مدیریت و بهینه‌سازی میزان تزریق کلر در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از مدل Water Gems v3/0

امین تاجی اشکفتکی [۱]، مهربان صادقی [۲]، حسن هاشمی [۳]، بهنام حسینی [۴]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: آب آشامیدنی به روش‌های مختلفی گندزدایی می‌شود که متداول‌ترین و ارزان‌ترین روش آن، کلرزنی است. یکی از مهم‌ترین مسائل در زمینه کلرزنی، مکان و میزان تزریق کلر است که باید به گونه‌ای انتخاب شود که میزان کلر باقیمانده در کلیه نقاط یک شبکه توزیع آب شهری در محدوده استاندارد بوده و هم‌چنین هزینه‌های مربوطه حداقل گردد. در این تحقیق سعی شده با اجرای برنامه برای دو شبکه توزیع آب شهری، میزان کلر باقیمانده در لوله‌ها و مقدار کلر مصرفی در نقاط مختلف شبکه مورد مقایسه و تحلیل کیفی قرار گیرد.

روش‌ها: به‌منظور مدل‌سازی شبکه از نرم‌افزار water Gems v3/0 استفاده شد. با استفاده از این نرم‌افزار، شبکه به دو صورت ثقلی و پمپاژ مستقیم، مدل و طراحی گردید.

یافته‌ها: با حل دو مدل کاربردی از شبکه‌های آبرسانی توسط نرم‌افزار، کارایی هر دو شبکه در جهت تعیین میزان بهینه تزریق کلر نشان داده شد. نتایج نشان داد که میزان کلر باقی‌مانده در ۶۲٪ از لوله‌های شبکه پمپاژ مستقیم در حد استاندارد و در ۱۰۰٪ از لوله‌های موجود در شبکه توزیع ثقلی کمتر از حد استاندارد است. هم‌چنین میزان کلر مصرفی در شبکه پمپاژ مستقیم ۶/۵٪ کمتر از شبکه توزیع ثقلی محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: این تحقیق نشان داد که بهینه‌سازی تزریق کلر به شبکه‌های با پمپاژ مستقیم در مقایسه با شبکه‌های توزیع ثقلی، بیشتر امکان‌پذیر بوده و هم‌چنین به میزان کلر مصرفی کمتری نیاز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیستم آبرسانی، شبکه توزیع، کلر باقیمانده، تحلیل کیفی، water Gems

ارجاع: تاجی اشکفتکی امین، صادقی مهربان، هاشمی حسن، حسینی بهنام. **مدیریت و بهینه‌سازی میزان تزریق کلر در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از مدل water Gems v3/0**. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۴؛ ۱۱(۲): ۳۷۰-۳۶۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۲۶**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، یاسوج، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران (نویسنده مسؤول)

Email: sadeghi@skums.ac.ir

۳. مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

۴. مربی، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، یاسوج، ایران

مقدمه

یک شبکه آبرسانی باید قادر باشد نیازهای آبی مشتریان را از نظرکمی (دبی و فشار) و کیفی (خواص فیزیکی و شیمیایی آب) برابر استانداردهای موجود به‌خوبی فراهم نماید (۱).

کمترین تصفیه‌ای که برای منابع آب شرب در نظر گرفته می‌شود، گندزدایی آب است. از بین گندزداهای مختلف، کلر و مشتقات آن به دلیل پایین بودن هزینه نسبی، سهولت کاربرد و قابلیت مناسب از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی، به طور گسترده به کار

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

می‌رود. همان‌طور که آب حاوی کلر در داخل لوله‌های سیستم شبکه توزیع حرکت می‌کند، همزمان با مواد مختلف موجود در حجم آب و دیواره لوله واکنش داده و مقدار آن در شبکه کاهش می‌یابد (۲). واکنش‌های کلر عبارت هستند از واکنش با عناصر موجود در جریان حجمی و واکنش با رسوبات موجود روی جداره لوله‌ها که در کل شبکه موجود هستند. بنابر تعریف، میزان کلر آزاد باقیمانده، مقدار کلر مؤثری است که باید در هر نقطه از شبکه آب آشامیدنی موجود باشد مسأله مهم در مدیریت کیفی شبکه‌های آبرسانی، کنترل کردن این میزان کلر باقیمانده در یک بازه استاندارد در کلیه نقاط شبکه است. مقدار حداقل غلظت کلر باقی‌مانده ۰/۲میلی‌گرم در لیتر است که باید به منظور کنترل رشد میکرب‌های پاتوژنیک رعایت شود و مقدار حداکثر آن متناسب با PH در آب آشامیدنی، ۰/۵ تا ۰/۸ میلی‌گرم در لیتر متغیر است و به منظور کنترل مشکلات مربوط به مزه و بوی آب و هم‌چنین جلوگیری از تشکیل تری‌هالومتان‌ها (THMS) و فراورده‌های جانبی سرطانزا نباید از این مقدار بیشتر شود (۷-۳).

میزان تزریق کلر می‌تواند به صورت غلظت کلر بر حسب میلی‌گرم در لیتر و یا به صورت نرخ جرمی بر حسب میلی‌گرم بر دقیقه از طریق مخازن ذخیره و قبل از ورود آب به شبکه صورت گیرد، که این امر باعث وجود غلظت بیش از اندازه کلر باقی‌مانده در گره‌های نزدیک به مخازن ذخیره و عدم وجود میزان کلر باقیمانده مناسب در گره‌های انتهایی شبکه در برخی از ساعات می‌شود. برای مدیریت کیفی آب در شبکه‌های آبرسانی، تعیین مکان و میزان تزریق در شبکه به طوری که غلظت در تمامی نقاط شبکه در بازه مشخص شده باشد، لازم و ضروری به نظر می رسد (۸). بنابراین می‌توان به جای استفاده از مخازن ذخیره آب به عنوان تنها محل تزریق کلر، از بوستر پمپ‌های تزریق کلر در مکان‌های مورد نیاز شبکه استفاده نمود.

