Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 6, No. 3, PP. 58-66, Autumn 2021
DOI: 10.22112/JWWSE.2021.265941.1246

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال ششم، شماره ۳، صفحات ۵۸-۶۶، پاییز ۱۴۰۰

Technical Note

Reducing the Pressure Range and Creating a Compression Layers by Installing Pressure Relief Valves

Abedin Sajedi*
M.Sc. in Hydraulic Structures and Water Engineering, Water and Sewerage Company, Region 2, Tehran, Yehran, Iran.
*Corresponding Author, Email: sajedi.abed@gmail.com

Received: 05/01/2021
Revised: 11/05/2021
Accepted: 22/06/2021
© IWWA

Abstract

Distribution network is the most important part of the water supply system. Accidents and leaks in distribution networks are always the concern of ABFA companies. Reducing accidents and wastage by hydraulic parameters such as pressure management is of particular importance. One of these methods is that the pressure head. In network nodes, they should be as close as possible to the minimum standard head. To do this, the pressure range should be reduced, which is done by creating a new isotherm layer and zoning with the help of pressure reducing valve installation, according to scientific theories by reducing accident pressure. And waste will also be reduced. After reviewing the reservoirs of District 3 in terms of the number of accidents in the 94 reservoir in Tehran with the highest number of accidents was selected as the study area with WaterGems software and GIS information, this reservoir was modeled in the software. After validating the model using data. The compressed pressures of the reservoir network were investigated and analyzed. 53 percent of the nodes had a pressure of more than 6 atmospheres, in which pressure range wasted and accidents are expected. In order to modify the network, the proposed plan to increase the isothermal layer was done with the scenario of installing 4 pressure relief valves for the network. In order to isolate the model, 13 limit valves were also considered. According to scientific findings, reducing accidents and leaks can be achieved by reducing pressure.

Keywords: Loss Reduction and Accidents, Pressure Layers, Pressure Management, Water Distribution Network

مقاله ترویجی (یادداشت فنی)

کاهش دامنه فشاری و ایجاد لایه هم‌فشار با کمک نصب شیرهای فشارشکن

عابدین ساجدی*
کارشناس ارشد مهندسی عمران آب و سازه هیدرولیکی، شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲ شهر تهران، تهران، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: sajedi.abed@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۶
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۱
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

شبکه توزیع مهم‌ترین بخش سیستم آبرسانی است. حوادث و نشت در شبکه‌های توزیع همواره دغدغه شرکت‌های آبفا است. کاهش حوادث و هدررفت توسط پارامترهای هیدرولیکی نظیر مدیریت فشار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از این روش‌ها این‌گونه است که هد فشاری درگره‌های شبکه تا حد ممکن به حداقل هد استاندارد نزدیک شود. برای این‌کار باید دامنه فشاری کاهش یابد. این کاهش با ایجاد لایه هم‌فشار و زون‌بندی جدید به‌کمک نصب شیرفشارشکن انجام می‌پذیرد. طبق نظریه‌های علمی با کاهش فشار، حوادث و هدررفت نیز کاهش پیدا خواهد کرد. بعد از بررسی زون‌های مختلف مخازن از نظر گستردگی تعداد حوادث، مخزن ۹۴ با دارا بودن بیشترین تعداد حوادث به‌عنوان محدوده مورد مطالعاتی انتخاب شد. باکمک نرم افزار WaterGems و اطلاعات GIS این مخزن در نرم افزار مدل‌سازی شد. بعد از صحت‌سنجی مدل براساس داده‌های فشاری برداشت شده، وضعیت هیدرولیکی شبکه مخزن بررسی و تحلیل شد. ۵۳٪ ازگره‌ها فشار بیشتراز ۶ اتمسفر داشتند که در این دامنه فشاری، هدررفت و حوادث متصور است. به‌منظور اصلاح شبکه، طرح پیشنهادی افزایش لایه هم‌فشار با سناریوی نصب ۴ شیر فشارشکن برای شبکه اعمال شد. برای ایزوله کردن شبکه، ۱۳ عدد شیر نیز درنظر گرفته شد. با اعمال تغییرات مشاهده شد در زمان حداقل مصرف هیچ گره‌ای دیگر فشار بالای ۶ اتمسفر نخواهد داشت. طبق یافته‌های علمی با کاهش فشار به کاهش حوادث و نشت نیز می‌توان دست یافت.

کلمات کلیدی: مدیریت فشار، لایه‌فشاری، کاهش هدررفت و حوادث، شبکه توزیع آب شهری.

۱- مقدمه

محدودیت منابع و تقاضای آب شیرین باعث شده تا جوامع امروزی به فکر راه‌کارهایی درخصوص مدیریت منابع آب باشند. در همین راستا مدیریت فشار شبکه توزیع آب شهری بسیار حائز اهمیت است. از مشکلات نوسانات فشارشبکه می‌توان به توزیع ناعادلانه آب بین مشترکین، شکستگی لوله، هدررفت آب اشاره نمود که اهمیت اصلاح و بازنگری شبکه را دو چندان می‌نماید. هدف اصلی مقاله اصلاح زون‌بندی شبکه توزیع آب است. شبکه توزیع آب شهر تهران در دهه ۱۳۳۰ توسط شرکت انگلیسی سرالکساندرگیپ طراحی و اجرا شده است. در حقیقت با گذشت بیش از ۶۰ سال از طراحی اولیه شبکه، در شهر گسترش یافته تهران پایه و اساس شبکه آبرسانی همچنان براساس شبکه طراحی شده شرکت مذکور استوار است. بنابراین باتوجه به تغییرات گوناگون در این سال‌ها بازنگری در ساختار هیدرولیکی شبکه رضایت مشترکین و کاهش هزینه‌های شرکت را به‌همراه خواهد داشت.

