



مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۳۱۴-۳۰۱

DOI: 10.22059/jwim.2021.325127.879

مقاله پژوهشی:

ارزیابی هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر صالح‌آباد (استان ایلام) باهدف نشت‌یابی شبکه و کاهش

هدررفت آب

حامد عبداللهی^۱، جعفر مامی‌زاده^{۲*}، رضا رضایی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۳. معاونت بهره‌برداری و توسعه آب، شرکت آب و فاضلاب استان ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵

چکیده

با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کاهش سطح سفره آب‌های زیرزمینی، مدیریت منابع آب یکی از مهمترین موضوعاتی است که موردتوجه مسئولین و کارشناسان این حوزه قرار گرفته است. در این مطالعه برای کاهش شکستگی و هدررفت شبکه توزیع آب شهر صالح‌آباد (مقایسه داده‌های تولید آب و مصرف مشترکین نشان داد که در این شبکه بیش از ۶۰ درصد هدررفت آب وجود دارد) بررسی‌های میدانی، فشارسنجی و نشت‌یابی و تحلیل هیدرولیکی با تلفیق نرم‌افزارهای AutoCAD، WaterGEMS و GIS انجام گرفت. شبیه‌سازی شبکه توزیع نشان داد فشار در بیش‌تر مناطق شهر بین ۳۵ تا ۵۵ متر آب است. با کمک نرم‌افزار WaterGEMS، مناطقی از شبکه که دارای فشار بیش از ۵۰ متر آب بود تعیین و با بررسی‌های میدانی و استفاده از روش بستن شیرهای کشویی به‌صورت پله‌ای در مناطق مذکور، شش نقطه به‌عنوان مناطق پر ریسک از نظر نشت شناسایی شد. در ادامه توسط دستگاه نشت‌یاب، سه مورد شکستگی شناسایی و نسبت به رفع آن‌ها اقدام شد. دبی‌سنجی مجدد شبکه کاهش ۲۰ درصدی میزان هدررفت را نشان داد. با توجه به بافت شهری و توپوگرافی منطقه پیشنهاد شد با نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی شبکه، فشار شبکه به ۱۶ تا ۳۰ متر کاهش یابد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل هیدرولیکی، داده‌های میدانی، شبکه توزیع آب، نشت‌یابی، هدررفت، Watergems.

Hydraulic evaluation of water distribution network of Salehabad city (Ilam province) in order to detect network leakage and reduce water loss

Hamed Abdollahi¹, Jafar Mamizadeh^{2*}, Reza Rezaei³

1. M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

3. Deputy of Exploitation and Development of Water, Ilam Water and Sewerage company, Ilam, Iran.

Received: June, 05, 2021

Accepted: August, 14, 2021

Abstract

Water resources management is one of the most important issues that are considered by experts in this field due to the reduction of rainfall and the reduction of groundwater levels. In this study, to reduce pipe fractures and water loss in Salehabad city (Comparison of water production and customer consumption data showed that there is more than 60 percent water loss in this network) field studies, pressure gauges, leak detection, and hydraulic analysis were performed by combining AutoCAD, WaterGEMS and GIS software. Points of the water distribution network that had more than 50 mH₂O pressure were identified and then by field studies and using the method of closing the gate valves as a step by step, 6 points were identified as high-risk points of leakage. Therefore, with the check of the areas by the leak detector, 3 cases of pipe fractures were found and the remeasurement showed that the repair of these pipe fractures had reduced water loss by 20 percent. Depending on the urban texture and topography of the area, it was suggested to reduce the network pressure to 16 to 30 mH₂O by installing a pressure relief valve in critical points of the network.

Keywords: Field data, Hydraulic analysis, Leakage, Water distribution network, Watergems, Water loss.

مقدمه

کشور ایران در یک منطقه خشک و نیمه بیابانی قرار دارد. در سال‌های اخیر میزان بارندگی‌ها کاهش چشم‌گیری داشته‌اند. با افزایش روزافزون جمعیت و تغییر الگوی مصرف مشترکین و هم‌چنین افزایش شرکت‌های صنعتی و تولیدی، نیاز به توجه بیشتر در خصوص مدیریت منابع آب و کاهش هدررفت آن است. نشت در شبکه‌های توزیع آب یک واقعیت اجتناب‌ناپذیر است که باعث تحمیل هزینه‌های اضافی از زمان تولید تا مصرف به شرکت‌های آب و فاضلاب می‌شود (Weber et al., 2020). از این رو می‌توان با مدیریت فشار، بهینه‌سازی و پایش میدانی مستمر شبکه‌های توزیع، شبکه را در حالت سرویس‌دهی مناسب با حداقل‌ترین میزان نشت قرارداد (Gerard Sanz & Perez, 2015). نشت آب نه تنها منجر به اتلاف منابع آب با کیفیت می‌شود بلکه منجر به آلودگی آب‌های آشامیدنی و هم‌چنین سبب آسیب‌های جدی به ساختمان‌های اطراف محل نشت می‌شود (Li et al., 2011). عوامل مختلفی بر شکستگی لوله‌های آبرسانی تأثیر می‌گذارد که یکی از مهم‌ترین این عوامل، فشار آب است (Taj Abadi et al., 2018). با استفاده از روشی مبتنی بر با مقایسه فشار اندازه‌گیری شده و فشار شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار WaterGEMS، مناطقی که امکان نشت دارند مشخص و هم‌زمان با استفاده از الگوریتم رقابتی (ICA)^۱ کالیبراسیون تقاضای گره‌ای در نرم‌افزار، می‌توان مناطق دارای نشت را با دقت مناسب شناسایی کرد (Moasheri et al., 2021). هم‌چنین می‌توان با شبیه‌سازی مدل هیدرولیکی شبکه و بهینه‌سازی آن با استفاده از اندازه‌گیری فشار و دبی شبکه، نسبت به تعیین مکان‌های احتمالی نشت و رفع آن‌ها اقدام نمود (Vrachimis et al., 2021). تعیین مکان و تنظیمات بهینه شیرهای فشارشکن^۲ از دیگر مسائل مهم در شرکت‌های آب و فاضلاب جهت

کاهش تلفات واقعی در شبکه توزیع آب است (Caldarriaga & Salced, 2015). با جانمایی بهینه شیرهای فشارشکن و تنظیمات مناسب آن‌ها، علاوه بر کاهش هزینه‌های انرژی و تأمین رضایت مشترکین، از افزایش نشت و شکستگی‌ها جلوگیری می‌شود (Covelli et al., 2016). اصلاح صحیح شبکه‌های توزیع علاوه بر کسب رضایت مشتری میزان تلفات ناشی از هدررفت واقعی نیز کاهش خواهد یافت. به طوری که مدیریت فشار در شبکه‌های آبرسانی باعث کاهش میزان حوادث و نشت در سیستم خواهد شد و همین مسأله باعث کاهش تلفات و هدررفت واقعی می‌گردد (Satarzadeh et al., 2015).

با استفاده از شبکه‌های مصنوعی و با حداقل برداشت اطلاعات هیدرولیکی شبکه از نوع فشار، علاوه بر تعیین موقعیت نشت، میزان نشت در هر گره نیز با دقت مناسب تعیین می‌شود (Sabet et al., 2019). با بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی، مدل‌های هیدرولیکی و ریاضی، میزان دقیق نشت و محل آن را مشخص و در کوتاه‌ترین زمان ممکن نسبت به رفع آن‌ها اقدام کرد (Ayad et al., 2021). هم‌چنین با شبیه‌سازی نرم‌افزاری شبکه توزیع آب که مبتنی بر اندازه‌گیری جریان در لوله‌ها و فشار در گره‌ها است، امکان دستیابی به میزان واقعی تقاضا برای مصرف و نشت فراهم می‌شود (Berardi et al., 2017). با حداقل برداشت اطلاعات هیدرولیکی از نوع فشار، علاوه بر تعیین موقعیت نشت‌های موجود گرهی، می‌توان مقدار دقیق گرهی که بیش‌ترین نشت را دارد، شناسایی کرد (Attari et al., 2017).

