مقایسه سیستم‌های آبرسانی توزیع ثقلی و پمپاژ مستقیم از نظر فشار، نشت و کیفیت آب با استفاده از مدل water Gems v3/0 (مطالعه موردی شبکه آبرسانی شهر بروجن)

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

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: فشار نقاط مصرف در شبکه‌های آبرسانی یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی است که می‌تواند در مدیریت بهینه شبکه‌های توزیع آب مورد استفاده قرار گیرد. از آن‌جایی که فشار، اثرات متفاوتی بر پارامترهای مختلف مدیریت شبکه، هم‌چون عملکرد هیدرولیکی، قابلیت اطمینان، پایداری شبکه و نشت دارد لذا کنترل آن از اهمیت بسیاری در سطوح مختلف مدیریتی برخوردار است. در این تحقیق سعی شده با اجرای برنامه برای دوشبکه توزیع آب شهری وضعیت فشار، نشت و کیفیت آب در نقاط مختلف شبکه مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل 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: در زمان مینیمم مصرف، فشار در ۴۵ درصد از گره‌های شبکه توزیع ثقلی بالای ۷۰ متر می‌باشد، در حالی که در پمپاژ مستقیم به جز دو گره، فشار از ۶۰ متر تجاوز نکرد. در زمان ماکزیمم مصرف فشار در ۱۵ درصد از گره‌های شبکه توزیع ثقلی و ۳۵٪ از شبکه پمپاژ مستقیم کمتر از ۳۰ متر می‌باشد. میزان نشت آب در شبکه توزیع ثقلی در زمان مینیمم مصرف ۴۳٪ بیشتر از حالت مشابه در پمپاژ مستقیم می‌باشد. 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 بود.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه با مقایسه پارامترهای فشار، میزان نشت، سن آب و میزان کلر باقیمانده، بین دو سیستم توزیع ثقلی و استفاده از ایستگاه‌های پمپاژ مستقیم آب، نشان داده شد که کلیه این پارامترها در شبکه پمپاژ مستقیم در شرایط مطلوب‌تر و نزدیک‌تر به مقادیر استاندارد آن می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: نشت، سیستم آبرسانی، شبکه توزیع، کلر باقیمانده، Water Gems

ارجاع: صادقی مهربان، تاجی اشکفتکی امین، هاشمی حسن، حسینی سعید. **مقایسه سیستم‌های آبرسانی توزیع ثقلی و پمپاژ مستقیم از نظر فشار، نشت و کیفیت آب با استفاده از مدل water Gems v3/0 (مطالعه موردی شبکه آبرسانی شهر بروجن).** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۳؛ ۱۰(۴): ۶۹۶-۶۸۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۲۸**

۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، یاسوج، ایران (نویسنده مسؤول)
Email: eng.taji90@gmail.com
۳. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
۴. مربی، گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزد اسلامی واحد یاسوج، یاسوج، ایران

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

مقدمه

یک شبکه آبرسانی باید قادر باشد نیازهای آبی مشتریان را از نظرکمی (دبی و فشار) و کیفی(خواص فیزیکی و شیمیایی آب)، برابر با استانداردهای موجود به خوبی فراهم نماید. شبکه آبرسانی برای تأمین شرایط مطلوب، نیاز به اجزا و تأسیساتی دارد که به طور کلی شامل تأسیسات برداشت، انتقال، ذخیره و توزیع آب می‌باشد (۱).

فشار، از جمله پارامترهای هیدرولیکی تعیین‌کننده وضعیت عملکرد و سرویس‌دهی شبکه‌های توزیع آب شهری بوده و از اهمیت بالایی برخوردار است. در فشارهای بالا، احتمال وقوع حوادث، تلفات مصرف و نشت افزایش پیدا کرده و پایداری سازه‌ای و نیز امکان ادامه عملکرد سیستم و سرویس‌دهی مطلوب آن به مخاطره می‌افتد؛ لذا برای یک بهره‌بردار مطلوب است که تغییرات فشار تنها در محدوده استانداردهای مجاز باشد تا تأمین اهداف مختلف موجود در شبکه که قالبا از لحاظ تغییرات مطلوب به فشار با یکدیگر در تضاد هستند، به تعادل برسند. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، آگاهی از چگونگی تغییرات فشار از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. تابش و همکاران به سنجش عملکرد هیدرولیکی و قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب از نقطه نظر فشار هیدرولیکی و تغییرات آن در نقاط مصرف پرداختند (۲).