در سال‌های اخیر در زمینه مدل‌سازی کلر باقی‌مانده و مکان‌یابی ایستگاه‌های تزریق کلر با استفاده از بوستر پمپ‌ها در شبکه‌های توزیع آب، پژوهش‌های متعددی انجام شده است. مطالعات مربوط به نحوه زوال کلر، در تصفیه آب در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. نرخ زوال کلر، عاملی است که با مشخصات شبکه توزیع، جنس لوله‌ها و نوع آب موجود در شبکه بستگی دارد (۹).

علاوه بر این مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های کلر زنی یا میزان تزریق بهینه کلر مورد نیز مورد توجه قرار گرفته است. از نمونه‌های اولیه این پژوهش‌ها، مطالعات Tryby و همکاران در سال ۲۰۰۲ است که در آن مکان‌یابی محل بوستر پمپ‌ها به عنوان متغییر تصمیم، معرفی و در یک مدل بهینه‌سازی فرمول‌بندی و حل شده است. نتیجه تحقیقات آن‌ها نشان داد که بوستر پمپ‌های گندزدا نسبت به کلر زنی در مخازن نگهداری در ابتدای شبکه، دارای این پتانسیل است که در عین بهبود مقدار کلر باقیمانده در شبکه، میزان تشکیل محصولات جانبی گندزدایی را نیز کاهش می‌دهد (۱۰).

Prasad و همکاران در سال ۲۰۰۴ با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای مکان‌یابی ایستگاه‌های تزریق کلر و مقدار کلر باقیمانده حل شده با هدف بهینه‌سازی میزان مصرف کلر، مقدار کل کلر و مقدار آب مصرفی با مقدار کلر در بازه استاندارد را به ترتیب کمینه سازی و بیشینه سازی نمودند (۶). اگر چه با کاهش میزان کلر مصرفی، میزان تولید محصولات جانبی سرطان زا نیز کاهش می‌یابد، اما در پژوهش‌های بعدی نیز، کمینه نمودن میزان تولید محصولات جانبی حاصل از کلرزنی در کنار بیشنه نمودن درصد تأمین آب آشامیدنی سالم به عنوان یکی از اهداف مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه مورد توجه قرار گرفت (۱۱).

مدل در واقع روند سازمان یافته‌ای است که به منظور آنالیز مسائل و پیش‌بینی رفتار سیستم‌ها به کار می‌رود. امروزه مدل‌های متنوعی در تحلیل شبکه‌های آب به کار می‌روند. از رایج‌ترین مدل‌های آنالیز می‌توان به مدل LOOP , EPANET , WATERCAD و هم‌چنین نرم‌افزار Gems Water اشاره کرد (۱۲).

نرم افزار Water Gems، ابزار کارآمدی برای ایجاد شبکه‌های توزیع و خطوط انتقال آب شهری است که با مدل‌سازی کردن

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

شبکه توسط این نرم افزار می‌توان شبکه‌ها را به صورت شماتیک و با مقیاس مناسب شبیه‌سازی کرد. این نرم‌افزار قابلیت شبیه‌سازی رفتار جریان‌های آب در شبکه‌های تحت فشار با آهنگ تغییرات زمانی جریان را نیز دارد. خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع می‌تواند شامل لوله‌ها، گره‌ها، پمپ‌ها، انواع شیرها، تانک‌ها، مخازن تأمین آب و ... باشد که برای مدل کردن شبکه باید کلیه اطلاعات مربوط به موارد ذکر شده را در دست داشت و برای برنامه تعریف کرد (۱۳).

در این پژوهش ما سعی کردیم با مدلسازی یک شبکه توزیع واقعی در دو حالت ثقلی و پمپاژ مستقیم بوسیله نرم‌افزار Water Gems، الگوی مصرف کلر در سرتاسر شبکه توزیع آب شهری را مورد تجزیه و تحلیل هیدرولیکی قرار دهیم.

روش‌ها

در این مطالعه، شبکه آبرسانی شهر بروجن بعنوان مدل انتخاب و بررسی شد. این شهر با وسعتی معادل ۹۰۰ هکتار و ارتفاعی معادل ۲۲۰۰ متر از سطح دریا، دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. این شبکه دارای ۱۵۴۸۰۹ متر لوله، از جنس‌های آزبست سیمان و لوله‌های پلی اتیلن می‌باشد. که در مجموع ۱۹۷۸ شاخه و ۱۵۶۲ گره مصرفی را تشکیل می‌دهد. تأمین آب در این شبکه از ۱۶ حلقه چاه می‌باشد که با پمپاژ یکنواخت، دو مخزن به ظرفیت ۱۴۰۰۰ متر مکعب را پشتیبانی می‌کند. شبکه دیگری که به عنوان مقایسه با شبکه آبرسانی این شهر لحاظ شده است شبکه پمپاژ مستقیم می‌باشد که با مفروضات همین شهر مدلسازی شد.

در این شبکه فرض بر این است که مخازن ذخیره از شبکه واقعی حذف شده و تزریق آب به صورت مستقیم از چاه‌ها همزمان با کلرزنی در یکسری از این چاه‌ها، به شبکه پمپاژ شود. بنابراین سعی شد شبکه توزیع آب شهر بروجن در محیط نرم‌افزار Water Gems در دو حالت ثقلی و پمپاژ مستقیم با مبانی یکسان مدل و طراحی گردد. حالت اول، شبکه حال حاضر شهر بروجن بوده که دارای دو مخزن ذخیره در شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین قسمت شبکه می‌باشد و تزریق کلر فقط در این دو مخزن انجام شده و وارد شبکه می‌گردد و در حالت دوم طراحی، فرض شده است که مخازن ذخیره در این شبکه حذف شده و توزیع آب به طور مستقیم و به وسیله پمپ از منبع تولید آب همزمان با تزریق کلر به این منابع وارد شبکه گردد. بنابراین بعد از تعیین پارامترهای کیفی آب (سن آب و میزان کلر باقیمانده) به مقایسه سطح پاسخگویی و بررسی پارامترهای مورد نظر، در شبکه توزیع آب شرب بروجن پرداخته شد.