با تلفیق روش نرم‌افزاری و اندازه‌گیری شبانه می‌توان نواحی نشت را اولویت‌بندی کرد و این نواحی را نیز به گروه‌های کوچک‌تر تقسیم کرد. این روش برای شبکه‌های بزرگ هم دارای دقت بالایی است (Shekofteh et al., 2018). با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط و از

مواد و روش‌ها

شهر صالح آباد با جمعیتی بالغ بر ۱۸۲۰ نفر (آمار مرکز بهداشت شهر صالح آباد-۱۳۹۸) از توابع شهرستان مهران در استان ایلام است که در ۳۷ کیلومتری جنوب غربی ایلام واقع شده است. شهر صالح آباد به واسطه قرارگیری حرم مطهر علی صالح (ع)، یکی از شهرهای زیارتی استان ایلام محسوب می شود که براساس تعیین اقلیم آمبرژه و دوارتن دارای آب و هوای نیمه خشک و نیمه بیابانی است. آب این شهر از طریق چاهی واقع در فاصله ۱۳/۵ کیلومتری از شهر و دبی متوسط ۳۵ لیتر بر ثانیه تأمین می شود (شکل ۱).

آب توسط لوله پلی اتیلن ۲۵۰ میلی متر و لوله فولادی ۲۵۰ میلی متر به ترتیب با طول های ۱۱/۳ و ۱/۲ کیلومتر، وارد مخزن سنگی ۵۰۰ مترمکعبی سنگی می شود. سپس از مخزن ۵۰۰ مترمکعبی به محل آب شیرین کن^۳ که به روش اسمز معکوس^۴ کار می کند و ظرفیت شیرین سازی ۲۲۰۰ مترمکعب در روز را دارد، هدایت می شود. پس از شیرین سازی، آب دوباره به صورت پمپاژ به مخزن ۲۵۰۰ مترمکعبی انتقال داده می شود.

طریق قطر بهینه بدون نیاز به استفاده از نرم افزار اضافی برای محاسبه افت فشار و سرعت در لوله ها، می توان هزینه های شبکه توزیع آب را به حداقل رساند (Caballero *et al.*, 2019). به طور کلی فشار شبکه با نشت، مؤلفه هایی از مصرف مشترکان، تعداد حوادث، رضایت مشترکان، هزینه های بازسازی و نوسازی و رفع خسارت ها ارتباط دارد و پژوهشگران بسیاری رابطه فشار با مؤلفه های فوق را بررسی کرده اند (Lambert & Fantozzi, 2010).

آب شهر صالح آباد از طریق یک حلقه چاه که کیفیت آن در حد آب لب شور است تأمین می شود. یک دستگاه آب شیرین کن با ظرفیت ۲۲۰۰ مترمکعب در روز جهت شیرین سازی آن استفاده می شود. با توجه به میزان آب تولیدی که وارد شبکه میشود و مقایسه آن با میزان مصرف مشترکین، میزان هدررفت آب تقریباً برابر ۶۰ درصد است. هدف از انجام این پژوهش، شبیه سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه توزیع با تلفیق نرم افزارهای AutoCAD، WaterGEMS و GIS و سپس اندازه گیری مقادیر فشار، دبی و نشت یابی شبکه به منظور کاهش میزان هدررفت آب است.

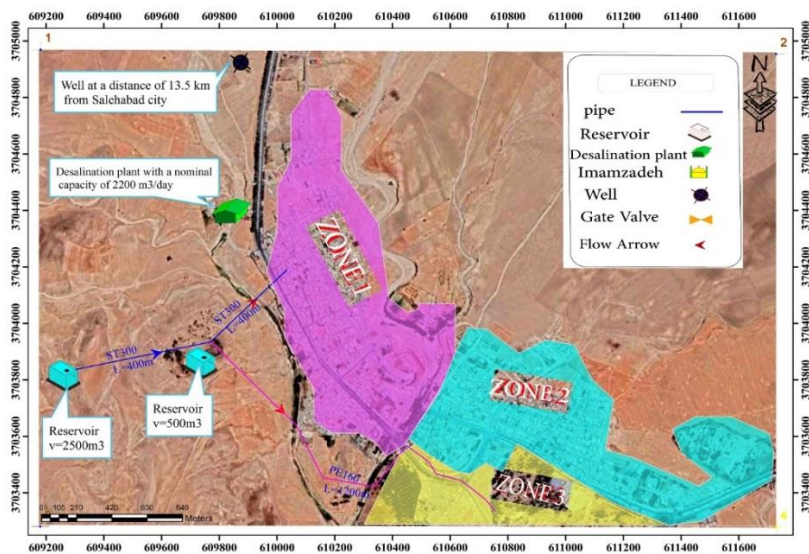


Figure 1. Reservoirs and water supply lines in Salehabad City

جهت اندازه‌گیری فشار و دبی ورودی به شبکه از دستگاه نشت‌یاب مدل DNR-18، دستگاه دبی‌سنجی التراسونیک^۱ مدل TUF-200H و فشارسنج معمولی روغنی ۱۰ بار استفاده شد. در بخش تحلیل هیدرولیکی شبکه توزیع آب، از نرم‌افزارهای AutoCAD، WaterGEMS، GIS استفاده شده است. ابتدا نقشه شبکه توزیع آب شهر صالح‌آباد در نرم‌افزار AutoCAD ترسیم، سپس لوله‌ها در نرم‌افزار WaterGEMS شبیه‌سازی شد و در ادامه جهت تعیین مصارف گره‌ها، از اطلاعات مصارف قبوض دوره‌ای مشترکین در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ استفاده شد. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های تخصیص دبی به گره‌ها، اتصال هر مشترک به گره‌ای می‌باشد که در واقعیت از آن انشعاب گرفته است. به‌عبارتی دیگر، تعریف دقیق مکانی و مصرف برای هر گره صورت گرفته است. در این روش با استفاده از نرم‌افزار GIS، مکان واقعی (براساس مختصات جغرافیایی) هر مشترک بر روی نقشه مشخص شد و با خروجی گرفتن از نرم‌افزار GIS، موقعیت مکانی دقیق مشترکین جهت استفاده در نرم‌افزار WaterGEMS به‌دست آمد و متوسط دبی مصرف مشترکین به آن تخصیص یافت (شکل ۲).

دبی خروجی از مخزن ۲۵۰۰ مترمکعبی توسط لوله فولادی ۳۰۰ میلی‌متر به طول ۴۰۰ متر تا کنار مخزن ۵۰۰ مترمکعبی سنگی منتقل و از آنجا به دو لوله فولادی ۳۰۰ میلی‌متر و لوله پلی‌اتیلن ۱۶۰ میلی‌متر تبدیل و آب را به شبکه توزیع می‌رساند. لوله فولادی ۳۰۰ میلی‌متری به طول ۴۰۰ متر به زون یک متصل می‌شود. لوله پلی‌اتیلن ۱۶۰ میلی‌متر نیز به طول ۱۲۰۰ متر که از زمین‌های کشاورزی عبور کرده و در کنار حرم مطهر امام‌زاده علی صالح(ع) به شبکه توزیع آب متصل می‌شود و آب را به زون‌های ۲ و ۳ می‌رساند. بر این اساس طول کل خط انتقال ۱۳/۵ کیلومتر و طول کل شبکه توزیع آب ۳۲ کیلومتر است.