Saldarriaga and Salcedo (2015) با تعیین مکان و تنظیمات بهینه شیرهای کاهش فشار در شبکه توزیع آب برای به حداقل رساندن مقدار هدررفت، بهترین روش برای نصب و جانمایی این تجهیزات روی شبکه‌های توزیع برای مدیریت فشار را مدل‌سازی شبکه معرفی کردند. با توجه افزایش نامتوازن رشد جمعیت شهری و پیشی گرفتن جمعیت موجود از جمعیت پیش‌بینی شده، به‌ناچار باید در طراحی اولیه شبکه‌های آبرسانی موجود بازبینی صورت‌گرفته و نسبت به بازسازی شبکه‌های موجود با درنظر گرفتن افق جدیدی اقدام شود. عدم توجه به این مهم موجب ایجاد نقاط بحرانی در شبکه توزیع موجود خواهد شد (تابش و واسطی، ۱۳۸۶).

Wright et al. (2015) در یک تحقیق گسترده تجربی در زمینه مدیریت فشار، نصب انواع شیرهای‌کنترلی PRV و شیرهای کاهش‌فشار ثابت در تعدیل هیدرولیکی فشار شبکه را بهترین روش مدیریت فشار معرفی کردند. Latchoomun et al. (2020) روشی برای کاهش نشت در شبکه توزیع با تقاضای فشار محور ارائه کردند. آن‌ها با بیان این‌که میزان نشت آب با فشار در شبکه ارتباط مستقیم دارد، ساخت مخازن تعدیل برای کنترل فشار و استفاده از پمپ‌ها را تنها روش کاهش هدررفت و کاهش نشت دانستند. با توجه به پیشینه تحقیقات، برای شبکه‌هایی که دارای ضعف هیدرولیکی هستند باید از روش‌های مدیریت فشار بهره جست که ساخت مخازن تعادلی یکی از این روش‌ها است. ولی باتوجه به هزینه بالای خرید زمین و احداث مخزن تعادلی، در این مقاله افزایش لایه‌های فشاری با کمک نصب شیرهای فشارشکن برای منطقی شدن طرح از نظر هزینه بررسی می‌شود.

افزایش لایه‌های فشاری موجب کنترل و کاهش فشارشبکه توزیع و در اصل متعادل‌سازی فشار می‌شود. البته این کاهش فشار نباید موجب نارضایتی مشترکین شود بلکه موجب تقسیم عادلانه آب شرب و باکیفیت شود. درصورت اعمال مدیریت فشار، به‌طور نظری حوادث به‌ویژه در شبکه‌های فرسوده و با قدمت بالا کاهش پیدا خواهد کرد. این کاهش موجب افزایش درآمد به تناسب کاهش حوادث و تلفات خواهد شد. با رعایت تعهدات شرکت آبفای استان تهران و تحویل فشار ورودی کنتور مشترکین تا ۲/۲ اتمسفر، نارضایتی برای مشترکین ایجاد نخواهد شد. با تأمین تعهدات شرکت آب و فاضلاب استان تهران برای ابنیه‌های با قدمت بالا احتیاج به استفاده از مخزن نخواهد بود. هم‌چنین با امضای تفاهم بین سازمان نظام مهندسی و شرکت آب و فاضلاب استان تهران در خصوص اجرائی شدن مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان و الزامات مدیریت بهینه مصرف آب، ساخت مخزن ذخیره برای ساختمان‌های بیش از سه طبقه یا بیش از ۱۰ واحد مسکونی با گنجایش ۷۵ لیتر به ازای هر نفر در روز پیش‌بینی و لازم الاجرا شده است.

۲- روش تحقیق

آبفای منطقه ۲ ناحیه ۳ دارای ۶ مخزن ذخیره و متعادل‌سازی زمینی است. مساحت تحت پوشش این ناحیه ۳۵۰ هکتار و در انتهای سال ۱۳۹۷ دارای ۶۱۲۰۰ فقره اشتراک بوده است که این عدد در پاییز ۱۳۹۸ به ۶۳۶۹۰ اشتراک افزایش یافته است. این ناحیه دارای ۵۹۹/۶ کیلومتر شبکه توزیع بوده و با توجه به توپولوژی خاص و اختلاف ارتفاع به ۸ زون (ناحیه فشاری) تقسیم شده است. پایین‌ترین نقطه ارتفاعی ۱۲۸۷ و در نقاط بالا ارتفاع ۱۶۲۰ وجود دارد. دامنه اختلاف ارتفاعی حدود ۳۳۰ متر است که این اختلاف ارتفاع در ۸ لایه فشاری با میانگین دامنه ۳۵ متر ایجاد شده است.

در راستای روش تحقیق مطابق جدول ۱ اقدام شده و پس از طی مراحل یاد شده و کسب نتایج و یافته‌ها، تحلیل نتایج حاصل از تحقیق و اقدامات اصلاحی انجام می‌شود.

۲-۱- بررسی حوادث براساس شاخص‌ها به تفکیک مخزن

دراین مرحله حوادث محدوده مخازن با شاخص (حوادث

انشعاب، حوادث شبکه، حوادث شیرهای قطع و وصل و حوادث شیرهای آتش‌نشانی زمینی) بررسی می‌شود. به‌دلیل این‌که مخازن از نظر وسعت و تعداد تجهیزات با یکدیگر یکسان نیستند از درصد و نسبت وقوع استفاده می‌شود. برای حوادث انشعاب تعداد حوادث بر انشعابات کل مخزن تقسیم شده و به‌صورت درصد نمایش بیان می‌شود. برای شبکه تعداد حوادث شبکه بر طول شبکه تقسیم شده و به‌صورت نسبت رخداد برحسب متراژ ارائه می‌شود. خرابی‌های شیرخط و آتش‌نشانی زمینی نیز بعد از تقسیم بر تعداد کل آن تجهیز در مخزن به‌صورت درصد نمایش داده می‌شود. برای استخراج اطلاعات از نرم‌افزارهای ۱۲۲ و تیمار استفاده می‌شود. درگام اول نسبت به استخراج گزارش حوادث یک ساله (با احتمال این‌که وضعیت آب و هوایی بر تعداد و نوع حوادث تأثیرگذار است) اقدام شده و به‌همین منظور بازه مناسب برای گزارشات یک دوره چهار فصل درنظر گرفته می‌شود. بعد از محاسبه حوادث، نمودار مربوط به شاخص‌ها ترسیم شده و مخزن ۹۴ با دارا بودن شرایط ذیل به‌عنوان محدوده مورد مطاله این تحقیق درنظر گرفته می‌شود:

- بیشترین درصدحوادث انشعابات نسبت به سایر مخازن؛
- بیشترین درصد خرابی شیرهای خط (قطع و وصل) نسبت به سایر مخازن؛
- بیشترین درصد خرابی برای شیرهای آتش‌نشانی زمینی نسبت به سایر مخازن؛
- دومین رتبه از نظر حوادث شبکه.