داده های موجود در تحلیل شبکه:

برای تحلیل فشار و آنالیز کیفی شبکه لازم است ابتدا پارامترهای موثر بر شبکه شناسایی شوند و سپس با توجه به این‌گونه پارامترها و همچنین روش به کار رفته در تجزیه و تحلیل شبکه مفروضات روش تعیین گردد. داده‌های موجود در تحلیل شبکه مطابق با جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱. مبانی مورد استفاده در تحلیل وضعیت

مصرف سرانه	۱۳۰ لیتر بر ثانیه
ضریب حداکثر ساعتی	۱/۶
ضریب حداکثر روزانه	۱/۲
ضریب حداقل ساعتی	۰/۲
ضریب حداقل روزانه	۰/۲
جمعیت کل در زمان آنالیز شبکه	۵۵۰۰۰

روش تحلیل مدل:

برای شبیه‌سازی مدل هیدرولیکی و کیفی شبکه توزیع آب از ورژن سوم نرم‌افزار WATER GEMS (v3) استفاده شده

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

است این نرم‌افزار یکی از پیشرفته‌ترین و قدرتمندترین نرم افزار طراحی شبکه‌های آبرسانی می‌باشد. در این تحقیق از کل شهر بروجن جهت مدل استفاده شده است. پس از تهیه نقشه شبکه و ترسیم آن در محیط ACAD سرانجام اصلاحات نهایی بر روی آن انجام گرفت و به محیط مدل GEMS WATER وارد گردید. با استفاده از نرم‌افزار Arc view کد ارتفاعی مربوط به هر گره تعیین شده و اطلاعات حاصل به نرم افزار پیوند زده شد.

برای بررسی نتایج و مقایسه، شبکه آبرسانی شهر بروجن در دو حالت، یکی طرح آبرسانی موجود که به صورت ثقلی بوده و دارای دو مخزن توزیع می‌باشد و دیگری شبکه مدل شده این شهر، که عملیات کلرزنی توسط ۱۰ بوستر پمپ در یک‌سری از چاه‌ها که در مناسب‌ترین قسمت جهت تزریق کلر قرار دارند به صورت گازی انجام می‌شود. طبق استاندارد شماره ۱۰۱۱ (ویژگی‌های میکروبیولژیکی آب ایران) میزان کلر آزاد باقی مانده در انتهای شبکه آبرسانی با حفظ زمان تماس کافی در شرایط عادی ۰/۵–۰/۸ میلی‌گرم در لیتر (PPM) می‌باشد (۳).

مفروضات پژوهش:

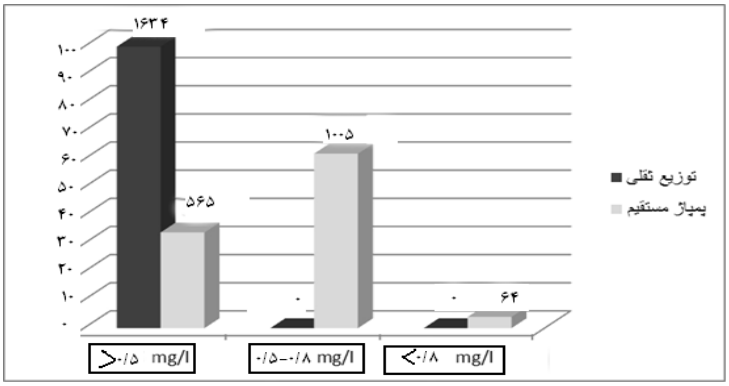
در این روش‌ها جریان پیوسته بوده و روش نیوتن رافسون برای تحلیل شبکه توسط نرم‌افزار انتخاب گردید. میانگین سن لوله‌ها و دمای آب داخل لوله‌ها، به میزان ۲۰ سال و ۲۰ درجه سلسیوس بوده و سن اولیه آب در کلیه نقاط برابر زمان صفر لحاظ شده است. هم‌چنین در پمپاژ مستقیم فرض شده است که مخازن ذخیره حذف شده و کلیه چاه‌ها از مناسب‌ترین قسمت‌ها به صورت مستقیم به شبکه پمپاژ شوند.

یکسری از چاه‌ها، مناسب‌ترین نقاط تزریق کلر به شبکه بوده و عملیات کلرزنی به مقدار بهینه توسط ۱۰ بوستر پمپ از این منابع انجام می‌شود.

یافته‌ها

با فرض این که سن اولیه آب در کلیه نقاط برابر زمان صفر باشد جدول (۲) میزان ماند آب را در دو شبکه توزیع ثقلی و پمپاژ مستقیم نشان می‌دهد. اندازه‌گیری‌های مکرر، کلر باقیمانده در خروجی مخازن ذخیره را بطور متوسط۱/۲ میلی‌گرم در لیتر نشان داد. در شبکه مدل نیز فرض شده است که کلر از نقاط مناسب و به مقدار لازم از ۱۰ چاه توسط بوستر پمپ به شبکه تزریق شود. شکل (۱) نیز میزان کلر باقیمانده را در دو سیستم برای هر لوله نشان می‌دهد.

میزان کلر مصرف شده توسط بوستر پمپ‌های موجود در شبکه پمپاژ مستقیم در ساعات مختلف یک روز پر مصرف که شامل پیک مصرف ساعتی می‌باشد مطابق با جدول (۳) می‌باشد.