در ادامه آمار و اطلاعات تولید آب، مصارف مشترکین، نوع و تعداد مشترکین طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ از شرکت آب و فاضلاب اخذ گردید (جدول ۱). لازم به ذکر است که اطلاعات مصارف به تفکیک نوع مشترک برای سال ۱۳۹۶ موجود نبود.

در ادامه با مشاهدات میدانی، نقشه چون‌ساخت^۲ شبکه توزیع آب شهر صالح‌آباد به‌روزرسانی شد و تحلیل هیدرولیکی شبکه صورت گرفت. در بازدیدهای میدانی

Table 1. Water production, number, ratio and consumption of customers, in the years 2018 to 2020

No.	Type of consumers	Number of consumers	2018			2019			2020					
			Customer to total ratio (%)	Annual consumption (m ³ /year)	Consumption to total ratio (%)	Number of consumers	Customer to total ratio (%)	Annual consumption (m ³ /year)	Consumption to total ratio (%)	Number of consumers	Customer to total ratio (%)	Annual consumption (m ³ /year)	Consumption to total ratio (%)	
1	Residential	580	63	12760	61	592	60	110499	55	623	60	116676	56	
2	Industrial	5	1	7288	3	7	1	7886	4	14	1	13640	7	
3	Commercial	125	14	3512	2	137	14	4829	2	140	14	6411	3	
4	Offices	15	2	6220	3	15	2	6019	3	16	2	6205	3	
5	Public	132	14	5318	3	148	15	9372	5	155	15	7215	3	
6	Mosques	7	1	17981	9	9	1	28815	14	9	1	26971	13	
7	Bakery	3	0.3	214	0.1	3	0.3	132	0.1	3	0.3	176	0.1	
8	Schools	7	1	2348	1	7	1	2858	1	7	1	2517	1	
9	Green Space	13	1	6458	3	13	1	7038	4	13	1	6066	3	
10	Temporary	28	3	10375	5	55	6	4404	2	42	4	3812	2	
11	Military	8	1	22868	11	8	1	18044	9	8	1	17268	8	
	Total	923	100	210699	100	630720	994	199895	100	590677	100	206956	100	614512

نتایج و بحث

بررسی تولید و مصارف آب

جهت بررسی مصارف مشترکین شهر صالح آباد اطلاعات تولید آب و مصرف ماهانه مشترکین از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ اخذ و در گام نخست میزان آب تولیدی توسط دستگاه آب شیرین کن شهر صالح آباد و مصارف مشترکین مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی و مقایسه داده های تولید و مصرف در طی ادوار مختلف، متوسط هدررفت آب برابر ۶۰ درصد است. شکل (۳) میزان تولید آب توسط مجموعه آب شیرین کن و مصرف مشترکین که براساس صدور قبوض مشترکین محاسبه شده است را نشان می دهد.

تولید آب در دی ماه ۱۳۹۸ به دلیل خرابی ترانس برق مجموعه آب شیرین کن، کاهش چشم گیری داشته است هرچند در این بازه زمانی آب مورد نیاز شهر توسط دو چاه

ذخیره موجود در مجموعه آب شیرین کن، تأمین شده است. در سال های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ مصرف مشترکین در فصل های پاییز و تابستان نسبت به فصل های بهار و زمستان بیش تر بوده است، اما در سال ۱۳۹۹ مصرف آب به دلیل همه گیری بیماری کرونا در تمامی فصول با افزایش چشم گیری روبه رو بوده است. براساس اطلاعات جدول (۱)، مشترکین براساس تقسیم بندی شرکت آب و فاضلاب استان ایلام به ۱۱ گروه تقسیم می شوند که بیش ترین تعداد مشترکین به ترتیب مربوط به گروه مسکونی، عام المنفعه و تجاری است. لازم به ذکر است وجود حرم مطهر امامزاده علی صالح (ع) و همچنین واقع شدن قبرستان مشترک شهرهای مختلف استان به ویژه شهر ایلام در جوار حرم امامزاده سبب شده است مشترکین گروه عام المنفعه تعداد بالایی را به خود اختصاص دهند.

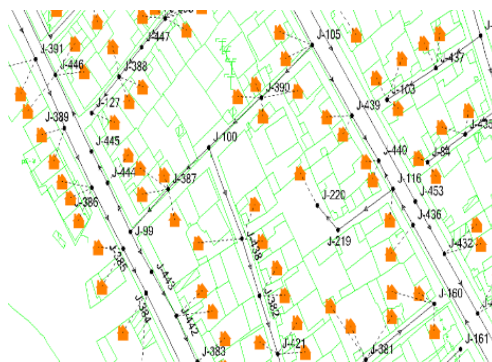


Figure 2. Customer flow allocation to the nearest node

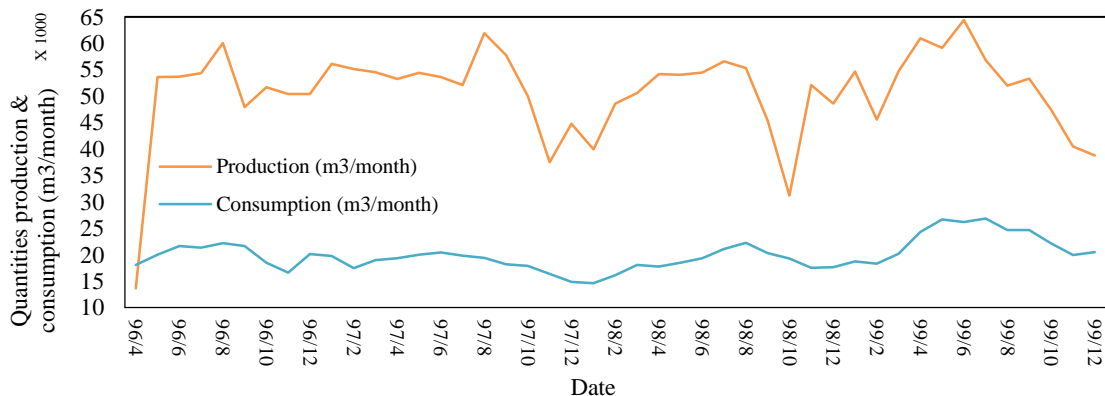


Figure 3. Water production and customer consumption

اندازه‌گیری دبی و فشار

جهت ارزیابی و صحت سنجی اطلاعات دبی تولیدی و فشار در شبکه، نسبت به سنجش دبی و فشار شبکه در نقاط مختلف به مدت ۱۵ روز اقدام شد. این دبی‌سنجی‌ها روی لوله‌های فولادی ۳۰۰ اصلی، لوله فولادی ۳۰۰ ورودی به زون ۱ و لوله پلی‌اتیلن ۱۶۰ ورودی به زون ۲ و ۳ صورت گرفت. شکل (۴) نتایج دبی‌سنجی در تاریخ ۱۳۹۹/۱۰/۳۰ با بیش‌ترین مصرف در دوره ۱۵ روزه بوده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود حداکثر مصرف در ساعت ۱۱:۵۵ دقیقه و برابر ۳۰ لیتر بر ثانیه است. هم‌چنین حداقل مصرف در ساعت ۳:۵۵ دقیقه و برای لوله تأمین آب زون ۱ برابر ۱۳ لیتر بر ثانیه و برای لوله تأمین آب زون ۲ و ۳ برابر ۳ لیتر بر ثانیه است.