به طور کلی عامل اصلی انتقال آب در شبکه‌ها، اختلاف هد فشاری بین دو نقطه می‌باشد. در شبکه‌هایی که به صورت ثقلی از مخازن تغذیه می‌شوند، به خاطر این‌که فشار آب برای حداکثر مصرف طراحی می‌گردد، در زمان‌هایی که مصرف آب کاهش می‌یابد فشار آب افزایش می‌یابد و نشت آب نیز به طور معمولی افزایش می‌یابد و لذا برای جلوگیری از این مسأله شرکت‌های توزیع آب شهری ناچار به استفاده از سیستم‌های پیشرفته کنترل فشار می‌باشند (۴-۳) .

در صورت استفاده از سیستم توزیع پمپاژ، 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 (۵).

با توجه به این که فشار در شبکه در ساعات مختلف شبانه روز و متناسب با مصرف دستخوش نوسانات زیادی می‌شود، لازم است در سیستم‌های آبرسانی با توجه به الگوی مصرف، تغییرات شرایط جریان به خوبی شناخته شده و الگوی مصرف به دقت بررسی گردد. با افزایش فشار از ۱/۸ به ۳/۳ اتمسفر، تلفات ناشی از نشت آب هم تقریبا ۳۰٪ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین در شرایط معمول شبکه‌های آبرسانی، با توجه به این که در هنگام شب شبکه با کاهش مصرف آب مواجه است فشار شبکه آب افزایش می‌یابد و منجر به افزایش میزان نشت آب در شب نسبت به ساعات روز خواهد شد (۶).

تمام آب ورودی به شبکه‌های توزیع آب شهری مصرف نمی‌شود و بخش قابل توجهی از آن به هدر می‌رود که از آن به عنوان نشت یا آب به حساب نیامده یاد می‌شود. نشت در شبکه از طریق لوله‌های شکسته و ترک‌خورده، اتصالات و متعلقات معیوب یا به علت عدم اجرای صحیح عملیات لوله‌گذاری و اتصالات صورت می‌گیرد (۷).

کاهش فشار شبکه باعث می‌شود تا تعداد محل‌های نشتی و نیز آهنگ نشت آب کاهش یابند. چگونگی محاسبه نشت در طول سالیان اخیر با استفاده از تجارب کشورهای مختلف به صورت استاندارد توسط International Water Association (2000)) ارایه شده است (۸).

آب آشامیدنی به روش‌های مختلفی گندزدایی می‌شود که متداول‌ترین و ارزان‌ترین روش آن، کلرزنی است. بنابر تعریف، میزان کلر آزاد باقیمانده، مقدار کلر مؤثری است که باید در هر نقطه از شبکه آب آشامیدنی موجود باشد. مسأله مهم در

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

مدیریت کیفی شبکه‌های آبرسانی، کنترل کردن این میزان کلر باقیمانده در یک بازه استاندارد در کلیه نقاط شبکه است. یکی از مهم‌ترین مسایل 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. مقدار حداقل کلر باقیمانده به منظور کنترل کیفیت میکربی آب و مقدار حداکثر آن به منظور کنترل مشکلات مربوط به مزه و بوی آب و هم‌چنین جلوگیری از تشکیل تری‌هالومتان‌ها (THMS) می‌باشد (۱۱-۹).

نرم افزار WaterGems، ابزار کارآمدی برای ایجاد شبکه‌های توزیع و خطوط انتقال آب شهری است که با مدل‌سازی کردن شبکه توسط این نرم‌افزار 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 (۱۲).

در این زمینه لازم می‌باشد که به معایب شبکه‌های پمپاژ مستقیم نیز اشاره شود. این‌که در این نوع سیستم‌ها در صورتی که چاه‌ها دچار ماسه‌دهی باشند این عامل علاوه بر ایجاد خرابی در تجهیزات تولید، گاه سبب نارضایتی مشترکین می‌گردد و به خاطر نداشتن مخزن ذخیره آب، از اعتمادپذیری پایینی برخوردار می‌باشند. علاوه بر این در صورتی که فاصله لوله انتقال آب از بوستر پمپ‌ها به شبکه کم باشد حداقل زمان ماند جهت تأثیر کلر در نقاط ابتدایی شبکه برای این سیستم ممکن است تأمین نگردد (۱۴-۱۳).

در این پژوهش ما سعی کرده‌ایم که با مدل‌سازی شبکه توزیع آب در محیط نرم‌افزار WaterGems و تعیین ویژگی‌های فنی، هیدرولیکی (فشار و نشت) و پارامترهای کیفی آب (سن آب و میزان کلر باقیمانده) به مقایسه سطح پاسخگویی و بررسی پارامترهای مورد نظر، در شبکه توزیع آب شرب بروجن بپردازیم. برای دستیابی به این هدف شبکه توزیع شهر در دو حالت ثقلی و پمپاژ مستقیم با مبانی طراحی یکسان مقایسه شده و ویژگی‌های هر گزینه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش‌ها

در این مطالعه، شبکه آبرسانی شهر بروجن به عنوان مدل انتخاب و بررسی شد. این شهر با وسعتی معادل ۹۰۰ هکتار و ارتفاعی معادل ۲۲۰۰ متر از سطح دریا و 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 پلی‌اتیلن 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 توزیع را پشتیبانی می‌کند. شبکه دیگری که به عنوان مقایسه با شبکه آبرسانی این شهر لحاظ شده است شبکه پمپاژ مستقیم می‌باشد که با فرض این‌که مخازن ذخیره از شبکه واقعی حذف شده و تزریق آب به صورت مستقیم از چاه‌ها به شبکه پمپاژ شود طراحی و مدل گردیده است.