دامنه نوسانات کلر

جدول۲. میزان ماند آب لوله‌ها در دو حالت ثقلی و پمپاژ مستقیم بر حسب ساعت

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

زمان	ماند در شبکه ثقلی(h)			ماند در شبکه پمپاژ مستقیم(h)		
	۴۹۸P-	۵۰۲P-	۶۲۹P-	۴۹۸P-	۵۰۲P-	۶۲۹P-
۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹
۲	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۹۹	۱/۷۴
۳	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۲/۶۹	۲/۵۳	۲/۶۹
۴	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۳/۹۳	۳/۵۶	۲/۱۱
۵	۴/۹۷	۴/۹۶	۴/۹۹	۴/۲۰	۴/۷۹	۲/۸۸
۶	۵/۹۰	۵/۸۷	۵/۹۳	۴/۴۴	۴/۴۱	۲/۸۲
۷	۶/۸۰	۶/۷۲	۶/۸۵	۳/۲۷	۲/۲۱	۲/۹۵
۸	۷/۵۲	۷/۵۶	۷/۶۶	۳/۷۴	۲/۵۷	۱/۸۲
۹	۸/۲۰	۸/۳۴	۸/۴۷	۳/۵۵	۲/۲۹	۱/۴۹
۱۰	۸/۸۸	۹/۱۰	۹/۲۲	۲/۲۰	۲/۱۸	۱/۵۴
۱۱	۹/۵۰	۹/۷۹	۹/۹۵	۲/۹۱	۲/۸۷	۱/۸۸
۱۲	۱۰/۰۶	۱۰/۴۵	۱۰/۶۴	۲/۹۳	۲/۶۷	۱/۹۸
۱۳	۱۰/۶۱	۱۱/۱۰	۱۱/۳۲	۲/۳۸	۲/۳۱	۱/۳۸
۱۴	۱۱/۰۸	۱۱/۷۲	۱۱/۹۶	۲/۴۱	۲/۹۱	۱/۳۷
۱۵	۱۱/۵۱	۱۲/۲۸	۱۲/۵۷	۲/۶۰	۲/۰۲	۱/۶۸
۱۶	۱۱/۸۶	۱۲/۸۱	۱۳/۱۲	۲/۶۰	۲/۰۳	۱/۶۸
۱۷	۱۲/۱۴	۱۳/۲۹	۱۳/۶۴	۲/۶۰	۲/۰۳	۱/۶۸
۱۸	۱۲/۳۶	۱۳/۷۳	۱۴/۱۲	۲/۶۰	۲/۰۳	۱/۶۸
۱۹	۱۲/۵۱	۱۴/۱۳	۱۴/۵۶	۲/۶۰	۲/۰۳	۱/۶۸
۲۰	۱۲/۵۹	۱۴/۴۹	۱۴/۹۶	۲/۶۰	۲/۰۳	۱/۶۸
۲۱	۱۲/۵۹	۱۴/۸۰	۱۵/۳۲	۲/۶۰	۲/۰۳	۱/۶۸
۲۲	۱۲/۹۹	۱۵/۱۷	۱۵/۷۷	۴/۰۰	۲/۸۵	۲/۱۰
۲۳	۱۳/۷۷	۱۵/۶۸	۱۶/۲۰	۴/۲۳	۳/۳۴	۲/۴۰
۲۴	۱۳/۸۹	۱۵/۹۷	۱۶/۵۱	۴/۴۳	۳/۸۰	۲/۴۶

جدول ۳. میزان کلر مصرفی توسط بوستر پمپ‌های شبکه پمپاژ مستقیم بر حسب گرم

زمان	۱p-	۲p-	۳p-	۴p-	۵p-	۶p-	۷p-	۸p-	۹p-	۱۰p-
۱	۰	۶۸/۶۴	۱۰۹/۳۸	۲۶/۱۳	۵۲/۵۲	۲۶/۵۶	۶۰/۳	۰	۰	۱۵۸/۳۴
۲	۰	۶۸/۶۴	۱۰۹/۳۸	۲۶/۱۳	۵۲/۴۹	۲۶/۵۶	۶۰/۳	۰	۰	۱۵۸/۳۴
۳	۰	۰	۱۰۶/۰۸	۰	۵۱	۲۵/۸۶	۵۹/۱۹	۰	۷۹/۱۴	۷۰/۲۶
۴	۰	۰	۱۰۸/۷۲	۰	۵۱	۲۶/۶۴	۶۰/۹۶	۰	۸۴/۶	۱۱۹/۵۸
۵	۰	۰	۱۰۸/۷۲	۰	۵۲	۲۶/۶۴	۶۰/۹۶	۰	۸۴/۶	۷۱/۵۸
۶	۰	۷۰/۲	۱۱۲/۵۶	۰۹۲۷	۰	۲۷/۵۰	۶۱/۸۵	۰	۷۳	۱۹۹/۶۸
۷	۰	۷۰/۲	۱۱۲/۶۸	۲۷/۰۹	۰	۲۷/۵۰	۷۸/۴۸	۰	۷۳	۱۹۹/۶۸
۸	۰	۶۴/۶۸	۱۰۵/۹۶	۲۵/۹۲	۰	۲۶/۲۸	۵۸/۹۷	۶۵/۳۴	۶۰/۲۴	۱۸۵/۴