بررسی هیدرولیکی شبکه

با استفاده از اطلاعات مصارف دوره‌ای مشترکین، متوسط مصرف هر مشترک در دوره‌های بین ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ محاسبه شد که تقریباً مجموع متوسط دبی مصرف مشترکین بین ۷ تا ۹ لیتر بر ثانیه بود؛ بنابراین متوسط دبی مصرف موردنیاز مشترکین در نرم‌افزار WaterGEMS، ۸ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

بررسی مصارف گروه‌های مختلف مشترکین نشان داد، بیش‌ترین مصرف آب در دوره مورد مطالعه مربوط به گروه مسکونی است. این گروه نزدیک به ۶۰ درصد کل تعداد مشترکین را شامل می‌شود. بعد از گروه مسکونی، گروه مساجد بیش‌ترین مصرف را دارند. این گروه با این‌که فقط ۱ درصد از کل تعداد مشترکین را شامل می‌شود، اما ۱۳ درصد مصرف سالیانه را به خود اختصاص داده است. این موضوع به دلیل فرارگرفتن حرم امامزاده به‌عنوان پرمصرف‌ترین مشترک تحت پوشش در گروه مساجد می‌باشد. هم‌چنین گروه مشترکین نظامی و تولیدات صنعتی نیز با توجه به تعداد اشتراکی که اخذ نموده‌اند از مصرف بالایی برخوردارند. یکی دیگر از گروه‌های قابل توجه، گروه مشترکین فضای سبز عمومی است. متأسفانه آبی که توسط آب‌شیرین‌کن و با هزینه بالا تصفیه و شیرین‌سازی می‌شود، با وجود توصیه و تذکر شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور بر حذف مصارف آب فضای سبز عمومی، توسط شهرداری شهر صالح‌آباد برای آبیاری فضای سبز عمومی استفاده می‌شود. با توجه به مصارف ثبت‌شده، تقریباً سالانه بیش از شش هزار مترمکعب آب به فضای سبز عمومی اختصاص داده می‌شود.

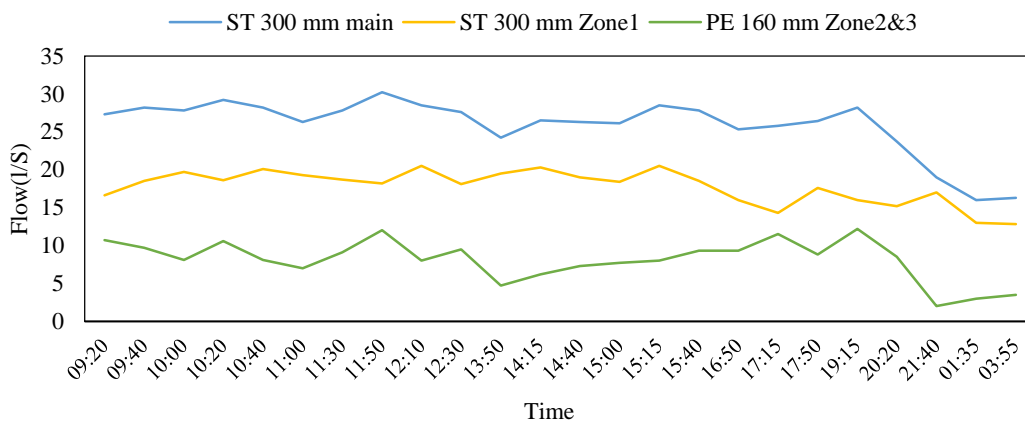


Figure 4. Input flow to the network on 19/01/2021

مختلف شهر نشان داده شده است. اکثر مناطق شهر دارای ارتفاع ۶۲۰ تا ۶۴۰ متر از سطح دریا و ارتفاع مخزن ذخیره آب شهر ۶۷۵ متر از سطح دریا می باشند، بنابراین فشار استاتیک شبکه بین ۳۵ تا ۵۵ متر آب است. حداقل فشار مجاز شبکه برای ساختمان های یک طبقه مطابق با نشریه ۳-۱۱۷ برابر ۱۴ متر آب (در محل انشعاب-پشت کنتور) است. بافت شهری منطقه مورد مطالعه به طور عمده دارای ساختمان های یک طبقه است. بر این اساس به نظر می رسد فشارهای ۳۵ تا ۵۵ متر آب مقادیر زیادی می باشند.

یکی از روش های کاهش نشت در شبکه، کاهش فشار در شبکه توزیع آب است، از این رو پیشنهاد شد دو شیر فشارشکن در محل های پیشنهادی در شبکه نصب شود و فشار شبکه را بین ۱۶ تا ۳۰ متر آب کاهش داد. شکل (۷) محل پیشنهادی نصب شیرهای فشارشکن و همچنین فشار شبکه در حالت های قبل و بعد از نصب شیر فشارشکن را نشان می دهد.

سپس برای تحلیل نرم افزاری هر یک از دبی های اندازه گیری شده، ضریب تبدیل متوسط دبی مصرف به دبی اندازه گیری شده محاسبه و به تمام گره ها اعمال شد. جهت تطبیق وضعیت موجود شبکه توزیع آب باحالت شبیه سازی شده، شیرهای کشویی موجود شبکه در نرم افزار شبیه سازی شدند.

پس از ورود اطلاعات مکانی و مصارف مشترکین در نرم افزار WaterGEMS، وضعیت فشار و سرعت در گره ها مشخص گردید. بررسی و تحلیل نتایج خروجی نرم افزار و فشارسنجی شبکه در بازدیدهای میدانی، نشان داد در بسیاری از گره ها، فشار واقعی و فشار محاسبه شده در نرم افزار باهم مطابقت دارند، اما در چند گره، فشار اندازه گیری شده و محاسبه شده دارای اختلاف زیاد بودند. از این رو، این گره ها به عنوان مناطقی که احتمال نشت در آنها بیش تر است، انتخاب شدند. در شکل (۵)، شش منطقه به عنوان مناطق با احتمال نشت آب مشخص شده اند.