داده‌های موجود در تحلیل شبکه:

برای تحلیل فشار و آنالیز کیفی شبکه لازم است ابتدا پارامترهای مؤثر بر شبکه شناسایی شوند و سپس با توجه 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. **روش تحلیل مدل:**

مدل در واقع روند سازمان یافته‌ای است که به منظور آنالیز مسایل 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

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

EPANET و هم‌چنین برنامه‌ی WATERCAD اشاره کرد (۱۵).

یکی از پیشرفته‌ترین و قدرتمندترین نرم‌افزار طراحی شبکه‌های آبرسانی در قالب WATERGEMS ارایه شده است که این تحقیق بر اساس ورژن سوم نرم‌افزار (v3) WATERGEMS مدل گردیده است. 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 WATERGEMS وارد گردید. با استفاده از نرم‌افزار Arcview کد ارتفاعی مربوط به هر گره تعیین شده و اطلاعات حاصل به نرم‌افزار پیوند زده شد.

برای مشخص شدن وضعیت فشار در هنگام ماکزیمم و مینیمم مصرف، در دو حالت ثقلی و پمپاژ مستقیم، نتایج از جدول گزارشات نرم‌افزار استخراج شد و جهت مقایسه با استفاده از نرم‌افزار Excel نمودار فشار بر اساس شماره گره‌ها ترسیم شد.

در این مطالعه از بین روش‌هایی که می‌توان میزان کل نشت از شبکه توزیع و مؤلفه‌های آن را تعیین نمود از جمله روش بالانس سالانه آب، روش جریان حداقل شبانه (Minimum Night Flow) و روش برآورد مؤلفه‌های نشت تعیین شود (۱۷-۱۶) ، از روش برآورد مؤلفه‌های نشت استفاده شده است. این روش بر پایه نظریه برآورد تلفات ناشی از ترکیدگی (نشت‌های مرئی) و نشت‌های زمینه (Burst and background burst estimation) قرار دارد(۱۸). محاسبه میزان نشت‌های زمینه در یک شبکه توزیع آب به علت نامریی بودن آنها کار دشواری است. در روش BABE با استفاده از مقادیر برآورد شده‌ی به دست آمده از تحقیقات صورت گرفته قبلی، مقدار نشت مشخص می‌شود. جدول ۲ مقادیر پیشنهاد شده برای نرخ نشت زمینه در فشار استاندارد را نشان می‌دهد.

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

جدول ۲. مقادیر پیشنهادی برای نرخ نشت زمینه در فشار استاندارد ۵۰ متر (۱۹)

مؤلفه تلفات زمینه	واحد	شرایط زیر بنایی بد	شرایط زیر بنایی متوسط	شرایط زیر بنایی خوب
لوله‌های اصلی توزیع	**لیتر بر کیلومتر بر ساعت**	۶۰	۴۰	۲۰

براساس برخی آزمایش‌ها در ژاپن و انگلستان فرمول (۱) برای رابطه نشت-فشار با روش (BABE) ارایه شده است (۲۲-۲۰).

در این روش با استفاده از مقادیر برآورد شده به دست آمده از تحقیقات صورت گرفته قبلی، مقدار نشت مشخص می‌شود.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

$$L_b = Q_{Leak} \times \left(\frac{p_{av}}{50}\right)^N \times L$$

فرمول (۱)

L_b نشت زمینه خطوط اصلی، Q_{Leak} نرخ نشت از خطوط اصلی بر حسب لیتر بر کیلومتر بر ساعت است (از جدول ۲)، L طول خط لوله اصلی بر حسب کیلومتر، N توان فشار برای شکستگی‌های زمینه و P_{av} فشار متوسط شبکه بر حسب متر می‌باشند. عدد ۵۰ فشار استانداردی است که تعیین مقادیر نرخ نشت زمینه در جدول ۲ در این فشار پیشنهاد شده‌اند.

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 بدین منظور انتخاب شده است.

در این تحقیق راهکاری برای تعیین میزان بهینه تزریق کلر ارایه گردید. برای بررسی نتایج و مقایسه، شبکه آبرسانی شهر بروجن در دو حالت شامل طرح آبرسانی موجود که به صورت ثقلی بوده و دارای دو مخزن توزیع می‌باشد و دیگری شبکه مدل شده این شهر می‌باشد که عملیات کلرزنی توسط ۷ بوستر پمپ در مناسب‌ترین قسمت‌ها و در هر دو شبکه 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 میلی گرم در لیتر (PPM) می باشد (۱۰).