۲-۲- انتخاب و معرفی محدوده مورد مطالعه

مخزن ۹۴ در شمال شرق شهر تهران قرارگرفته است. زون مخزن ۹۴ دارای ۲ لایه فشاری تنها با ۱ عدد شیرفشارشکن در محدوده خود است که لایه دوم عملاً بدون کاربرد بوده و در واقع می‌توان آن‌را لایه انتظار درنظر گرفت. این مخزن در ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد و از تصفیه‌خانه‌های ۳ و ۴ تهرانپارس آبگیری می‌نماید. در محدوده مخزن ۹۴ یک شیر فشارشکن در ارتفاع ۱۴۶۱ متر روی خط ۲۰۰ میلیمتر موجود است. طول کلی خطوط شبکه تحت پوشش این مخزن ۴۳ کیلومتر است. درجدول ۲ اقطار لوله‌های این شبکه به تفکیک نمایش داده شده است که بیشترین فراوانی برای قطرهای ۱۱۰ و ۹۰ میلی‌متر است که هردو از جنس پلی‌اتیلن هستند.

جدول ۱- ترتیب اقدامات روش تحقیق

ردیف	اقدامات انجام شده در روش تحقیق
۱	بررسی حوادث براساس شاخص‌ها به تفکیک مخزن
۲	انتخاب محدوده مورد مطالعه و شناخت آن
۳	ایجاد مدل در نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات GIS
۴	صحت‌سنجی برای مدل هیدرولیکی ایجاد شده در WaterGems

جدول ۲- لوله‌های شبکه تحت پوشش مخزن ۹۴ به تفکیک اقطار

نوع و جنس لوله	طول (متر)	نوع و جنس لوله	طول (متر)
AC100	۱۲۱۷	DI400	۱۵۷۳
CU1	۱۱	DI500	۸۲۴
CU2	۲	DI60	۱۶۱
DI100	۱۹۸۸	DI80	۳۰۷۵
DI150	۵۲۰۶	PE110	۱۱۲۲۷
DI200	۳۴۲۷	PE63	۴۱۱
DI250	۴۰۸۶	PE90	۶۰۱۵
DI300	۲۰۰۷	RC1250	۲۵۴
DI350	۶۴۸	ST1200	۲۴۳
طول کل لوله‌ها (متر)		۴۲۸۲۴	

۲-۳- ایجاد مدل در نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات GIS

با ثبت اطلاعات در نرم افزار ArcGIS شامل کنتور مشترکین، تجهیزات، حوادث‌ها، خروجی‌های بازدید مانور، می‌توان از این مجموعه اطلاعات استفاده و بهره‌برداری کرد. برای مدل‌سازی باید لایه داده‌های مکانی و توصیفی در قالب Shapefile در نرم‌افزار GIS موجود باشد. لایه‌های مورد نیاز شامل محدوده مخزن،