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

۹	۹۱/۹۲	۷۱/۹۴	۱۱۳/۰۴	۲۷/۴۲	۵۳/۲۸	۲۷/۷۲	۶۰/۹	۷۴/۸۸	۷۱/۷۶	۲۵۲
۱۰	۹۱/۹۲	۷۱/۹۴	۱۱۳/۰۴	۲۷/۴۲	۵۳/۲۸	۲۷/۷۲	۶۰/۹	۷۴/۸۸	۷۱/۷۶	۲۵۲
۱۱	۹۱/۹۲	۷۱/۹۴	۱۱۳/۰۴	۲۷/۴۲	۵۳/۲۸	۲۷/۷۲	۶۰/۹	۷۴/۸۸	۷۱/۷۶	۲۵۲
۱۲	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۱/۲۴	۲۶/۸۵	۵۳/۲۸	۲۷/۰۶	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۱۳	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۱/۲۴	۲۶/۸۷	۵۱/۹۶	۲۷/۰۶	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۱۴	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۰/۷۶	۲۶/۸۵	۴۳/۶۲	۲۷/۰۶	۵۹/۹	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۱۵	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۱/۳۶	۲۶/۸۵	۵۲/۳۴	۲۷/۰۹	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۱۶	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۱/۳۶	۲۶/۸۵	۵۲/۴۱	۲۷/۰۹	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۱۷	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۱/۲۴	۲۶/۸۵	۵۲/۳۴	۲۷/۰۹	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۱۸	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۱/۳۶	۲۶/۸۵	۵۲/۴۲	۲۷/۰۹	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۱۹	۹۰/۲۲	۷۲/۶	۱۱۱/۳۶	۲۶/۳۵	۵۲/۳۲	۲۷/۰۹	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۲۰	۹۰/۱۸	۷۲/۶	۱۱۱/۳۶	۲۶/۸۵	۴۹/۶۲	۲۷/۰۹	۶۰	۰	۷۰/۶۸	۲۴۹/۹
۲۱	۸۹/۰۴	۶۸/۵۲	۱۰۹/۰۸	۲۵/۹۲	۵۲/۵۶	۲۶/۲۸	۵۹/۴۶	۰	۰	۱۵۸/۱
۲۲	۸۹/۰۴	۶۸/۵۲	۱۰۹/۰۸	۲۵/۹۲	۵۲/۵۶	۲۶/۲۸	۵۹/۴۶	۰	۰	۱۵۸/۱
۲۳	۸۹/۰۴	۶۸/۵۲	۱۰۹/۰۸	۲۵/۹۲	۵۲/۵۶	۲۶/۲۸	۵۹/۴۶	۰	۰	۱۵۸/۱
۲۴	۸۹/۰۴	۶۸/۵۲	۱۰۹/۰۸	۲۵/۹۲	۵۲/۵۶	۲۶/۲۸	۵۹/۴۶	۰	۰	۱۵۸/۱
مجموع	۴۴۳/۵۷۶	۱۴۸۵/۶۶	۲۶۵۰/۲	۵۵۹/۹۶۸	۱۰۸۹/۸۰	۶۴۵/۵۲	۴۶۱/۴۹	۲۸۹/۹۸	۱۳۰۶/۰۲	۴۸۰۰/۳۶

عدد (۰) نشان دهنده خاموش بودن پمپ انتقال آب به شبکه بوده و به دلیل یکسان بودن محل تزریق کلر و پمپاژ آب به شبکه، کلر مصرفی در این ساعات صفر می‌باشد.

بحث

میزان ماند آب:

مدت زمانی که طول می‌کشد تا آب پس از ورود به شبکه به مصرف برسد (زمان باقی ماندن آب در شبکه) ماند آب گفته می‌شود (۱۴). بهترین لوله‌هایی که برای مقایسه از نظر ماند آب می‌توان انتخاب کرد دورترین لوله‌ها از مخازن ذخیره آب می‌باشند. از آنجایی که مخازن ذخیره موجود در شبکه در شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین نقطه شهر قرار دارند، بنابراین دورترین لوله‌ها به این مخازن محور وسطی شبکه توزیع خواهد بود. لذا سه لوله واقع در مرکز شهر انتخاب شده، که نتایج مربوط به میزان ماند آب این لوله‌ها در شبکه توزیع ثقلی و پمپاژ مستقیم در جدول (۲) نشان داده شده است. این نتایج حاکی از آن است که در شبکه توزیع ثقلی میزان ماند آب بالا می‌باشد، به طوری که در طول ۲۴ ساعت در برخی از نقاط شبکه بیشترین ماند آب، ۱۶/۵ ساعت می‌باشد و هم‌چنین نتایج حاصل از آنالیز کیفی کل شبکه توسط نرم‌افزار، نشان می‌دهد که میزان ماند آب در بیش از ۶۰ درصد از آب شبکه غیر استاندارد و بالای ۱۰ ساعت می‌باشد. این در حالی است که حداکثر ماند آب در شبکه نباید از ۵ ساعت بیشتر شود (۱۶-۱۵). بنابراین باید در ابتدای طراحی، قطر لوله‌هایی که آب را به مرکز شهر منتقل می‌کنند کاهش داده می‌شد تا آب در مدت زمان کمتری به محل مصرف در مرکز شبکه برسد.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

ولی با کاهش قطر این لوله‌ها، نتایج حاصل از این تغییر در نرم‌افزار Water Gems نشان داد که فشار در شبکه منفی خواهد شد و انجام این اصلاح در قطر لوله‌ها، هر چند هزینه بهره‌برداری را کاهش می‌دهد ولی از نظر فنی، شبکه را با مشکل روبرو خواهد کرد. اما در شبکه پمپاژ مستقیم، سن آب بخاطر نداشتن مخزن ذخیره و ورود سریع آب از چاه‌ها به شبکه و اینکه دیگر آب یک مسافت طولانی را از مخازن تا ابتدای شبکه توزیع طی نمی‌کند پایین می‌باشد. از جدول (۲) این نتایج حاصل می‌شود که در شبکه پمپاژ مستقیم، بیشترین ماند آب ۴/۷۹ ساعت بوده و ۴۰٪ شبکه، ماند آبی زیر ۳ ساعت و ۴۵ درصد از شبکه ماند آبی زیر ۶ ساعت محاسبه شده است.

بررسی حالت‌های مختلف تزریق کلر:

همان‌گونه که گفته شد، هدف نهایی این تحقیق قرار گرفتن غلظت کلر باقیمانده در کلیه نقاط شبکه در بازه استاندارد بود. در شبکه توزیع ثقلی تزریق کلر فقط در مخازن آب صورت می‌گیرد و در شبکه پمپاژ مستقیم فرض شده است که تزریق کلر از ۱۰ نقطه توسط بوستر پمپ‌های تعبیه شده انجام گردد. مزیت استفاده از سیستم توزیع پمپاژ مستقیم، علاوه بر اینکه موجب افزایش منابع تزریق کلر در شبکه و بهینه سازی میزان کلر مصرفی و هم‌چنین رساندن میزان کلر باقی‌مانده به مقادیر استاندارد آن، باعث کنترل فشار در شبکه در زمان ماکزیمم و مینیمم مصرف نیز می‌شود (۱۷)، به این صورت که در شرایط پیک مصرف کلیه پمپ‌ها روشن و متناسب با نیاز شبکه آب مورد نیاز و فشار لازم را ایجاد می‌نماید. به تدریج با کاهش مصرف در شبکه بالطبع فشار افزایش یافته و دبی پمپ‌ها تقلیل می‌یابد. بنابراین قبل از اینکه پمپ‌ها در شرایط نامطلوب از لحاظ راندمان کاری قرار گیرند، توسط سوئیچ‌های فشاری و تابلوهای فرمان پمپ‌ها به ترتیب یکی پس از دیگری خاموش می‌گردد. به نحوی که سایر پمپ‌های روشن در شرایط کاملاً مناسب و مطلوب کاری قرار گیرند. با افزایش مصرف در شبکه و افزایش گذر حجمی هر پمپ، فشار کاهش یافته و در مسیر کاهش فشار تا آنجایی ادامه خواهد یافت که فشار پمپ‌ها از یک مقدار حداقل کمتر نگردد (۱۸).

