه (غلظت کمتر از ۵۰ میلی گرم بر لیتر) نشان داد حداقل مقدار آب مورد نیاز برای این گره برابر با ۵۶/۸ لیتر بر ثانیه بود که این مقدار جریان معادل ۲۰ درصد دبی پایه لوله است. این مقدار جریان باید در بازه زمانی ۱۳۵ دقیقه به شبکه تزریق شود. مطابق با نتایج مدل عددی حداقل مقدار آب مورد نیاز برای گره J-690 به منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه برابر با ۱۹/۲۵ لیتر بر ثانیه بود که این مقدار جریان معادل ۲۰/۷ درصد دبی پایه لوله است. این مقدار جریان باید طی ۱۳۵ دقیقه به شبکه تزریق شود. شکل ۱۴ وضعیت شبکه توزیع آب را در ساعت های ۱۵ و ۱۷ یعنی ۳ و ۵ ساعت پس از تزریق آلودگی در شبکه را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، جریان رقیق ساز مانع از ورود آلودگی به نقاط پایین دست شبکه می شود و غلظت در تمامی گره ها کمتر از مقدار مجاز است.



شکل ۱۴. چگونگی توزیع نیترات در شبکه آب شهر زاهدان در MATLAB. الف) ۳ ساعت ب) ۵ ساعت، پس از تزریق آلودگی به شبکه

#### زمان ماند

زمان ماند عبارت است از: زمانی که باید به آب داده شود تا بر اثر عامل پخشیدگی معادله انتقال آلودگی، غلظت غیرمجاز به مجاز تبدیل شود که کارایی آن به عنوان یک ابزار مدیریت کیفی در رودخانه به اثبات رسیده است [۱۹]. شایان یادآوری است که در این مدت‌زمان نباید از محل گره مورد نظر آب برداشت شود. در این بخش به بررسی زمان ماندن آلودگی (نیترات) در گره‌های شبکه آب شهر زاهدان می‌پردازیم. شبکه مورد نظر به ۴ منطقه مختلف، منطقه نزدیک به محل آلودگی (شامل نقاطی که آلودگی در ۱۲ ساعت اول بعد از تزریق آلودگی به شبکه، به آن نقاط می‌رسد؛ یعنی طی ساعت‌های ۱۲ تا ۲۴ اجرای نرم‌افزار)، منطقه میانه (شامل نقاطی که آلودگی در ۱۲ ساعت دوم بعد از تزریق آلودگی به شبکه، به آن نقاط می‌رسد؛ یعنی طی ساعت‌های ۲۴ تا ۳۶)، منطقه دور از

محل تزریق آلودگی (شامل نقاطی که آلودگی در ۱۲ ساعت سوم بعد از تزریق آلودگی به شبکه، به آن نقاط می‌رسد؛ یعنی طی ساعت‌های ۳۶ تا ۴۸) و منطقه خیلی دور از محل تزریق آلودگی (شامل نقاطی که آلودگی در ۱۲ ساعت چهارم بعد از تزریق آلودگی به شبکه، به آن نقاط می‌رسد؛ یعنی طی ساعت‌های ۴۸ تا ۶۰)، تقسیم شده است. درخور یادآوری است که برای بررسی زمان ماندن آلودگی در گره‌های شبکه زمان اجرای نرم‌افزار برابر با ۶۰ ساعت انتخاب شده است، به طوری که فقط در ساعت‌های ۱۲ تا ۱۴ روز اول، آلودگی به شبکه تزریق شده است و بقیه ساعت‌های آلودگی وارد شبکه نشده است. جدول ۲، مدت زمان وجود آلودگی در گره و مدت زمانی که غلظت گره بیشتر از مقدار مجاز است برای تعدادی گره به عنوان نماینده از گره‌های ۴ منطقه اشاره شده نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج نرم‌افزار MATLAB برای گره‌هایی از مناطق چهارگانه

گره از ناحیه خیلی دور	گره از ناحیه دور	گره از ناحیه میانه	گره از ناحیه نزدیک
<b>سری اول</b>			
۴ ساعت و ۴۵ دقیقه	۵ ساعت	۴ ساعت و ۳۰ دقیقه	۲ ساعت و ۱۵ دقیقه
۳۰ دقیقه	۴۵ دقیقه	۱ ساعت و ۱۵ دقیقه	۱ ساعت و ۳۰ دقیقه
<b>سری دوم</b>			
۵ ساعت	۴ ساعت و ۱۵ دقیقه	۶ ساعت و ۱۵ دقیقه	۴ ساعت و ۳۰ دقیقه
۳۰ دقیقه	۱ ساعت	۱ ساعت و ۳۰ دقیقه	۲ ساعت