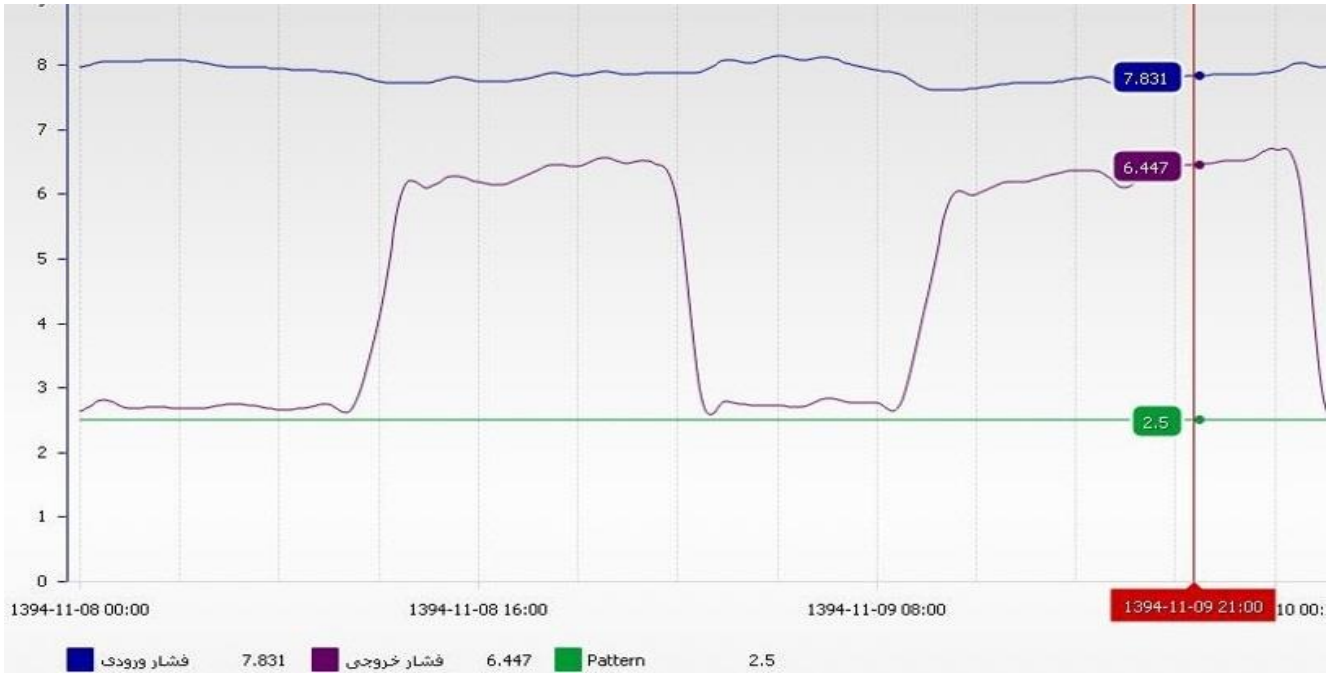
لوله‌ها، اشتراک‌ها و شیرها است. نرم‌افزار WaterGems یک نرم‌افزار کارآمد برای طراحی شبکه توزیع آب شهری است که با استفاده از آن می‌توان شبکه را به‌صورت شماتیک یا دارای مقیاس ایجاد نمود. این نرم‌افزار با قابلیت پشتیبانی نرم‌افزار اطلاعات جغرافیایی ArcGIS از توانایی انجام و انتقال نتایج حاصل از محاسبات جغرافیایی برخوردار است. این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی هیدرولیکی و طراحی خطوط انتقال و شبکه‌های آب شهری بسیار کاربردی است و امروزه تمامی موارد مذکور توسط این نرم‌افزار طراحی می‌شود. از مزایای این نرم‌افزار می‌توان به سینک (Sync) شدن آن با نرم‌افزار ArcGIS و AutoCAD، مدیریت و مدل‌سازی هم‌زمان شبکه‌های آبرسانی شهری نام برد. ترکیب دو نرم‌افزار توانمند WaterGems و GIS ابزار مناسبی برای این مدل‌سازی ایجاد می‌کند. قابلیت‌های بانک اطلاعاتی GIS و از طرف دیگر توانایی‌های بی‌نظیر WaterGems در ارائه پارامترهای هیدرولیکی این امکان را ایجاد می‌نماید که قبل از هر تغییری در شبکه نمونه، آن‌را مدل‌سازی و پس از کسب نتیجه مطلوب، طرح را در شبکه اجرا نمود. بعد از ایجاد مدل در نرم‌افزار بارگذاری اطلاعات مربوط به خطوط لوله، شیرهای قطع وصل، شیرهای فشارشکن کدهای ارتفاعی و اطلاعات مشترکین تکمیل و اجرا می‌شود. با اجرای برنامه و مشاهده مدل‌سازی هیدرولیکی محدوده مخزن ۹۴ می‌توان عمده ضعف این محدوده را فشار هیدرولیکی بالای شبکه تا ۸/۵ اتمسفر و در واقع توزیع نامناسب فشار هیدرولیکی در سطح شبکه توزیع دانست.

۲-۴- صحت‌سنجی برای مدل هیدرولیکی ایجاد شده در WaterGems

باتوجه به استقرار سیستم اسکادا برای کنترل و پایش شیرهای فشارشکن) از دیتاها و رکوردهای ثبت شده شیر فشارشکن محدوده مورد مطالعه استفاده می‌شود (شکل ۱). در سیستم اسکادا با نصب تجهیزات ابزار دقیق، فشار ورودی و خروجی شیر فشار شکن را به‌صورت برخط نمایش داده می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- فشارهای ثبت شده برای فشارشکن نوروزی

بازه زمانی	۱۲-۶	۱۸-۱۲	۲۴-۱۸	۲۴-۶
میانگین فشار (متر)	۸/۱	۸/۳	۷/۹	۸/۵



شکل ۱- نرم افزار SCADA

برای اطمینان از صحت اجرا و محاسبه مدل هیدرولیکی، صحت‌سنجی انجام می‌شود. برای این منظور فشار شبکه و شیر فشارشکن به‌وسیله مدل هیدرولیکی محاسبه شده و نتایج آن با داده‌های موجود میدانی مقایسه می‌شود. با توجه به این‌که

محدوده مخزن ۹۴ تنها دارای یک شیر فشارشکن است در جدول ۴ فشار ورودی نوروزی با فشار این تجهیز در مدل مقایسه می‌شود. برای صحت فشار نمایش داده شده توسط لاگرها این فشار با عملیات فشارسنجی توسط مانومتر فشاری صحت‌سنجی و کالیبره می‌شود.

جدول ۴- کالیبراسیون فشارشکن نشوه- نوروزی

فشار محاسبه شده (مدل‌سازی) (متر)	فشار اندازه گیری شده (لاگر) (متر)
۸/۵	۸/۴

با مشاهده اختلاف ناچیز در استفاده از مانومترهای روغنی (غیر دیجیتال) کمتر از ۰/۵ اتمسفر بین فشارهای ثبت شده از بازدید میدانی و فشارلاگر موجود بر روی فشارشکن نشوه- نوروزی می‌توان از کالیبره بودن مدل اطمینان حاصل کرد. پس از صحت‌سنجی مدل هیدرولیکی، نتایج مدل ارائه می‌شود. سپس براساس یافته‌های مدل‌سازی و تحلیل شبکه، برای بهبود، اصلاح و بهینه‌سازی شبکه توزیع راه‌کارهایی بیان می‌شود. از نرم‌افزار WaterGems در مدل‌سازی شبکه و تعیین نواحی با فشار بالا بهره جسته و سناریوی استقرار شیر PRV فشارشکن برای مدیریت و کنترل فشار و افزایش لایه‌های هم‌فشار انجام می‌شود.

۳- یافته‌ها

در بررسی مدل هیدرولیکی ایجاد شده توسط نرم‌افزار می‌توان نقاط ضعف فعلی شبکه توزیع محدوده مخزن ۹۴ را به‌شرح ذیل عنوان کرد:

- عدم تعادل فشار در شبکه توزیع (فشار بیشتر از استاندارد)؛
- سرعت بالای جریان در بعضی از لوله‌ها (عدم سرعت اقتصادی)؛
- اتمام عمر مفید لوله و کیفیت نامطلوب لوله‌ها و خطوط ضعیف شبکه.