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 ۲۰سال 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 و عملیات کلرزنی از مناسب‌ترین مکان‌ها و به مقدار بهینه توسط ۷ بوستر پمپ انجام شود. یکی دیگر از مفروضات این پژوهش این است که در روی هر لوله به فواصل مساوی یک روزنه وجود دارد که باعث خروج آب از شبکه می‌گردد و منافذ نشت با سطوح ثابت بوده و شرایط زیر بنایی شهر بروجن چیزی مابین شرایط بد و متوسط می‌باشد.

یافته‌ها

در شبکه توزیع ثقلی و مجزا با توجه به اختلاف ارتفاع ۴۷ متر بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه شبکه، بیشترین فشار مربوط به ساعات am(۳، ۴ و ۵) و در گره ۳۰۸ به مقدار ۹۰ متر و کمترین فشار مربوط به ساعات am (۹، ۱۰ و ۱۱) و در گره ۱۶۱۵ به مقدار ۱۷ متر بود.

در شبکه پمپاژمستقیم جهت کنترل فشار در ۷ حلقه چاه از پمپ‌هایی با الگوی زمانی خاصی برای روشن و خاموش شدن استفاده شد. پس از تحلیل هیدرولیکی شبکه، بیشترین فشار مربوط به ساعات (۳، ۴ و ۵) و در گره ۷۹۵ به مقدار۷۱ و کم‌ترین فشار مربوط به ساعات (۹، ۱۰ و ۱۱) در گره ۱۵۱۶ به مقدار ۱۵/۲۵ متر بود.

با استخراج جداول از نرم‌افزار و وارد کردن داده‌های آن به محیط EXCEL طول لوله‌ها در شبکه توزیع ثقلی حدود ۱۵۵ کیلومتر لوله بوده و با توجه به این‌که در شبکه پمپاژ مستقیم لوله‌های انتقال از شبکه حذف شده‌اند، طول لوله‌های به کار رفته در این شبکه نزدیک به ۸/۵کیلومترکمتر بوده و چیزی حدود۱۴۶/۵ کیلومتر شد. در ساعات کم مصرف شبکه (۳، ۴ و ۵) فشار ماکزیمم برای کل لوله‌های شبکه به همراه طول آن‌ها بر حسب کیلومتر توسط نرم‌افزار محاسبه شده و در دسترس می‌باشد. با استفاده از فرمول (۱) و جدول (۲) و لحاظ کردن مقدار ۱/۱۷ برای توان فشار، میزان نشت در شبکه در هر دو حالت بر حسب لیتر بر ساعت مطابق با جدول (۴) گردید.

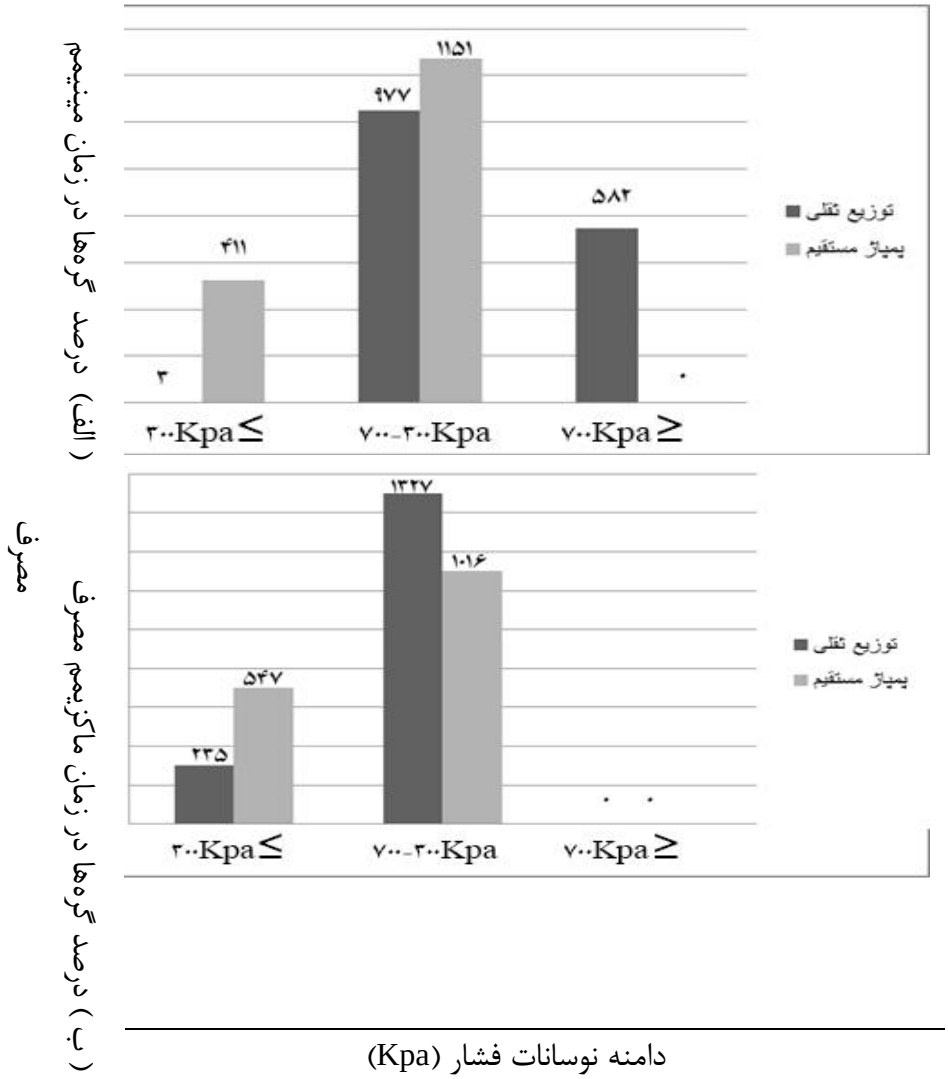
مجموع نشت مربوط به هر یک از لوله‌های شبکه توزیع توسط نرم‌افزار و برنامه EXCEL مشخص شد که میزان نشت در زمان ماکزیمم فشار برای شبکه توزیع ثقلی و پمپاژ