در شکل (۶) رقوم ارتفاعی و میزان فشار در مناطق

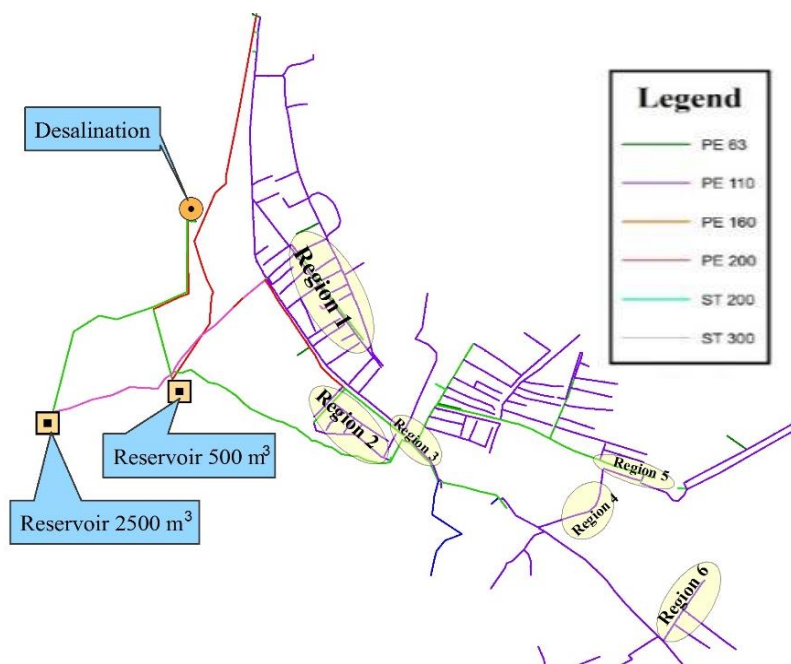


Figure 5. Region with the possibility of water leakage

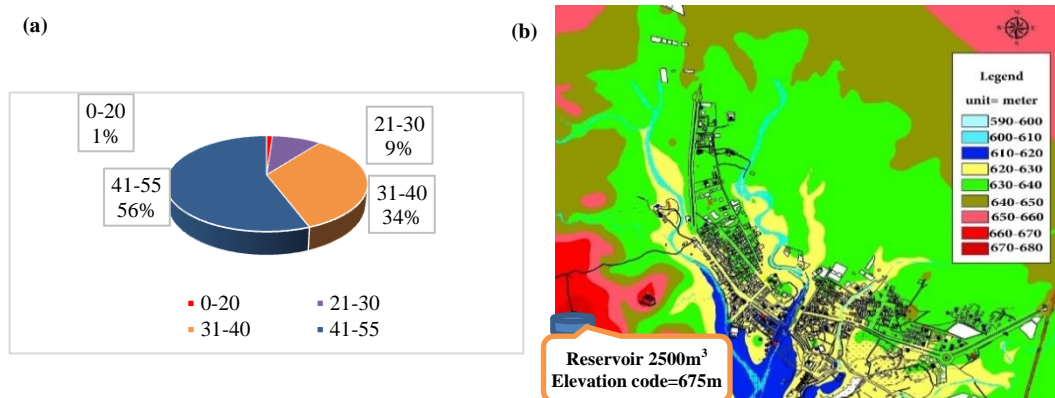


Figure 6. Height and pressure in different areas of Salehabad city; a) Network pressure (mH₂O) status at peak consumption, b) Altitude figure of city areas

میدانی و نشست‌یابی‌های احتمالی اقدام شد. فصل زمستان با توجه به خاموش‌بودن کولرهای آبی و عدم ذخیره آب توسط تانکرهای آب منازل مشترکین، بهترین زمان برای نشست‌یابی است. از این رو، در چند روز مختلف در فصل زمستان نسبت به اندازه‌گیری فشار و دبی‌سنجی آب ورودی به شبکه توزیع اقدام شد. یکی از مشکلات اصلی در پیدا کردن شکستگی و نشست‌های احتمالی در شبکه، نوع زمین و بافت خاک است که بیش‌تر به صورت شنی است. زمانی‌که شکستگی در لوله‌های شبکه رخ دهد، به‌جای این‌که آب به‌طرف بالای زمین حرکت کند و به‌صورت نشست ظاهری خود را نشان دهد، به‌طرف پایین حرکت کرده و این امر، یافتن شکستگی‌های احتمالی را سخت می‌کند.

از این رو، در بازدیدهای میدانی ابتدا رودخانه‌ای که در وسط شهر که آب‌های سطحی و فاضلاب شهر در این رودخانه ریخته می‌شود، مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدای رودخانه و در زیر دیوار حائل، مقداری نشست آب وجود داشت. جهت بررسی این نشست آب، چهار نمونه آزمایش به‌ترتیب یک نمونه از محل نشست آب در زیر دیوار حائل، یک نمونه بالاتر از این مکان و از آب داخل رودخانه، یک نمونه از منزل نزدیک به دیوار حائل و یک نمونه از خروجی آب‌شیرین‌کن تهیه و برای بررسی به آزمایشگاه آب و

نتایج هیدرولیکی سرعت در لوله‌ها نشان داد که سرعت جریان در بسیاری از لوله‌های شبکه توزیع آب پایین می‌باشد. زمانی که میزان دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه وارد شبکه توزیع آب می‌شود، در بیش از ۸۴ درصد لوله‌ها سرعت کم‌تر از ۰/۳ متر بر ثانیه می‌باشد. این سرعت برای دبی‌های کم‌تر (دبی‌های ۱۷، ۱۹، ۲۲ و ۲۶ لیتر بر ثانیه) بسیار پایین‌تر می‌باشد. شکل (۸) وضعیت سرعت جریان در لوله‌ها را در زمان حداکثر مصرف نشان می‌دهد. حداقل سرعت در شبکه توزیع آب مطابق نشریه ۳-۱۱۷ جهت جلوگیری از رسوب‌گذاری و تغییر شرایط کیفی آب از جمله بو و مزه، ۰/۳ متر بر ثانیه می‌باشد، اما تحلیل نرم‌افزاری شبکه نشان داد، فقط در ۱۵ درصد از لوله‌ها، میزان سرعت در محدوده استاندارد و قابل قبول می‌باشد. هم‌چنین با توجه به سرعت بالا در لوله پلی‌اتیلن ۱۱۰ میلی‌متر در ابتدای زون ۱، پیشنهاد شد جهت کاهش سرعت جریان و کاهش استهلاک لوله و اتصالات و هم‌چنین وجود نشست احتمالی، این لوله با لوله پلی‌اتیلن ۲۰۰ میلی‌متر تعویض شود.

نشست‌یابی

با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته در خصوص وضعیت تولید و مصرف و هدررفت بالای شبکه، نسبت به بازدید

ارزیابی هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر صالح آباد (استان ایلام) باهدف نشت یابی شبکه و کاهش هدررفت آب

مطابقت دارد و نمونه آب مشترک مسکونی با نمونه خروجی آب شیرین کن مطابقت دارد. از این رو نتیجه حاصل شد که نشت آب زیر دیوار حائل به دلیل شکستگی و نشتی از لوله های شبکه توزیع نیست.

فاضلاب استان ایلام ارسال شد. با بررسی پارامترهای کل مواد جامد محلول^۷، هدایت الکتریکی^۸، خاصیت اسیدی آب^۹ و کدورت آب^{۱۰} در جدول (۲) معلوم شد نمونه آب آزمایش شده در زیر دیوار حائل با نمونه آب رودخانه