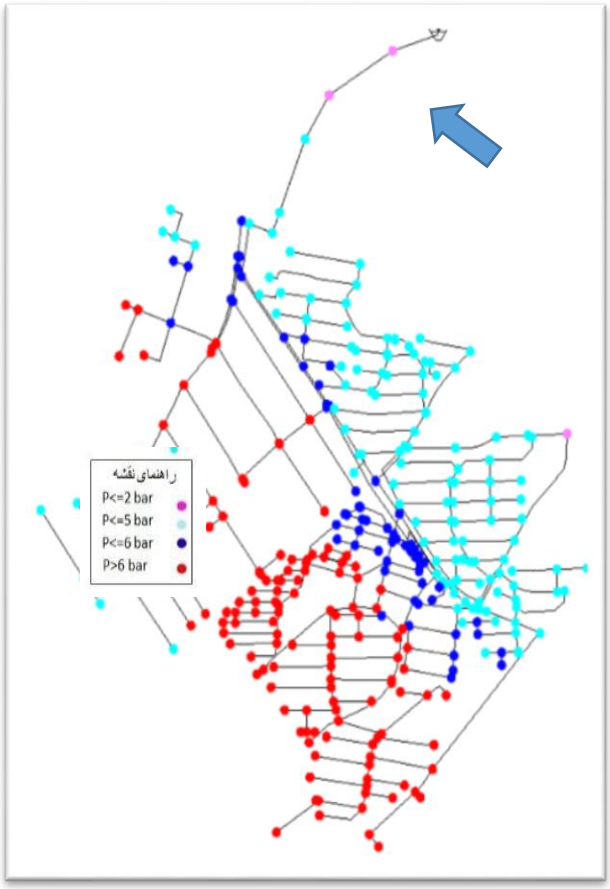
می‌توان گفت با توجه به ارتباط مستقیم تعداد حوادث با فشار موجود در شبکه، مدیریت فشار باعث کاهش تعداد شکستگی در لوله‌ها و انشعابات به میزان قابل توجهی می‌شود. بسیار واضح است که مصرف با افزایش فشار آب در شبکه توزیع افزایش خواهد داشت. محدوده تحت پوشش مخزن ۹۴ دارای ۲ لایه فشاری تنها با ۱ عدد شیرفشارشکن در محدوده خود است که لایه دوم عملاً بدون کاربرد بوده و در واقع می‌توان آن را لایه انتظار درنظر گرفت. لایه اول یا اصلی با رنگ قرمز و لایه دوم یا لایه فرعی با رنگ آبی ارائه شده است. به‌دلیل وجود داشتن تنها یک عدد شیرفشارشکن و دو لایه فشاری، در واقع لایه اول از خروجی مخزن در شبکه فشار بالاحدود ۸/۵ اتمسفر که خیلی بیشتر از حد استاندارد است، وجود دارد. درشهر تهران معمولاً فاصله لایه‌های فشاری ۳۵ متر است، یعنی از نقطه رهایی (خروجی فشارشکن) با ۲ اتمسفر و ۳۵ متر فاصله، دامنه فشاری بین ۲ تا ۵/۵ اتمسفر خواهد بود. کاهش دامنه خطوط هم‌فشار در شبکه توزیع در کنار پیاده‌سازی تجهیزات کنترل هوشمند شبکه‌های دفنی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های روز علوم آبی بهترین راه‌حل برای کاهش حوادث و هدررفت آب شبکه است. در محدوده مخزن ۹۴ با ارتفاع ۱۵۵۰ تا فشارشکن نشوه- نوروزی در ارتفاع ۱۴۶۱ متر، حدوداً دامنه فشاری ۸/۹ اتمسفری وجود دارد. این فشار غیراستاندارد موجب اعمال خستگی به شبکه، ایجاد نقاط بحرانی، افزایش تعداد حوادث، نشت و هدررفت آب خواهد شد. درصورت مدیریت بهینه فشاری در لایه‌های که دارای محدوده فشاری بین ۳ تا ۸ اتمسفر و یا بیشتر هستند می‌توان کاهش مصرف و حوادث را متصور شد. برای افزایش لایه هم‌فشار محاسبه پارامترهای فشار و سرعت در طراحی بسیارحائز اهمیت است.

۳-۱- بررسی نقاط کم فشار و پر فشار مدل موجود

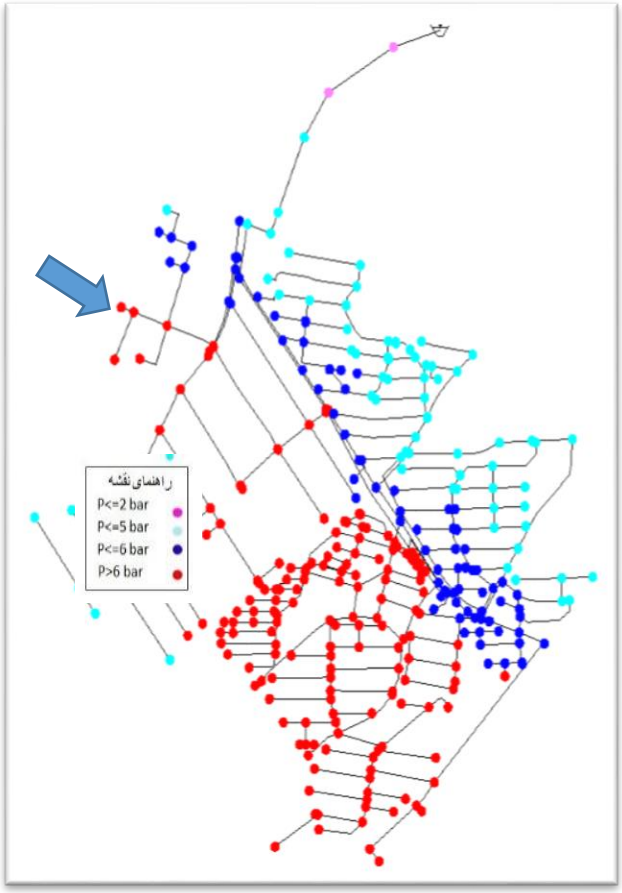
فشار استاندارد بر اساس نشریه ۳-۱۱۷ در شبکه آب شهری بین ۲/۴ تا ۵ اتمسفراست که میزان حداکثر فشار در شهر تهران به دلیل توپوگرافی ۶ اتمسفر درنظر گرفته می‌شود. هم‌چنین فشار ورودی برای ساختمان‌های ۴ طبقه ۲/۶ اتمسفر است. نقاط کم‌فشار در زمان حداکثر مصرف و نقاط پرفشار در زمان حداقل مصرف در شبکه با واحد بهره‌برداری ناحیه ۳ آب و فاضلاب منطقه ۲ تهران کنترل و کالیبره شدند. پس از بررسی خروجی مخزن ۹۴ و به‌دست آوردن الگوی روزانه مصرف، ساعت ۲۱ به‌عنوان زمان حداکثر مصرف مشخص شد. در این ساعت از ۳۲۴ گره شبکه تنها در ۱٪ گره‌ها فشار از ۲ اتمسفر پایین‌تراست. بنابراین کمبود فشار آب در سطح شبکه وجود نخواهد داشت. این گره‌ها در شکل ۲ با رنگ صورتی مشخص شده‌اند. فشارهای بالا در شبکه باید در زمان حداقل مصرف ساعت ۵ صبح بررسی شود. فشار در این ساعت در شکل ۳ آورده شده است. در این محدوده حدود ۵۳٪ از گره‌های شبکه فشار بالاتر از ۶ اتمسفر دارند که با رنگ قرمز مشخص است.