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

مستقیم برابر با ۱۰۰۰۶ و ۵۷۲۹ لیتر بر ساعت می‌باشد. این مقدار برای یک ساعت از زمان مینیمم مصرف به دست آمده است که اگر بخواهیم این میزان نشت را برای ۳ ساعت (۳، ۴ و ۵)، که ساعات کم مصرف شبکه هستند تعمیم دهیم این رقم ۳ برابر خواهد شد.

با فرض این که سن اولیه آب در کلیه نقاط برابر زمان صفر باشد جدول (۳) 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 ۷ گره توسط بوستر پمپ به شبکه تزریق شود. نمودار ۲ نیز میزان کلر باقیمانده را در دو سیستم به ترتیب صعودی برای هر لوله نشان می‌دهد.

.



نمودار۱: وضعیت فشار در شبکه در دو حالت ثقلی و پمپاژ مستقیم

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

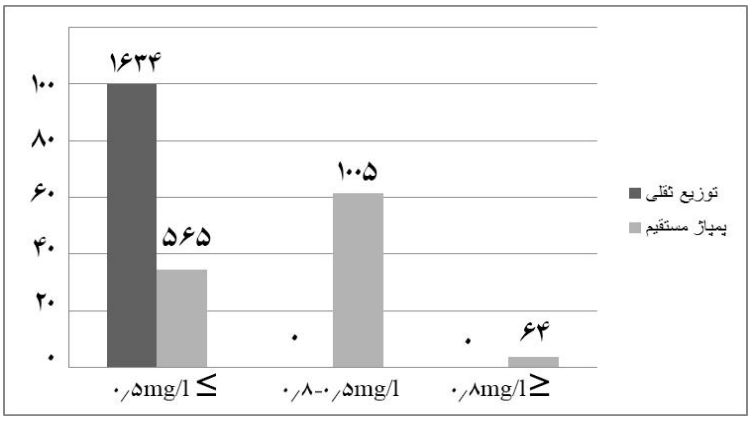
جدول۳: میزان ماند آب در دو حالت ثقلی و پمپاژ مستقیم بر حسب ساعت

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 ۴. میزان نشت آب در لوله‌های اصلی شبکه توزیع در دو حالت توزیع ثقلی و پمپاژ مستقیم

طول لوله(m)		۵۰≥	۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۲۰۰	۲۰۰-۲۵۰
دامنه نوسانات نشت (L/h)	ثقلی	۰/۲-۲/۳۲	۳/۵۳-۶/۵۹	۷/۲-۱۰/۵	۱۰/۸-۱۳/۹	۱۴/۱-۱۷/۱
	پمپاژ مستقیم	۰/۱۸-۱/۸۴	۱/۹۶-۴/۰۱	۴/۲-۶/۱	۶/۲۷-۸/۴	۸/۵-۱۱/۸
متوسط نشت (L/h)	ثقلی	۲/۱۳	۴/۹۸	۸/۶۴	۱۲/۲	۱۵/۳۱
	پمپاژ مستقیم	۱/۲	۲/۸۳	۵/۰۴	۷/۲۲	۹/۸۸

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]



نمودار ۲. میزان کلر باقیمانده در لوله‌ها در دو حالت توزیع ثقلی و پمپاژ مستقیم

بحث

کنترل فشار ماکزیمم:

نمودار ۱ وضعیت تغییرات فشار را در دو حالت حداکثر و حداقل مصرف آب در شبانه روز در شبکه توزیع ثقلی و پمپاژ مستقیم به صورت صعودی نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در ساعات کم مصرف در شبکه توزیع ثقلی حدود ۴۵٪ از شبکه فشار بالای ۷۰۰ kpa (نمودار الف) و در ساعات پر مصرف در شبکه پمپاژ مستقیم حدود ۳۵ درصد از گره‌ها فشاری کمتر از حد قابل قبول (۳۰۰ kpa) دارند (نمودار ب)؛ که در هر دو حالت میزان فشار خارج از محدوده استاندارد آن می‌باشد. با توجه به نمودار (۱-الف)، فشار درگره‌های شبکه توزیع ثقلی، در زمان مینیمم مصرف بیشتر از حد استاندارد بوده که باعث بروز پدیده نامطلوب نشت می‌گردد. از آن‌جایی که کنترل و مدیریت میزان فشار و نشت، یکی از راه‌کارهای استفاده بهینه از منابع آب در دسترس است، می‌توان با طراحی شبکه‌های آبرسانی به صورت پمپاژ مستقیم و با روشن و خاموش شدن پمپ‌های شناور نصب شده در چاه‌ها بر اساس الگوی زمانی خاص، از نظر کنترل فشار در زمان کم مصرف شبکه، نتایج مطلوب‌تری به دست آورد. همان‌گونه که نمودار (۱-الف) نشان می‌دهد در ساعات کم مصرف در حالت پمپاژ مستقیم، فشار شبکه همواره در حد قابل قبول در نوسان بوده است. اگر بخواهیم نوسانات فشار را در توزیع ثقلی کنترل کنیم مجبور به استفاده از شیرهای فشارشکن خواهیم بود که این خود هزینه‌های پروژه را بالا می‌برد ولی برعکس در سیستم پمپاژ مستقیم همان‌طور که نمودار۱ نشان داد با رنج نوسانات کمتری، بین مینیمم و ماکزیمم فشار مواجه هستیم که ما را بی‌نیاز از استفاده از روش‌های کنترل فشار مثل استفاده از شیرهای فشارشکن می‌کند، در عوض در این روش با پدیده دیگری به نام روشن و خاموش شدن مکرر پمپ‌ها و نوسانات هد این پمپ‌ها مواجه هستیم. بهره‌برداری در این شرایط منجر به کاهش طول عمر پمپ‌ها و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و پمپاژ می‌شودکه یکی از معایب سیستم‌های پمپاژ مستقیم محسوب می‌شود. پایین بودن فشار در زمان ماکزیمم مصرف یکی دیگر از معایب این سیستم می‌باشد (نمودار ۱-ب) که باعث تأمین نشدن فشار لازم در ابتدای هر گره برای مصرف کننده شده و عملکرد شبکه را در پاسخگویی به افزایش تقاضا کاهش می‌دهد.

کنترل نشت:

وابستگی بین مقدار نشت و میزان فشار در شبکه‌های آبرسانی شهری امر شناخته شده‌ای است. ارزیابی نشت از شبکه توزیع نیازمند آگاهی از توزیع فشار در طول ۲۴ ساعت می‌باشد که محاسبه تغییرات زمانی نشت را امکان پذیر می‌سازد (۲۳). از دیدگاه نظری، جریان از درون یک سوراخ با ابعاد ثابت (اریفیس)، با جذر فشار آب درون آن متناسب است، یعنی $Q=kp^{0/5}$ اگرچه یک سری آزمایش‌ها نشان داده است که در مورد تأثیر فشار بر روی نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری، این رابطه برقرار نیست. تحقیقات چند تن از محققین

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

در انگلیس و ژاپن مقادیر ۱/۱۸ و ۱/۱۵ را برای توان فشار پیشنهاد کردهاند (۲۱).

نوسانات فشار در روش ثقلی بسیار بالا می‌باشد که باعث به وجود آمدن یک سری مشکلاتی می‌شود. یکی این‌که در فشارهای بالاتر از حد استاندارد، در مواردی که علت نشت از شبکه، ترک‌ها و درزهای موجود در بخش‌های مختلف آن می‌باشد، با تغییر فشار آب اندازه این درز و ترک‌ها نیز تغییر می‌کند، به عبارت دیگر با افزایش فشار، بازشدگی ترک‌ها بیشتر شده و با کاهش فشار ترک‌ها بسته می‌شوند. میزان نشت از محل ترک، با میزان فشار موجود در آن نقطه نسبت مستقیم دارد (۲۳).