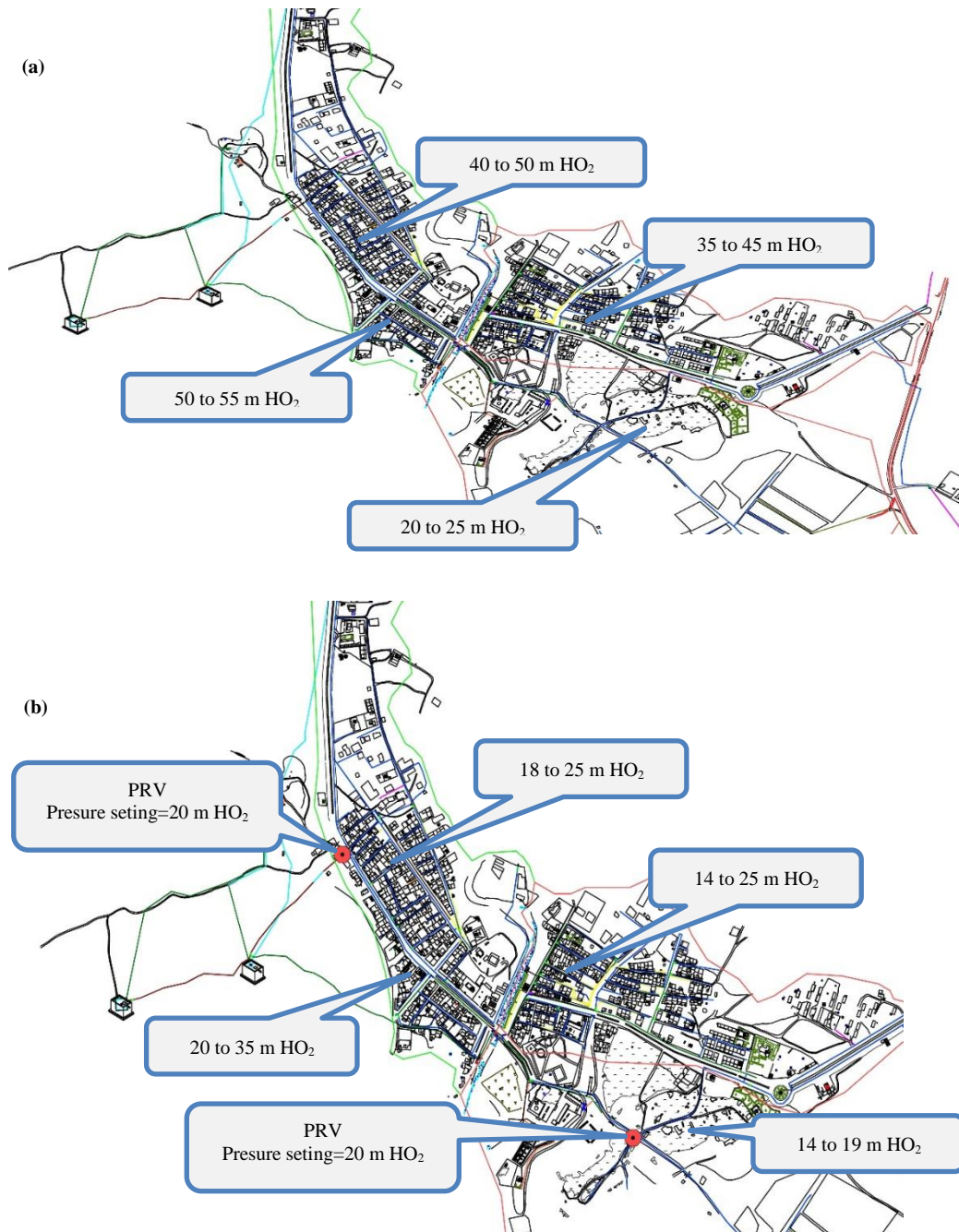


Figure 7. Network pressure condition before and after installation of pressure relief valves; a) Network pressure condition before installing pressure reducing valves, b) Network pressure status after installing pressure reducing valves

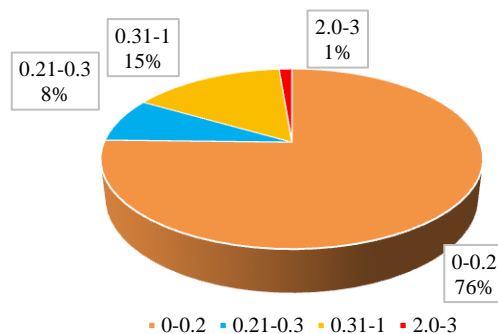


Figure 8. Velocity (m/s) status in the water network when the inlet flow is 30 l/s.

Table 2. Results of analysis of water samples

No.	Test location	TDS (ppm)	EC (μ Siemens/cm)	PH	Turbidity (NTU)
Sample 1	Water leak location	2550	3987	7.43	9.55
Sample 2	Above the water leak	2537	3950	7.39	4.01
Sample 3	Residential house	436	683	7.97	0.38
Sample 4	Desalination output	329	515	8.07	0.61

قطع شد. از این رو، با اطمینان از وجود شکستگی در این منطقه نسبت به حفاری روی پل اقدام شد. پس از حفاری معلوم شد یک شکستگی به دلیل کیفیت پایین جوش لب به لب لوله پلی اتیلن ۱۱۰ میلی متر وجود دارد. با بررسی منطقه ۱ هیچ گونه نشانه‌ای از وجود نشت در این منطقه دیده نشد. با این حال با استفاده از دستگاه نشت یاب، این منطقه مورد پایش شبانه قرار گرفت که علائم و نشانه‌ای مبنی بر وجود نشت توسط دستگاه شناسایی نشد.



Figure 9. Fracture site in region 6

در منطقه شماره ۵ پس از بررسی‌های میدانی مشخص شد که مقداری فرونشست زمین در این مکان به وقوع

در روزهای بعد نیز نسبت به ارزیابی میدانی شش منطقه مشخص شده توسط نرم افزار WaterGEMS اقدام شد. در این راستا ابتدا مناطق ۴ و ۶ که در تحلیل نرم افزاری دارای فشار بیش از ۵۰ متر آب بودند، بررسی میدانی شدند. در منطقه شماره ۴ با استفاده از سیگنال‌های هشدار دستگاه نشت یاب و فرونشست زمین، پس از حفاری معلوم شد به دلیل فشار بالای استاتیک در این مکان، نشت آب در اتصال پیچی لوله پلی اتیلن ۳۲ میلی متر وجود دارد و میزان هدررفت آب زیاد است. در بررسی منطقه ۶ با دستگاه نشت یاب و فرونشست زمین در این منطقه، معلوم شد یک شکستگی به طول ۱۵ سانتی متر در لوله پلی اتیلن ۶۳ میلی متر ایجاد شده است و به دلیل جنس زمین منطقه، نشت آب به طرف پایین حرکت کرده نموده و گودال بزرگی ایجاد شده است (شکل ۹).

در منطقه ۳ که بر روی پل رودخانه اصلی شهر صالح آباد قرار دارد، بررسی‌ها نشان داد در پایین تر از این مکان و در بدنه پل مقداری آب روان وجود دارد. جهت اطمینان از وجود نشت، جریان عبوری از لوله‌ها عبوری بر روی پل قطع شد. پس از گذشت یک ساعت، آب روی بدنه پل نیز

فولادی ۳۰۰ میلی متر تبدیل می شود. از لوله فولادی ۳۰۰ میلی متر نیز دو لوله پلی اتیلن ۱۶۰ و ۱۱۰ میلی متر منشعب می شوند (شکل ۱۰).

جهت بررسی این منطقه، در ساعت ۲:۰۰ بامداد ابتدا در زمانی که تمامی شیرها باز بودند نسبت به دبی سنجی اقدام شد که دبی ورودی به شبکه ۱۵ لیتر بر ثانیه بود. سپس شیرهای کشویی^{۱۱} GV1، GV2، GV4، GV5 بسته شدند، بنابراین آب تنها در لوله پلی اتیلن ۱۱۰ میلی متر ابتدای شبکه جریان داشت. پس از گذشت ۳۰ دقیقه از بسته شدن شیرها دوباره دبی سنجی انجام شد که میزان دبی ورودی در این لوله ۷ لیتر بر ثانیه بود. جهت اطمینان از وجود شکستگی روی لوله پلی اتیلن ۱۱۰ میلی متر، در یک شب دیگر نیز عملیات نشت یابی صورت گرفت. در این مرحله نسبت به بستن شیرهای کشویی اصلی شبکه و دبی سنجی از لوله های ورودی به شبکه توزیع آب اقدام شد. خلاصه عملیات صورت گرفته در جدول (۳) نشان داده شده است.