با توجه به وضعیت موجود نیاز است با اعمال لایه فشاری به کمک شیر فشارشکن (جدول ۵) و شیر حد در مکان‌های مناسب این مشکل برطرف شود. با توجه به هزینه‌های ساخت و احداث

اتاقچه شیرهای فشارشکن و مجوزهای لازم (راهنمایی و شهرداری) این تعداد شیر در مدل به روش سعی و خطا به‌گونه‌ای طراحی شده که با کمترین تعداد تجهیز، برای کاهش هزینه‌ها بیشترین بازدهی و ایده‌آل‌ترین تعدیل فشار را داشته باشد. با نصب شیرهای فشارشکن (شکل ۴) لایه جدید فشاری ایجاد می‌شود که زون‌بندی فشاری شبکه نیز به صورت (شکل ۵) تغییرمی‌یابد.



شکل ۲- فشار گره‌ها در ساعات حداکثر مصرف



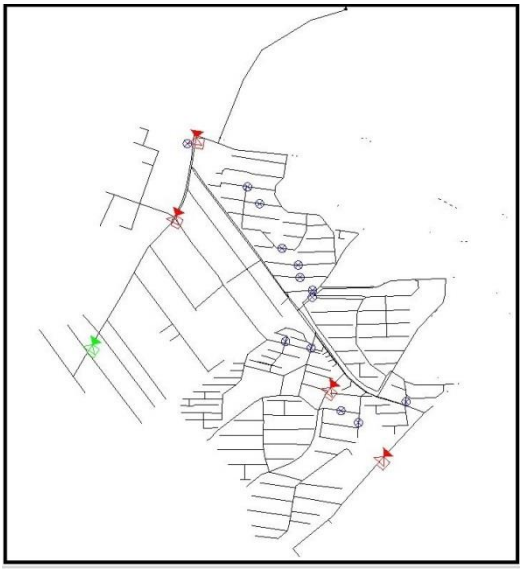
شکل ۳- فشار گره‌ها در ساعات حداقل مصرف

۳-۲- سرعت جریان در وضعیت موجود

طبق استاندارد سرعت در محدوده ۰/۳ تا ۲ متر برثانیه است (نشریه ۳-۱۱۷). به‌طور معمول در شبکه برای لوله‌ای تا قطر ۵۰۰ میلی‌متر سرعت بین ۰/۸ تا ۱/۲ متر بر ثانیه و برای اقطار بالای ۵۰۰ میلی‌متر سرعت ۱/۲ الی ۱/۷ متر بر ثانیه مطلوب است (آشفته، ۱۳۷۰). با توجه به این‌که در مخزن ۹۴ لوله‌های شبکه تا قطر ۵۰۰ میلی‌متر است، پس برای این محدوده سرعت تا ۱/۶ متر بر ثانیه قابل‌قبول است. سرعت در زمان حداکثر مصرف در وضعیت موجود بالاتر از ۱/۶ متر بر ثانیه نیست. درنتیجه نقاط بحرانی که موجب فرسایش شبکه شود وجود ندارد.

جدول ۵- فشارشکن‌های طراحی شده

ردیف	آدرس	وضعیت	تراز ارتفاعی (m)	قطر (mm)	دبی (L/s)	فشار تنظیم شده خروجی (m)
۱	خیابان نشوه مابین کوچه‌های نیلی و نوین	موجود	۱/۴۶۱	۲۰۰	۱۳/۹۹	۲۷
۲	خیابان لشکرک. پایین تر از کوچه بانک سپه	پیشنهادی	۱/۴۸۵	۱۵۰	۲۹/۴۶۳	۲۷
۳	خیابان نور مابین کوچه‌های نهالستان یکم و دوم	پیشنهادی	۱/۴۸۵	۱۵۰	۳۳/۵۲۴	۲۷
۴	خیابان نشوه مابین کوچه‌های مقدس و شیرازی	پیشنهادی	۱/۴۸۵	۲۰۰	۴۷/۹۷۸	۲۷
۵	تقاطع بلوار بهار و خیابان نشوه	پیشنهادی	۱/۵۰۱	۳۰۰	۱۳۰/۴۸۴	۲۹