همان‌طور که جدول (۴) نشان داد میزان نشت در شبکه توزیع ثقلی بیشتر از حالت مشابه در پمپاژ مستقیم می‌باشد. میزان نشت آب خطوط اصلی شبکه توزیع در زمان ماکزیمم فشار، در حالت توزیع ثقلی۴۳ درصد بیشتر از پمپاژ مستقیم می‌باشد.

مسعود تابش و همکاران نشان دادند که با مدل‌سازی نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از تلفیق روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و مدل تحلیل هیدرولیکی Epanet2.10 ، میزان نشت شبکه در ساعات کم مصرف شبکه افزایش پیدا کرده و در طی یک شبانه روز میزان نشت چیزی معادل با ۴۶۳۸ متر مکعب محاسبه گردید.

میزان ماند آب:

با توجه به جدول ۳ میزان ماند آب در شبکه توزیع ثقلی بالا می‌باشد، در طول ۲۴ ساعت بیشترین ماند آب بر اساس جدول (۳)، ۱۶/۵ ساعت بود و حدود ۶۰ درصد از آب شبکه دارای ماند آبی بیشتر از ۱۰ ساعت را نشان داد. این در حالی است که حداکثر ماند آب در شبکه نباید از ۵ ساعت بیشتر شود (۲۵-۲۴). 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. 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 به خاطر 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. در این شبکه بیشترین ماند آب ۴/۷۹ ساعت بود و ۴۰ درصد شبکه، ماند آبی زیر ۳ ساعت و ۴۵ درصد از شبکه ماند آبی زیر ۶ ساعت را نشان داد.

میزان کلر باقیمانده:

از نمودار (۳) می‌توان استنباط کرد که با افزایش تعداد نقاط تزریق کلر و انتخاب مناسب آن‌ها در حالت تزریق با نرخ متغیر در طول شبانه روز و هم‌چنین به دلیل پایین بودن سن آب در این نوع سیستم توزیع آبرسانی، می‌توان درصد اطمینان قرار گرفتن میزان کلر باقیمانده در لوله‌ها را در محدوده استاندارد و به صورت یکنواخت‌تری افزایش داد.

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

نقطه شکست کلر و کلر باقی مانده آزاد حایز اهمیت است. در هر حال زمان تماس حدود ۱۵ دقیقه برای از بین بردن باکتری‌های حساس در مقابل کلر لازم است (۲۷-۲۶). 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.

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 موثر واقع شد و میزان کلر مصرف شده در این حالت ۳۷ درصد کمتر می‌باشد.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

نتیجه‌گیری

در این مطالعه شبکه توزیع آب شرب شهر بروجن در دو وضعیت ثقلی (شبکه حال حاظر) و پمپاژ مستقیم (شبکه مدل شده) با نرم‌افزار Water Gems مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فاکتورهای فشار، نشت، سن آب در لوله‌ها و میزان کلر باقی‌مانده مبنای ارزیابی قرار گرفت و به طور کلی نتایج زیر به دست آمد:

۱) داده‌های مربوط به وضعیت فشار در شبکه نشان داد که سیستم‌های پمپاژ مستقیم در کنترل حداکثر فشار (که در حداقل مصرف رخ می دهد) نسبت به سیستم‌های ثقلی مناسب‌تر بوده و همواره فشاری در محدوده استاندارد را تأمین می‌کنند؛

۲) در شرایط مساوی از لحاظ مصرف آب میزان نشت از شبکه‌های پمپاژ مستقیم به میزان قابل توجهی (۴۳٪) کمتر از سیستم‌های ثقلی می‌باشد؛

۳) در شرایط یکسان از لحاظ مصرف آب و کلر افزوده شده، میزان کلر باقیمانده در شبکه‌های پمپاژ مستقیم به دلیل 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.

References

1. Monzavi M. Urban Water Supply.Tehran: Tehran University; 2009: 319-28. [In Persian].
2. Tabesh M, Zia A. Dynamic Management of Water Distribution System Networks Based on Hydraulic Performance Analysis of System. Water Science and Technology; 2003:3(1-2), 5-102.
3. Afzali M. Engineering, water supply networks, Planning, Designing and Operation. Tehran: Yazda; 2009. P. 19-51. [In Persian].
4. Kahrom M. Water transfer systems. Mashhad University; 2010: 136-142. [In Persian].
5. Afzali M. City water distribution networks. Tehran: Tehran University; 2010 .P.72-140. [In Persian].
6. Babazadeh H. Design of water supply networks. Tehran: Tehran University; 2010: 193-8. [In Persian].
7. Tabesh M. Theoretical principles of leakage in city water distribution networks. J. Water and Environment 1999: 34.
8. Karamouz M, Tabesh M, Nazif S, Moridi A. Estimation of Hydraulic Pressure in Water Networks Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic. J. Water and Wastewater 2005: 53; 3-14. [In Persian].
9. Tabesh M, Azadi B, Rozbahani A. Optimization of Chlorine Injection Dosage in Water Distribution Networks Using a Genetic Algorithm. J. Water and Wastewater. 2011; 22(1): 2-12. [In Persian].
10. The Standard and Industrial Research Organization. Physical and chemical characteristics of potable water. 1997: 1053, Tehran, Iran. [In Persian].
11. Boccelli D.L, Rossman L.A, 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.
12. Nazari A. Design of Water Supply (Water Gems). Tehran: Eliyas; 2011:119-28. [In Persian].
13. Amini A. Design, Rural and urban water distribution network , based on criteria and Iran Standard. Tehran: Rosha; 2011: 83-7. [In Persian].
14. Vaezi F. Regulations for water disinfection and utilization from antiseptics. Tehran University; 2009: 54-106. [In Persian].
15. 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. Water Software Systems; 2001: Theory and Applications, V.2, Ulanichi, B., Coulbeck, B., and Rance,J.
16. Farley M, Trow S. Losses in water distribution networks. London; IWA Publishing; 2003.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