پیوسته است. در ساعت های اولیه بامداد که مصرف شبکه در حداقل ترین حالت ممکن است، میزان نشت احتمالی توسط دستگاه نشت یاب مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج و تحلیل های دستگاه نشت یاب، یک نقطه واقع بر لوله پلی اتیلن ۱۶۰ میلی متر به سمت زون ۲ مشخص و به عنوان نقطه پر ریسک از نظر شکستگی و نشت تعیین شد. در روزهای بعد نسبت به حفاری این محل اقدام و معلوم شد هیچ گونه نشتی در این مکان وجود ندارد. با بررسی های صورت گرفته از محل حفاری، نمایان شد که یک لوله گاز با فاصله کم در کنار لوله آب وجود دارد و صدای گاز عبوری از این لوله باعث خطای دستگاه نشت یاب شده است. در منطقه ۲ براساس نقشه چون ساخت شبکه، پس از ورود دبی از لوله فولادی ۳۰۰ میلی متر در ابتدای زون ۱، به دو انشعاب لوله پلی اتیلن به قطرهای ۱۰۰ و ۱۶۰ میلی متر تبدیل شده است. لوله پلی اتیلن ۱۱۰ میلی متر بعد از طول حدود ۴۰۰ متر به لوله پلی اتیلن ۱۶۰ میلی متر تبدیل می شود و سپس به لوله

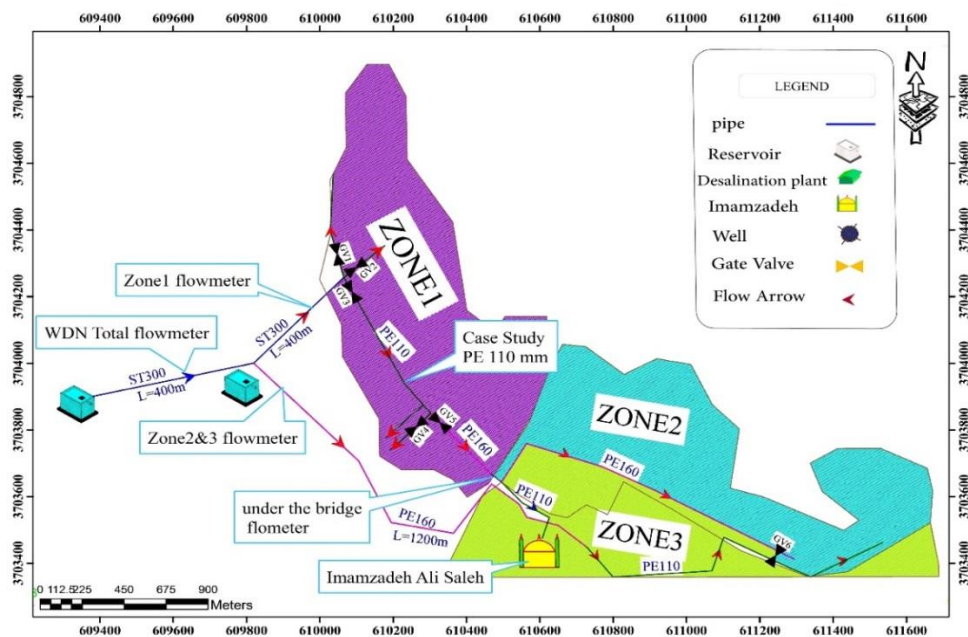


Figure 10. Position of the flow measuring points, main pipes of the network, and gate valves.

Table 3. Results of water flow measurement

No.	Measurement location	Material	Diameter (mm)	Time	Gate Valve Condition						Flow(l/s)	Description
					GV1	GV2	GV3	GV4	GV5	GV6		
1	Zone1 inlet	ST	300	23:15	+	+	+	+	+	+	12.7	
2	Under the bridge (Where three areas are connected)	ST	300	23:15	+	+	+	+	+	+	2.5	
3	Zone2&3 inlet	PE	160	23:15	+	+	+	+	+	+	4.0	
4	Network inlet	ST	300	23:15	+	+	+	+	+	+	16.7	
5	Zone1 inlet	ST	300	23:40	+	+	+	+	+	**	13.7	at 23:15 hour the GV6 was closed
6	Under the bridge	ST	300	23:40	+	+	+	+	+	-	1.5	at 23:15 hour the GV6 was closed
7	Zone1 inlet	ST	300	23:55	+	+	-	+	+	-	6.5	at 23:40 hour the GV3 was closed
8	Zone1 inlet	ST	300	00:00	-	-	-	-	-	-	1.34	All valves were closed
9	Zone1 inlet	ST	300	00:10	-	-	+	+	+	-	9.8	at 00:00 hour the GV2&3&6 was closed
10	Zone1 inlet	ST	300	00:20	-	-	+	-	-	-	8.4	at 00:10 hour the GV4&5 was closed

*+: Gate valve is opened.

** -: Gate valve is closed.

زیر پی و بدنه مخزن قدیمی و سنگی ۲۵۰۰ مترمکعبی شهر است. به دلیل استفاده مداوم و عدم امکان جایگزینی منبع آب، مانع از اندازه‌گیری این مقدار نشت شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

یکی از راه‌های کاهش هدررفت آب، مدیریت و بهره‌برداری صحیح از شبکه‌های توزیع آب است. با توجه به بالابودن میزان نشت و هدررفت آب شهر صالح‌آباد، شبکه توزیع آب این شهر مورد ارزیابی میدانی و تحلیل هیدرولیکی قرار گرفت. بررسی‌های آماری از اطلاعات تولید و مصرف، نشان داد بیش از ۶۰ درصد هدررفت آب در شبکه اتفاق می‌افتد. بیش‌ترین مصرف آب مشترکین به‌ترتیب مربوط به گروه مسکونی با ۶۰ درصد و گروه عام‌المنفعه با ۱۳ درصد است. دلیل میزان مصرف بالای گروه عام‌المنفعه قرارگیری امام‌زاده علی صالح(ع) در این گروه است. هم‌چنین گروه فضای سبز سالانه ۶۰۰۰ مترمکعب آب تصفیه‌شده را مصرف می‌کنند. پیشنهاد می‌شود شرکت آب و فاضلاب از ارائه خدمات به این گروه خودداری کند. هم‌چنین با تحلیل نرم‌افزاری شبکه توزیع آب، بیش از ۹۰ درصد شبکه دارای فشار استاتیکی بین ۳۵ تا ۵۵ متر آب می‌باشد. می‌توان با نصب یک

در این مرحله نسبت به حفاری محل تبدیل لوله پلی‌اتیلن ۱۱۰ به ۱۶۰ اقدام و معلوم شد در این مکان هیچ‌گونه نشتی وجود ندارد. هم‌چنین با بررسی منطقه معلوم شد مانند منطقه شماره ۵ یک لوله گاز در نزدیکی این لوله عبور کرده است و صدای گاز عبوری از لوله گاز باعث خطای دستگاه نشت‌یاب شد، اما با توجه به دبی‌سنجی‌های صورت‌گرفته و تفاوت ۱۰ متر آب فشار اندازه‌گیری‌شده با فشار محاسبه‌شده با نرم‌افزار و هم‌چنین سرعت بالای ۲ متر بر ثانیه در لوله پلی‌اتیلن ۱۱۰ میلی‌متر، احتمال شکستگی در طول این لوله بسیار بالا به‌نظر می‌رسد. با توجه به جدول فوق و دبی‌سنجی‌های مختلف در چندین شب، حداقل دبی ورودی به شبکه، عددی بین ۱۵ تا ۱۶/۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد که عدد بسیار بالایی است. با توجه به اندازه‌گیری‌های صورت‌گرفته مشخص شد که در قسمت بالایی زون ۱ حدود ۵ لیتر بر ثانیه و در لوله پلی‌اتیلن ۱۱۰ میلی‌متر در ابتدای شبکه توزیع در زون ۱ حدود ۷ لیتر بر ثانیه و در زون ۳ نیز حدود ۴ لیتر بر ثانیه هدررفت آب وجود دارد. هم‌چنین می‌توان گفت که در زون ۲ هیچ‌گونه شکستگی یا نشت بزرگی وجود ندارد. هم‌چنین بخشی از اختلاف بین میزان حجم تولید آب و میزان مصرف مشترکین ناشی از نشت در