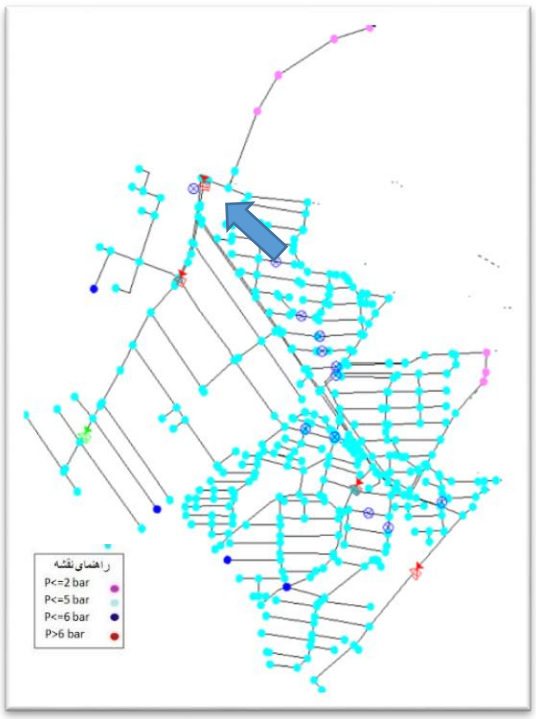
شکل ۴- نقاط نصب فشارشکن‌های پیشنهادی

شکل ۵- ایجاد زون‌بندی جدید

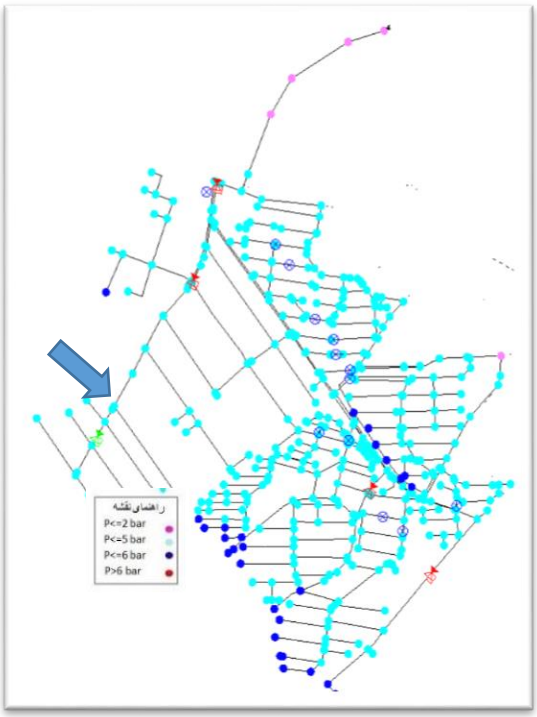
۳-۳- وضعیت فشار در طرح پیشنهادی

بعد از تغییرات اعمال‌شده برای فشارهای پایین (شکل ۶) در زمان حداکثر مصرف به‌همان میزان کمتر از ۰.۱٪ باقی ماند که نسبت به قبل از افزایش لایه فشاری تغییر نکرده و نهایتاً نارضایتی مشترکین وجود ندارد. البته این نقاط درحال حاضر فاقد مشترک است و با توجه به این‌که خروجی مخزن فاقد نقطه رهایی است، این کمبود فشار منطقی است و برای حل این مشکل نیز راه‌کاری مطرح می‌شود. سایر گره‌ها نیز از فشار مناسب و متعادل به نسبت وضعیت مشابه در زمان حداکثر مصرف قبل از تغییرات پیشنهادی برخوردار هستند.

با افزایش لایه هم‌فشار به‌کمک شیر فشارشکن در محدوده شبکه توزیع مخزن ۹۴ و مطابق با شکل ۷ در زمان حداقل مصرف برای گره‌های انتهایی دامنه که در وضعیت فعلی فشار غیراستاندارد داشتند دیگر فشار بالای ۶ اتمسفر (غیر استاندارد) در شبکه دیده نشد که این مطلب از اهداف این تحقیق است.



شکل ۷- وضعیت فشار گره‌ها در زمان حداکثر مصرف



شکل ۸- وضعیت فشار گره‌ها در زمان حداقل مصرف

۳-۴- وضعیت سرعت در طرح پیشنهادی

با توجه به افزایش لایه فشاری مطابق وضعیت مدل، سرعت در زمان حداکثر مصرف در وضعیت پیشنهادی بالاتر از ۱/۶ متر بر ثانیه نیست. یعنی با افزایش لایه نقاط بحرانی به‌وجود نیامد. هم‌چنین با مقایسه سرعت در قبل و بعد از اجرای طرح در مدل مشاهده می‌شود تعداد خطوط نزدیک به سرعت ایده‌آل یا اقتصادی بیشتر از وضعیت موجود است.