با بررسی دو حالت ذکر شده و تجزیه و تحلیل کیفی نرم‌افزار در نهایت میزان تزریق بهینه کلر در هر دو شبکه محاسبه گردید. از آنجایی که شبکه حال حاضر دارای دو مخزن ذخیره آب به حجم ۱۴۰۰۰ متر مکعب بوده و میزان ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر کلر به این مخازن تزریق می‌شود، میزان کلر مصرفی ۱۶۸۰۰ گرم در روز محاسبه گردید.

در این حالت در بسیاری از موارد در ساعات مختلف شبانه روز گره‌هایی که در اول شبکه قرار دارند دارای غلظت‌های بیش از اندازه مجاز کلر می‌شوند و گره‌های انتهایی شبکه دچار کمبود میزان کلر هستند. در این شبکه، تزریق کلر با نرخ ثابت در تمامی ساعات در دو مخزن ذخیره، به گونه‌ای که غلظت اولین گره بعد از مخازن ذخیره برابر با بیشترین مقدار مجاز (۰/۸ mg/l) شود صورت گرفت اما با این وجود همانگونه که در شکل (۱) نیز مشاهده می‌شود در حالت تزریق در دو مخزن ذخیره، غلظت در اکثر گره‌ها کمتر از حداقل مجاز یعنی ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر است. بنابراین نیاز به مخازن ذخیره بیشتر برای تزریق کلر به منظور رسیدن کلر باقیمانده گره‌ها به میزان استاندارد کاملاً مشهود است. بنابراین تزریق کلر با دز ثابت تنها در یک یا دو نقطه، وجود غلظت کلر باقیمانده در گره‌ها را در محدوده مجاز تضمین نمی‌کند و با تغییر تعداد منابع تزریق کلر در شبکه‌های آبرسانی و افزایش تعداد مکان‌های تزریق، برآورده شدن هدف، که قرار گرفتن کلر باقی‌مانده گره‌ها در بازه استاندارد است امکان پذیرتر می‌شود. بر اساس این تحقیق در حالت دوم طراحی، که پمپاژ به صورت مستقیم به شبکه انجام گرفته است، ۱۰ منبع برای تزریق کلر به صورت متناوب در نظر گرفته شده است که این منابع دارای الگوی زمانی خاصی جهت تزریق کلر به شبکه می‌باشند. در نهایت با توجه به میزان کلر تزریقی از هر منبع و دبی خروجی از آن و مدت زمان کارکرد بوستر پمپ در یک روز پر مصرف که در بر گیرنده پیک ساعتی نیز می‌باشد، حدود ۱۵۷۳۲ گرم کلر در

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

شبکه به مصرف رسیده است که در مقایسه با شبکه توزیع ثقلی حدود ۶/۵ درصد صرفه جویی شده است.

مسعود تابش و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان "بهینه‌سازی میزان تزریق کلر در شبکه‌های آبرسانی توسط الگوریتم ژنتیک" با حل دو مثال کاربردی از شبکه‌های آبرسانی نشان دادند که با افزایش تعداد نقاط تزریق کلر (۶ نقطه تزریق به جای یک یا دو مخزن ذخیره) می‌توان در رساندن مقادیر کلر باقیمانده در لوله‌ها به مقدار استاندارد، مؤثر واقع شد و میزان کلر مصرف شده در این حالت ۳۷٪ کمتر می‌باشد (۸).

میزان کلر باقیمانده:

نقطه شکست کلر و کلر باقی مانده آزاد حائز اهمیت است. در هر حال زمان تماس حدود ۱۵ دقیقه برای از بین بردن باکتری‌های حساس در مقابل کلر لازم است (۲۱-۱۹). از آنجایی که حداقل میزان سن آب در نزدیک‌ترین گره‌ها به محل تزریق کلر ۱۸ دقیقه می‌باشد بنابراین حداقل زمان ماند جهت تأثیر کلر در نقاط ابتدایی شبکه برای این سیستم تأمین گردیده است.

از شکل (۱) این نتیجه حاصل می‌شود که درصد اطمینان قرار گرفتن میزان کلر باقیمانده در لوله‌ها در محدوده استاندارد در سیستم‌های پمپاژ مستقیم، به‌دلیل افزایش تعداد نقاط تزریق کلر و انتخاب مناسب آن‌ها در حالت تزریق با نرخ متغیر در طول شبانه روز و هم‌چنین پایین آمدن سن آب، نسبت به سیستم‌های توزیع ثقلی که تزریق کلر بر حسب میلی‌گرم در لیتر و یا به صورت نرخ جرمی بر حسب میلی‌گرم بر دقیقه از طریق مخازن ذخیره و قبل از ورود آب به شبکه صورت می‌گیرد، افزایش یافته است.

کلر باقیمانده در ۶۲٪ از لوله‌های شبکه پمپاژ مستقیم در حد استاندارد بود در حالی‌که در شبکه توزیع ثقلی، ۱۰۰٪ از لوله‌های موجود در شبکه در ساعت ۲۴ دارای میزان کلر باقیمانده‌ای کمتر از حد استاندارد می‌باشند.