نرم افزار به لحاظ هیدرولیکی و کیفی با دقت مطلوب و خوبی در شبکه های توزیع عمل می کند. پس از آن، سناریوی شبیه سازی ۲۴ ساعته شبکه پس از وقوع آلودگی در ساعت ۱۲ تا ۱۴ به شبکه آب شهر زاهدان بررسی شد. نتایج نشان داد با ورود آلودگی به شبکه، با گذشت زمان غلظت در گرہها بیشتر از مقدار مجاز (۵۰ میلی گرم بر لیتر) شد. بنابراین، به منظور مدیریت بحران، مطابق با بسته پروتکل واکنشی اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده در مرحله اول از ابزار تخلیه آب آلوده از شبکه استفاده شد. سپس، به معرفی و بررسی دو ابزار کارآمد و مفید جریان رقیق ساز و زمان ماند پرداخته شد. نتایج شبیه سازی مربوط به تخلیه آب آلوده از شبکه نشان داد این ابزار به خوبی مانع از نفوذ آلودگی به نقاط پایین دست می شود. به این صورت که پس از تشخیص آلودگی توسط سنسورهایی که در نقاط مختلف شبکه جانمایی شده اند، به منظور اصلاح و مدیریت کیفی شبکه با بسته شدن لوله ها، از انتقال آب به نقاط پایین دست شبکه جلوگیری می شود. بنابراین، در این بازه زمانی بسته بودن لوله ها، مصرف کننده هایی که در نقاط پایین دست قرار دارند، قادر به استفاده از آب نیستند. همچنین، باید حجم مشخصی آب از شبکه تخلیه شده که می توان این دو مورد را به عنوان ضعف های این ابزار بیان کرد. پس از آن، تأثیر مثبت و کارآمد جریان رقیق ساز به عنوان یک راهکار مدیریت و کنترل کیفی شبکه نیز به اثبات رسید. به این ترتیب که با رهاسازی یک حجم آب مشخص به عنوان جریان رقیق ساز در نقاط مختلف ورود آلودگی به شبکه، اصلاح کیفیت آب حاصل شد و غلظت نترات به کمتر از مقدار ۵۰ میلی گرم بر لیتر رسید. همچنین، هنگام استفاده از جریان رقیق ساز مصرف کنندگان می توانند از آب استفاده کنند که این مورد از نقاط مثبت این ابزار مدیریت کیفی است. در مواقعی که آلودگی از چندین نقطه به شبکه وارد می شود، جریان رقیق ساز بهینه نیز باید از چند نقطه به شبکه تزریق شود. درخور یادآوری است که مقدار جریان رقیق ساز به دست آمده برای شبکه توزیع آب شهر زاهدان به منظور بهبود وضعیت کیفی آب و مجاز شدن غلظت آلودگی در شبکه، حدود ۲۰ درصد دبی پایه لوله محاسبه شد که می تواند به عنوان یک الگو در شبکه در شرایط بحرانی به کار گرفته شود. در ادامه، برای محاسبه ابزار زمان ماند،

با بررسی راهکار زمان ماند آلودگی، برای کنترل آلودگی در گرہهای مختلف شبکه در نرم افزار مشاهده شد که در گرہهای نزدیک به محل تزریق آلودگی (ناحیه نزدیک)، زمان ماند برای آلودگی غیرمجاز از گرہهایی که از محل تزریق آلودگی دورتر بودند (ناحیه خیلی دور)، بیشتر بود؛ بنابراین می توان گفت که هنگام ورود آلودگی غیرمجاز به شبکه، نقاط نزدیک به محل تزریق تنش بیشتری نسبت به نقاط میانه، دور و خیلی دور دارند و باید زمان ماند بیشتری برای اصلاح کیفیت آب، داده شود. به بیان دیگر، برای شبکه در مناطق نزدیک، باید مدت زمان بیشتری برداشت ممنوع اعلام شود. با مقایسه مدت زمان وجود آلودگی با غلظتی بیشتر از غلظت مجاز برای منطقه میانه نسبت به منطقه نزدیک مشاهده شد که این مدت زمان در منطقه میانی با کاهش ۱۷ تا ۲۵ درصدی نسبت به منطقه نزدیک همراه است. همچنین، با مقایسه مدت زمان وجود آلودگی با غلظتی بیشتر از غلظت مجاز برای منطقه دور نسبت به منطقه میانه مشاهده شد که این مدت زمان در منطقه دور با کاهش ۳۳ تا ۴۰ درصدی نسبت به منطقه میانه همراه است (منطقه دور نسبت به منطقه نزدیک با کاهش ۵۰ درصدی همراه بود). مقایسه مدت زمان وجود آلودگی با غلظتی بیشتر از غلظت مجاز برای منطقه خیلی دور نسبت به منطقه دور نشان داد این مدت زمان در منطقه خیلی دور با کاهش ۳۳ تا ۵۰ درصدی نسبت به منطقه دور همراه است (منطقه خیلی دور نسبت به منطقه نزدیک با کاهش ۶۷ تا ۷۵ درصدی همراه بود).