۳-۵- بازسازی

با توجه به این‌که این محدوده در گذشته دارای کاربری‌های غیرمسکونی و عمدتاً کارخانجات صنعتی بوده است، با تبدیل این اراضی به مجتمع‌های مسکونی و تغییر به منطقه مسکونی در قالب بازسازی‌های سالانه برای کیفیت آب و کاهش رسوبات و تغییر شبکه از لوله‌های پلی‌اتیلن کارگاهی به چدن داکتیل می‌توان اصلاح و بازسازی را با مدیریت زمان و کاهش هزینه انجام داد. این اصلاح و بازسازی را می‌توان در قالب بازسازی‌هایی که براساس سن و فرسودگی شبکه به‌صورت سالانه انجام می‌شود انجام داد. با تحلیل مدل‌سازی هیدرولیکی و مشاهده شبکه بعضی از نقاط به‌دلیل فرسودگی لوله، عدم رعایت قطر مناسب در اجرا، سرعت غیر استاندارد که منجر به فرسودگی شبکه و رخداد حوادث می‌شود، احتیاج به بازسازی دارند. طبق بررسی‌های به‌عمل آمده بعضی از لوله‌ها به‌دلایل مختلف هم‌چون فشار در گره‌ها، سرعت آب، جنس و سن لوله‌ها نیاز به اصلاح و بازسازی دارند. برآورد بازسازی برای این محدوده حدود ۱۹ کیلومتر است که براساس افق طرح ۱۴۲۰ درنظرگرفته شده و می‌توان بعد از اجرای طرح در سال‌های بعد اقدام به بازسازی و توسعه شبکه مطابق با تعهدات سالانه شرکت نمود. با توجه به این‌که پس از پیاده‌سازی طرح موردنظر تعداد گره‌هایی که فشار کمتر از ۲ اتمسفر دارند همان مقدار ۱٪ وضعیت موجود بود، می‌توان برای رفع این کاهش فشار برای چشم انداز آینده با توجه به افزایش تعداد و مصرف مشترکین این نقاط در فاز اصلاح و بازسازی اتصال از مخزن‌های مجاور برای تأمین افت فشار بسیار اندک را درنظر گرفت. البته این اتصال علاوه‌بر تأمین فشار برای لایه ابتدایی بعد از مخزن و شیر فشارشکن مزایای دیگری هم خواهد داشت که مربوط به مدیریت فشار نیست و نتایج پدافندی خواهد داشت.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که براساس مشاهدات و آزمایش‌های به‌عمل آمده با هر ۱۴ متر افزایش فشار در شبکه میزان مصرف تا ۳۰ درصد افزایش می‌یابد (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۰) پس می‌توان گفت با کاهش فشار نیز مصرف کاهش می‌یابد. با توجه به ارتباط مستقیم تعداد حوادث شبکه با فشار موجود در شبکه مدیریت فشار باعث کاهش تعداد حوادث و شکستگی درلوله‌ها و انشعابات به‌میزان قابل‌توجهی می‌شود. با کاهش دامنه فشاری و برقراری تعادل فشار درشبکه به‌وسیله ایجاد لایه فشاری و نصب شیرهای کنترلی می‌توان نقاط پر ریسک شبکه را کاهش داد. کاهش نقاط پر ریسک، کاهش حوادث، کاهش نشت و آب بدون درآمد و به دنبال آن افزایش درآمد و رضایت‌مندی مدیران و ایجاد شبکه با قابلیت اطمینان بالا برای بهره‌برداران را در پی خواهد داشت. با اعمال لایه فشاری جدید در مدل‌سازی هیدرولیکی مشاهده شد که در زمان حداکثر مصرف فشارهای پایین با قبل از اعمال زون‌بندی تغییری نکرده و همان ۱٪ است. در نتیجه اجرای این طرح برای مشترکین نارضایتی را به‌دنبال نخواهد داشت. قبل از اجرای طرح پیشنهادی ۵۳٪ از گره‌ها فشار بالای ۶ اتمسفر را نشان می‌داد، بعد از پیاده‌سازی و اجرای مدل هیدرولیکی مشاهده شد در زمان حداقل مصرف که انتظار فشار بالا در شبکه وجود دارد، عملاً فشار غیراستاندارد بالای ۶ اتمسفر وجود نخواهد داشت. انجام طراحی‌های شبکه با هزینه‌های بسیار سنگین به‌صورت تجربی و آزمون خطاکاری بیهوده و پرهزینه است. مدل‌سازی هیدرولیکی این امکان را می‌دهد تا قبل از انجام طرح با مدل‌سازی در نمونه کوچکتر و بدون هزینه از نتایج و دستاوردهای طرح با توجه به هزینه‌ها و سختی‌های طرح اطمینان حاصل شود. با مشاهده افزایش لایه فشاری در مدل‌سازی هیدرولیکی می‌توان نتیجه گرفت مدیریت فشار می‌تواند بسیار در کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات تأثیرگذار باشد. با طراحی یک شبکه متعادل، کارآمد، کاهش حوادث در نتیجه کاهش هزینه در قراردادهای امداد را به‌دنبال دارد. با کاهش نشت و هدررفت آب کاهش هزینه‌های نشت‌یابی و افزایش فروش آب‌ها حاصل می‌شود. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات شبکه و بازسازی قبل از اتمام دوره طرح هزینه بسیاری را به شرکت آبفا تحمیل خواهد کرد. این هزینه‌ها سالانه و به‌صورت مستمر متناسب با رشد نرخ تورم افزایش قیمت اتصالات، افزایش هزینه‌های نیروی انسانی، افزایش هزینه‌های ماشین‌آلات در حال افزایش است. با طراحی اصولی و علمی و بررسی نتایج در کنار اجرای صحیح و مناسب طرح می‌توان هزینه‌های گزاف شبکه توزیع در قسمت بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات را تا حد بسیار زیادی کاهش و عمر شبکه را افزایش داد.

۵- مراجع

آشفته، ج.، (۱۳۷۰)، *طراحی شبکه آبرسانی*، انتشارات حسینیان، چاپ سوم.

تابش،م.، و واسطی،م.، (۱۳۸۶)، "کاهش میزان نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری از طریق حداقل نمودن فشار اضافی در شبکه"، *مجله تحقیقات آب ایران*، ۲(۲)، ۶۶-۵۳.

جهانگیر،م.، بارانی،غ.، و جهانگیر،ج.، (۱۳۹۰)، "بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی با مدیریت هوشمند فشار و کاهش نشت در محیط WaterGems (مطالعه موردی مجتمع آبرسانی دو حصاران خراسان جنوبی)"، *کنفرانس بین المللی آب و فاضلاب*، تهران، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، "ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی"، نشریه ۳-۱۱۷ بازنگری اول، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، تهران، ایران

Latchoomun, R.T.F., King, A., Busawon, K.K., and Ginoux, J.M., (2020), "Harmonic oscillator tank: A new method for leakage and energy reduction in a water distribution network with pressure driven demand", *Energy*, 201, 117657.

Saldarriag, J., and Andrés Salcedo, C., (2015), "Determination of optimal location and settings of pressure reducing valves in water distribution networks for minimizing water losses", *Procedia Engineering*, 119, 973-983.

Wright, R, Parpas, P., and Stoianov, I., (2015), "Experimental investigation of resilience and pressure management in water distribution Networks", *Procedia Engineering*, 119, 643-652.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.