در این راستا مطالعات دیگری در سال‌های قبل صورت گرفته است به عنوان مثال Boccelli و همکاران با تابع هدف خطی و اعمال محدودیت‌های مناسب به منظور قرار گرفتن غلظت در کلیه نقاط شبکه در بازه مشخص با استفاده از تزریق در بوستر پمپ‌ها، میزان کلر مصرفی تزریق شده را به روش بهینه‌سازی خطی بهینه کردند(۶).

روحانیان و همکاران توسط تابع هدف دوگانه، بهینه‌سازی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام داده‌اند. تابع هدف دوگانه یکی به منظور کنترل گندزدایی کلر (بزرگ‌تر بودن غلظت‌ها از مقدار حداقل) و دیگری به منظور کنترل بو و مزه برای زمانی که غلظت کلر باقیمانده از مقدار حداکثر استاندارد بیشتر شود، مورد استفاده قرار گرفته است (۲۲).

صبوریان سررودی و همکاران در مطالعه‌ای تحت عنوان "مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های تزریق کلر با نرخ زوال غیر خطی در شبکه توزیع آب شهری" یک متامدل نوین برای حل مسأله بهینه‌سازی چند هدفه مکان‌یابی ایستگاه‌های تزریق کلر با نرخ زوال غیر خطی ارائه دادند که نتایج آن نشان‌دهنده سرعت بسیار زیاد اجرای مدل بهینه‌سازی در عین دقت مناسب این روش نسبت به روش‌های متداول پیشین بود (۹).

Munavalli و Mohan Kumar با استفاده از تابع هدف غیر خطی توسط الگوریتم ژنتیک، میزان تزریق کلر را در شبکه‌های دارای چند مخزن ذخیره بهینه کرده‌اند .هم‌چنین ایشان با استفاده از روش سعی و خطا به انتخاب مکان مناسب برای تزریق کلر در شبکه نیز پرداختند (۲۳).

Broad و همکاران طرح توسعه سیستم توزیع آب شهر نیویورک را به عنوان مطالعه موردی بررسی کردند. در این مطالعه سعی شده است تا تزریق کیفی تنها از نقطه ورودی به شبکه انجام شود و عمل بهینه سازی بر روی مقدار این تزریق صورت گیرد (۲۴).

Gibbs و همکاران برای تعیین میزان مناسب تزریق کلر در شبکه‌های آبرسانی به بررسی میزان اضمحلال کلر در شبکه پرداختند. به این ترتیب که با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی ساده، شبکه‌های عصبی چند لایه و هم‌چنین روش رگرسیون شبکه عصبی و به کارگیری پارامترهای هیدرولیکی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

شبکه، میزان غلظت کلر باقیمانده را در شبکه آبرسانی پیش‌بینی نمودند (۲۵).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده توسط نرم افزار واتر جمز، راهکاری برای تعیین میزان بهینه تزریق کلر ارائه گردید. برای بررسی، دو مدل کاربردی مطرح گردید. در مدل اول تزریق کلر به صورت نرخ ثابت در حالت توزیع ثقلی دو مخزنه و در حالت دوم تزریق کلر توسط ۱۰ بوستر پمپ در مکان‌های مناسب در شبکه پمپاژ مستقیم بود. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش تعداد نقاط تزریق کلر و انتخاب مناسب آن‌ها در حالت تزریق با نرخ متغیر در طول شبانه روز، می‌توان درصد اطمینان قرار گرفتن میزان کلر باقیمانده در گره‌ها در محدوده استاندارد را افزایش داد. هم‌چنین در شبکه ذکر شده در حالت دوم ، ۱۰ بوستر پمپ برای تزریق کلر تعیین و عمل بهینه‌سازی صورت گرفت که با بررسی مقادیر به دست آمده مربوط به غلظت‌های کلر باقیمانده در شبکه و مقایسه آن با شبکه توزیع ثقلی بر روی همین شبکه، مشاهده شد که در شرایط یکسان از لحاظ مصرف آب و کلر افزوده شده، میزان کلر باقیمانده در شبکه‌های پمپاژ مستقیم به‌دلیل افزایش تعداد نقاط تزریق کلر و انتخاب مناسب آن‌ها در حالت تزریق با نرخ متغیر در طول شبانه روز و پایین بودن سن آب بسیار مطلوب و در رنج استاندارد است ولی در شبکه‌های ثقلی در اکثر نقاط شبکه، میزان کلر باقیمانده از شرایط نامطلوبی برخوردار می‌باشد.

نکته دیگر اینکه تزریق کلر با نرخ ثابت و تزریق با نرخ متغیر یا متناوب می‌باشد که با بررسی جواب‌های حاصله کاملا واضح است که میزان کلر مصرفی در تزریق متناوب از میزان کلر مصرفی در تزریق با دز ثابت پایین‌تر می‌باشد. به طور کلی نتایج این تحقیق می‌تواند به مدیریت کیفی شبکه از طریق تعیین میزان تزریق کلر در شبکه برای حفظ بهداشت و کاهش هزینه‌ها و برآورده شدن قیود و محدودیت‌های کیفی شبکه کمک شایانی نماید.

References

1. Monzavi M. Urban water supply.Tehran: Tehran University; 2009: 319-28. [In Persian].
2. Haghighi M R, Alian Koupaee T. Investigating the effects of temperature on chlorine decay coefficients in water distribution networks using a dynamic quality model. J. Water and Wastewater 2003; 47: 21-9. [In Persian].
3. The Standard and Industrial Research Organization. Physical and chemical characteristics of potable water, Standard 1997; 1053. [In Persian].
4. Tabesh M, Azadi B, Rozbahani A. Optimization of chlorine injection dosage in water distribution networks using a genetic algorithm. J. Water and Wastewater. Plan. Manage 2011; 77: 2-12. [In Persian].
5. Boccelli DL, Rossman LA, Tryby M.E, Uber J.G, Zierolf M.L, Polycarpou M.M. Optimal scheduling of booster disinfection in water distribution system. J. Water Res. Plan. Manage 1998; 124(2): 99-111.
6. Prasad T, Walters G A, Savic D A. Booster disinfection of water supply networks: Multi-objective approach. J. of Water Resources Planning and Management 2003; 130: 367-76.
7. Ardeshir A, Alimohammad Nezhad M, Behzadian K, Jalilsani F. Control of THM formation in multi-objective booster chlorination for water distribution systems. Computing and Control for the Water Industry.Procceding of CCWI Conference, Urban Water Management-Challenges and Opportunities, Exeter, UK; 2011. [In Persian].
8. Tabesh M, Azadi B. Optimum management of water distribution networks via determination of the optimum rate of chlorine injection using analytical excel and genetic algorithms. J. Water and Wastewater. Plan. Manage 2007; 77: 2-12. [In Persian].
9. Saboorian Sarroodi A, Ardeshir K, Behzadian F, Jalil Sani. Optimal sit location for booster stations of chlorine injection with nonlinear decay rate in water distribution system. J. Water and Wastewater. Plan. Manage 2011; 77: 2-12. [In Persian].