پی‌نوشت‌ها

1. Imperialist Competitive Algorithm
2. Pressure Reducing Valve (PRV)
3. Desalination
4. Reverse Osmosis
5. As Built
6. Ultrasonic
7. Total Dissolved Solides (TDS)
8. Electrical Conductivity (EC)
9. Power hydrogen (PH)
10. Turbidity
11. Gate Valve

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Attari, M., Mogharabi, M., & Menavarian, A. (2017). Application of pressure node measurement method in leak detection. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 47 (2), 53–62. (In Persian)
2. Ayad, A., Khalifa, A., Fawy, M., & Moawad, A. (2021). An integrated approach for non-revenue water reduction in water distribution networks based on field activities, optimisation, and GIS applications. *Ain Shams Engineering Journal*. (In Press)
3. Caballero, J., & Ravagnani, A. (2019) Water distribution networks optimization considering unknown flow directions and pipe diameters. *Computers and Chemical Engineering*, 127, 41–48.
4. Covelli, C., Cozzolino, L., Cimorelli, L., Della Morte, R., & Pianese, D. (2016). Optimal location and setting of PRVs in WDS for leakage minimization. *Water Resources Management Journal*, 30(5), 1803–1817.
5. Gerard Sanz, G., & Ramon Perez, R. (2015). Comparison of demand calibration in water distribution networks using pressure and flow sensors. 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI. *Procedia Engineering*, 119, 771–780.
6. Juan Saldarriaga, J., & Salcedo, A. (2015). Determination of optimal location and settings of Pressure Reducing Valves in Water Distribution Networks for minimizing water losses. 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI 2015. *Procedia Engineering*, 119, 973–983.

فشارشکن در ابتدای ورودی زون ۱ و یک فشارشکن در ابتدای قبرستان‌ها، فشار استاتیکی شبکه را تا حدی کاهش داد. هم‌چنین سرعت جریان در ۸۴ درصد لوله‌ها کم‌تر از ۰/۳ متر بر ثانیه است. ۵۵ درصد شبکه توزیع آب لوله ۱۱۰ میلی‌متر می‌باشد و دلیل اصلی سرعت‌پایین در لوله‌ها همین موضوع است. برخلاف بخش بزرگی از شبکه، سرعت جریان در لوله پلی‌اتیلن ۱۱۰ میلی‌متر ابتدای زون ۱، ۲ متر بر ثانیه است که این امر به‌مرورزمان باعث استهلاک در لوله و اتصالات می‌شود. دبی‌سنجی این خط لوله در ساعت‌های اولیه بامداد، دبی عبوری از این لوله را ۷ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد که این مقدار احتمال وجود شکستگی یا نشت زیاد در این خط لوله را نشان می‌دهد.

لذا پیشنهاد می‌شود جهت بهره‌برداری مناسب از نظر پایداری سرعت و هم‌چنین رفع نشت احتمالی در این لوله نسبت به تعویض آن با لوله پلی‌اتیلن ۲۰۰ میلی‌متر با فشار کاری ۱۰ بار اقدام شود. در بررسی‌های میدانی در مناطق پر ریسک شبکه، سه لوله ۳۲، ۶۳ و ۳۰۰ میلی‌متر دچار شکستگی شده بودند که ترمیم شدند. با توجه به دبی‌سنجی دوباره این خطوط، کاهش هدررفت آب به میزان ۲۰ درصد را نشان می‌دهد. هم‌چنین دو نقطه پر ریسک دیگر نیز توسط دستگاه نشت‌یاب شناسایی شده بودند که با انجام حفاری مشخص شد هیچ‌گونه نشتی در این نقاط وجود ندارد. دلیل خطای دستگاه نشت‌یاب در این خصوص، وجود لوله گاز در مجاورت و به‌موازات لوله آب بوده است. هم‌چنین بررسی مخزن ۲۵۰۰ مترمکعبی نشان داد از زیر پی و بدنه این مخزن نیز نشت فراوانی صورت می‌گیرد. در پایان با توجه به این‌که اندازه‌گیری دبی شبانه (حداقل مصرف) که ۱۵ لیتر بر ثانیه را نشان می‌دهد، پیشنهاد می‌شود با بازدیدهای مستمر و بررسی دقیق‌تر مناطق پر ریسک نسبت به کاهش هدررفت بالای آب اقدام شود.

7. Lambert, A., & Fantozzi, M. (2010). Recent developments in pressure management. In *Proceedings of IWA Conference Water Loss* ' 6th-9th June, Sao Paolo, Brazil.
8. Li, W., Ling, W., Liu, S., Zhao, J., Liu, R., Chen, Q., Qiang, Z., & Qu, J. (2011). Development of system for detection, early warning, and control of pipeline leakage in drinking water distribution: A case study. *Journal of Environmental Science*, 23(11), 1816–1822.
9. Luigi Berardi, L., Simone, A., Laucelli, D., & Giustolisi, O. (2017). Feasibility of mass balance approach to Water Distribution Network model calibration. *Procedia Engineering*, 186, 551–558.
10. Moasheri, R., Ghazizadeh, M.R., & Tashayoei, M.R. (2021). Leakage detection in water networks by a calibration method. *Flow Measurement and Instrumentation*, 80, 101995.
11. Sabet, M., Nasirian, A., Mohtasham, M., & Ahrari, M. (2019). Determination of value and location of the leakage in water distribution networks using calibration (Case Study: The water distribution network of Golbahar, Khorasan Razavi). *Journal of Water and Wastewater*, 30(6), 119–125. (In Persian)
12. Satarzadeh, A., Khezri, M., & Fazeli, M, R. (2015). In the plans of modification and development of water distribution networks to WaterGEMS, the use of modeling software in order to reduce the real waste and present the hydraulic model of Nasim Shahr. The Second National Conference on Water Crisis, Shahrekord University, Iran. (In Persian)
13. Shekofteh, M., Ghazizadeh, M., & Yazdi, J. (2018). Finding the Leakage Range in Separate Areas of Water Distribution Networks (DMA). 2nd Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering, Isfahan University of Technology, Iran, 67–79. (In Persian)
14. Tabesh, M., & Vaseti, M.M. (2006). Leakage Reduction in Water Distribution Networks by Minimizing the Excess Pressure. *Journal of IranWater Resources Research*, 2(2), 53–66. (In Persian)
15. Taj Abadi, Y., Jalili Ghazizadeh, M., & Moslehi, I. (2018). A field data-based method to determine the pressure-burst relationships in urban water distribution networks. *Environmental Sciences*. 16(1), 127–140. (In Persian)
16. Vrachimis, G., Timotheou, S., Demetri, N., Marios, M., & Polycarpou, M. (2021). Leakage Detection and Localization in Water Distribution Systems: a Model Invalidation Approach. *Control Engineering Practice*, 110, 104755.
17. Weber, R., Huzsvár, T., & Hos, C. (2020). Vulnerability analysis of water distribution networks to accidental pipe burst. *Water Research*, 184(1), 1-11.