### نتیجه گیری

در پژوهش حاضر ابتدا به شبیه سازی انتقال آلودگی در ستون خاک و ورود آن از طریق پدیده مکش به شبکه توزیع آب شرب شهر زاهدان پرداخته شده است. بنابراین، ابتدا چگونگی انتقال - پخش آلاینده نترات در محیط خاک توسط برنامه نویسی در نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده است. سپس، این آلودگی بر اثر پدیده مکش وارد شبکه آب شرب شده و به بررسی شبکه آب شرب زاهدان به کمک اتصال مدل عددی EPANET و نرم افزار MATLAB، پرداخته شده است. نتایج صحت سنجی و کالیبراسیون نرم افزار MATLAB نشان داد

Study: Malyer City). Irrigation and Water Engineering, 2019, 9(4), pp. 177-190. [persian]

- [13]. Besner MC, Broséus R, Lavoie J, Giovanni GD, Payment P, Prévost M. Pressure monitoring and characterization of external sources of contamination at the site of the Payment drinking water epidemiological studies. Environmental science & technology. 2010 Jan 1;44(1):269-77.
- [14]. Naserizade SS, Nikoo MR, Montaseri H. A risk-based multi-objective model for optimal placement of sensors in water distribution system. Journal of Hydrology. 2018 Feb 1; 557:147-59.
- [15]. Rasekh A, Brumbelow K. Drinking water distribution systems contamination management to reduce public health impacts and system service interruptions. Environmental Modelling & Software. 2014 Jan 1; 51:12-25.
- [16]. Rossman LA. EPANET 2: user's manual.
- [17]. SOUDANI A, CHIBAN M, ZERBET M, SINAN F. Use of Mediterranean plant as potential adsorbent for municipal and industrial wastewater treatment. Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 2011 Aug 31;3(8):199-205.
- [18]. Munavalli GR, Kumar MM. Optimal scheduling of multiple chlorine sources in water distribution systems. Journal of water resources planning and management. 2003 Nov;129(6):493-504.
- [19]. Darmian MD, Monfared SA, Azizyan G, Snyder SA, Giesy JP. Assessment of tools for protection of quality of water: Uncontrollable discharges of pollutants. Ecotoxicology and environmental safety. 2018 Oct 15; 161:190-7.
- [20]. Farhadian M, Haddad OB, Seifollahi-Aghmiuni S, Loáiciga HA. Assimilative capacity and flow dilution for water quality protection in rivers. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste. 2015 Apr 1;19(2):04014027.
- [21]. Monfared SA, Darmian MD, Snyder SA, Azizyan G, Pirzadeh B, Moghaddam MA. Water quality planning in rivers: assimilative capacity and dilution flow. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 2017 Nov 1;99(5):531-41.

شبکه به چهار بخش نزدیک، میانه، دور و خیلی دور تقسیم شد که اساس این طبقه‌بندی برپایه زمان رسیدن آلودگی به این مناطق در بازه‌های ۱۲ ساعته تقسیم‌بندی شد. نتایج نشان داد زمان ماند لازم به‌منظور اصلاح کیفیت آب برای گره‌های ناحیه خیلی دور به نسبت گره‌های ناحیه نزدیک، کمتر است و برای منطقه خیلی دور نسبت به ناحیه نزدیک با کاهش ۶۷ تا ۷۵ درصدی همراه است.

#### منابع

- [1]. Abbasi P and Khamchin Moghadam F. Management of Pollution Injection in Water Distribution Networks. 2nd Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering, 2018. [persian]
- [2]. McGhee TJ, Steel EW. Water supply and sewerage. New York: McGraw-Hill; 1991 Jan.
- [3]. Hammer MJ. Water and Wastewater Technologies. 2nded. John Wiley and Sons, NewYork: 2000. p. 137-157.
- [4]. Ghannadi M. Strategies for quality control in water supply networks. Water and environment. 2003; 52:4-11. [persian]
- [5]. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. ISIRI, 1053, 5th.revision
- [6]. World Health Organization. World in danger of missing sanitation target; drinking-water target also at risk, new report shows. Geneva: WHO; 2006 [Online]. Available from: URL: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr47/en>.
- [7]. Balbus JM, Lang ME. Is the water safe for my baby? Pediatr Clin North Am 2001; 48: 1129-52,
- [8]. World Health Organization. 2017. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [9]. Cooper WJ. Responding to crisis: The West Virginia chemical spill.
- [10]. Toolbox RP. Planning for and Responding to Drinking Water Contamination Threats and Incidents. USEPA: Washington, DC, USA. 2003.
- [11]. LeChevallier MW, Gullick RW, Karim MR, Friedman M, Funk JE. The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. Journal of water and health. 2003 Mar;1(1):3-14.
- [12]. Solgi E, Nasiri M. Zoning of Some Drinking Water Quality Parameters Using GIS (Case