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

10. Tryby M E, Boccelli D L, Uber J G, Lewis and Rossman A. Facility location model for booster disinfection of water supply networks. J. of Water Resources Planning and Management 2002; 128(5): 322-33.
11. Behzadian K, Alimohammadnejad M, Ardeshir A, Jalilsan F, Vasheghani, H. A novel approach for water quality management in water distribution systems by multi-objective booster chlorination]. International Journal of Civil Engineering 2012; 10(1): 51-60. [In Persian].
12. Alzamora F M, Ayala H J B, Roca N M. Connecting arc GIS to water GEMS a full environmental to manage water distribution systems using models. In: Ulanichi B., Coulbeck B., Ulanichi B, Rance J P. J Water Software Systems. Theory and Applications. Research Studies Pre: 2001.
13. Nazari A. Design of water supply (water Gems).Tehran: Eliyas; 2011:119-28. [In Persian].
14. Babazadeh H. Design of water supply networks. Tehran University; 2010: 193-8. [In Persian].
15. Digiano F A, A Travaglia Zhang W. Water age (EPANET) and mean residence time of fluoride tracers in distribution systems. In: Proc. Of AWWA Water Quality Technology Conference Denver, Colo; 2000.
16. Jeffrey R. How to reduce water age in distribution systems. J. AWWA 2002; 85(7): 67-77.
17. Taebi A. Relationship between pressure and rate of leakage in water distribution network. Iranian Hydraulic Conference; 2009: 252-5. [In Persian].
18. Afzali M. City water distribution networks. Tehran: Tehran University; 2010: 72-140. [In Persian].
19. Kothandaraman V, Ralph L.E. Design and Performance of chlorine contact tanks. Urbana : Illinois State Water Survey; 1974.
20. Fayyad M, Al-Sheikhi A. Determination of n-chloramines in as-samra chlorinated wastewater and their effect on the disinfection process. J. Water and Environment Research and Study Center. University of Jordan, Amman; 2000.
21. Sadeghi M, Taji Eshkaftaki A, Hashemi H, Hoseyny S. The comparison of two water supply systems (gravity distribution and direct pumping) from the viewpoint of pressure, leakage and quality of water using waterGems v3/0 model (Case study: Boroujen water supply network). J. Health System Research 2015; 10(4). [In Persian].
22. Rouhiainen C J, Tade C, West G. Multi-objective genetic algorithm for optimal scheduling of chlorine dosing in water distribution systems. Advances in Water Supply and Management, Swets and Zeitlinger Pub, Lisse; 2003.
23. Munavalli G. R, Mohan Kumar M.S. Optimal scheduling of multiple chlorine sources in water distribution systems. J. of Water Res. Plan and Manage 2003; 129 (6): 493-504.
24. Broad D R, Dandy G C, Maier H R. Water distribution system optimization using metamodels. J. Water Res. Planning and Management 2005; 131(3): 172-80.
25. Gibbs M S, Morgan N, Maier H R, Dandy G C, Nixon J B, Holmes M. Investigation into the relationship between chlorine decay and water distribution parameters using data driven methods. J. Mathematical and Computer Modeling 2006; 44(5-6): 458-98.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]

Management and optimization of injection rate of chlorine in water distribution networks using Water Gems softwar, V3/0

Amin Taji Eshkaftaki [1], Mehraban Sadeghi [2], Hassan Hashemi [3], Behnam Hoseyni [4]

Original Article

Abstract

Background: Drinking water is disinfected in different ways. The most common and cheapest one is chlorination. The most important issue in chlorination is place and rate of chlorin injection which should be selected in such a way that residual chlorine in all parts of water distribution network is standard and the related expenditure is minimal. Performing a program for two distribution networks of urban water, this paper aimed to analyze and compare the rate of chlorine remained in the pipe lines and the amount of chlorine used in different parts of the network.

Methods: In order to model the networks, the Water Gems software V3/0 was used, and the two networks were modeled and designed in the form of gravity and direct pumping.

Findings: Solving the two practical models of water supply networks by the software, the efficiency of these networks was evaluated to determine the optimum injection rate of chlorine. Findings indicated that the residual chlorine in 62% of the tap water of direct pumping network was close to standard limit and that in 100% of gravity network was less than the standard limit. In addition, the amount of used chlorine in the direct pumping network was 6/5% less than that in the gravity one.

Conclusion: This study revealed that the optimization of chlorine injection into the networks with direct pumping is possible, applicable and needs less chlorinecompared to the gravity distribution networks. **Key Words:** Water Supply System, Distribution Network, Residual Chlorine, Qualitative Analysis, Water Gems software

Citation: Taji Eshkaftaki A, Sadeghi M, Hashemi H, Hoseyni B. **Management and optimization of Injection rate of chlorine in water distribution networks using water Gems v3/0.** J Health Syst Res 2015; 11(2):360-370

Received date: 20.12.2013 **Accept date: 16.05.2015**

1. MSc, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Yasouj University of Islamic Azad, Yasouj, Iran
2. Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran(Corresponding Author): Email: sadeghi@skums.ac.ir
3. Research Center for Health Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
4. Lecturer, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Yasouj University of Islamic Azad, Yasouj, Iran

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-10]