17. Thornton J. Water losses manual. New York; McGraw Hill; 2002.
18. Lambert A. Accounting for losses: The bursts and background concept. J. CIWEM 1994:205-214.
19. U.K. Water Industry. Managing leakage. Reports A: Summary, E: Interpreting measured night flows, F: Using night flow data, G: Managing water pressure, J: Leakage management techniques, technology and training. WRC plc/Water Service Association/Water Companies; 1994.
20. Lambert A. Pressure management / Leakage relationships: theory, concepts and practical applications. Minimizing Leakage in Water Supply/ Distribution Systems, IQPC Seminar; 1997: London.
21. Handbook of Identifying and analyzing the effective factors on uncounted Water and solutions for its decrease 2011; 556.
22. Araujo L.S, Coelho S.T, Ramos H.M. Estimation of Distributed Pressure Dependent Leakage and Consumer Demand in Water Supply Networks. Proceeding of the International Conference on Advances in Water Supply Management. Maksimovic, Butler and Memon ,Editors. Swets and Zeitlinger, Lisses; 2003.
23. Taebi A. Relationship between pressure and rate of leakage in water distribution network. Iranian Hydraulic Conference; 2009: 252-255.
24. 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: AWWA.
25. Jeffrey R. How To Reduce Water Age In Distribution Systems]. J. AWWA; 2002: 85(7):67-77.
26. Kothandaraman V, Ralph L.E .Design and Performance of Chlorine Contact Tanks. In Illinois state water survey urbana; 1974.
27. 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; 2000: University of Jordan, Amman, Jordan

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

The comparison of two water supply systems (gravity distribution and direct pumping) from the viewpoint of pressure, leakage and quality of water using water Gems v3/0 model (Case study: Boroujen water supply network).

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

Original Article

Abstract

Background: The pressure of consumption spots in eater supply systems is one of the most important hydraulic parameters can be used in optimized management of water distribution networks. Since the pressure has some different effects on various parameters of the network management including its hydraulic functions, reliability, stability and leakage, its control is of great importance in different management levels. Performing the plan for two water supply systems, this paper aimed to analyze and compare the pressure, leakage and quality of water in different spots of the network.

Methods: For modeling the network, the software of Water Gems v3/0 was used. It designed and modeled the current network in forms of gravity distribution and direct pumping.

Findings: at the minimum time of consumption, the pressure in 45 percent of junctions of the gravity distribution network is more than 70 meters; while in the direct pumping, except two junctions, it is not more than 60 meters. At the maximum time of consumption, pressure in 15 percent of junctions of the gravity distribution network and 35 percent of the direct pumping is less than 30 meters. The rate of water leakage in gravity distribution network at the minimum time of consumption is 43 percent more than that of direct pumping network. The rate of remained CL in 62 percent of pipes of direct pumping network is standard and in 100 percent of pipes of gravity distribution network is less than standard.

Conclusion: Comparing the parameters of pressure, leakage rate, water age and rate of remained CL between two systems of gravity distribution and direct pumping, this study indicated that all of these parameters in direct pumping network are in better conditions and closer to its standard rates.

Key Words: Leakage, Water Supply System, Distribution Network, Remained CL, Water Gems

Citation: Sadeghi M, Taji Eshkaftaki A, Hashemi H, Hoseyni S. **The comparison of two water supply systems (gravity distribution and direct pumping) from the viewpoint of pressure, leakage and quality of water using water Gems v3/0 model (Case study: Boroujen water supply network).** J Health Syst Res 2014; 10(4):685-696

Received date: 13.08.2013 **Accept date: 20.10.2013**

1. Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran
2. MSc, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Yasouj University of Islamic Azad, Yasouj, Iran (Corresponding Author) Email: eng.taji90@gmail.com
3. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, 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 2026-11-25]