

مدل سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شرب شهرک بزین شهر شیراز

اکبر روان قلاتی^۱ و سید حمید احمدی^{۲*}

چکیده

اهمیت تحلیل و بررسی دقیق شبکه‌های آب‌رسانی شهری در وضعیت کمبود و بحران آب بیش از پیش نمایان می‌شود. در این پژوهش شبکه توزیع آب شهرک بزین واقع در غرب شهر شیراز بررسی شده است. روش استفاده شده در این پژوهش، مدل سازی شبکه توزیع آب با اعمال ضرایب مصرف ساعتی و ماهانه در محیط نرم‌افزار واتر جمز است. با اندازه‌گیری میدانی فشار ۹ گره (محل تحویل آب) در شبکه، مدل با مقدار شاخص خطای جذر میانگین مربعات برابر ۶/۸ متر ستون آب صحت سنجی شد. پس از اجرای مدل و بررسی پارامترهای هیدرولیکی، مشخص شد مقادیر سرعت در بیش از ۹۵ درصد لوله‌ها، در ماه حداکثر مصرف مشترکین (مرداد)، کمتر از مقدار ۰/۳ متر بر ثانیه که حداقل مقدار پیشنهاد شده برای جلوگیری از رسوب‌گذاری است. در این شبکه، مقادیر فشار در بیش از ۵۰ درصد گره‌ها، از مقدار ۵ اتمسفر، بیشتر است. پایین بودن مقدار سرعت در لوله‌ها باعث افزایش احتمال رسوب‌گذاری و بالا بودن فشار در لوله‌ها باعث تشدید نشت و افزایش احتمال ترکیدگی در ساعت‌های اوج فشار می‌شود. با بررسی پارامترهای هیدرولیکی شبکه، می‌توان استنباط کرد مهم‌ترین علتی که منجر به عدم ایجاد وضعیت هیدرولیکی بهینه در این شبکه توزیع شده، استفاده از لوله‌هایی با قطر زیاد از جمله ۱۵۰، ۱۱۰، ۱۰۰ و ۸۰ میلی‌متر در شبکه است. نتایج این پژوهش لزوم تعیین دقیق مقادیر نیاز مشترکین بر حسب ضرایب مصرف ساعتی و ماهانه برای طراحی بهینه یک شبکه توزیع آب و تحلیل این شبکه‌ها به روش شبیه‌سازی دوره گسترش یافته، برای ارزیابی و اصلاح مشکلات موجود شبکه‌های توزیع آب فعلی را بیان می‌کند.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع آب، شبیه‌سازی دوره گسترش یافته، ضریب مصرف ساعتی، ضریب مصرف ماهانه، نرم‌افزار WaterGEMS.

ارجاع: روان قلاتی، ا. و احمدی س. ح. ۱۳۹۷. مدل سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شرب شهرک بزین شهر شیراز. مجله پژوهش آب ایران. ۱۰۸-۹۹: ۳۰.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استادیار بخش آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲- پژوهشگر مرکز مطالعات خشکسالی، دانشگاه شیراز.

* نویسنده مسئول: seyedhamid.ahmadi@gmail.com

تاریخ پذیرش: 1396/08/21

تاریخ دریافت: 1395/08/28

مقدمه

امروزه تأمین آب شرب، به یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های جوامع بشری تبدیل شده است و خطرهای ناشی از نبود و کمبود آب و همچنین هدررفت آب بر هیچ‌کس پوشیده نیست. یکی از قسمت‌هایی که سهم به‌سزایی در هدررفت آب تصفیه شده دارد، اشکالات سیستم توزیع آب است. طراحی یا گسترش یک شبکه توزیع آب ملزم به انتخاب الگوریتم کارکرد سیستم و همچنین، نوع و اندازه اجزای هیدرولیکی سیستم است. اشکالات شبکه توزیع آب می‌تواند شامل نشت در شبکه لوله‌ها، ترکیدگی لوله‌ها، کم یا بیش از حد زیاد بودن سرعت جریان در لوله‌ها، مناسب نبودن فشار تحویل آب به مصرف‌کنندگان و غیره باشد. کارکرد نامناسب شبکه‌های توزیع آب باعث بروز نارضایتی مصرف‌کنندگان، متحمل شدن هزینه‌های بسیار زیاد بر دستگاه‌های مسئول و مهم‌تر از همه، موجب هدررفت آب به‌عنوان سرمایه‌ای جبران‌ناپذیر می‌شود. از این‌رو طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب به‌عنوان سازه‌ای پیچیده و بسیار پرهزینه، کانون توجه بسیاری از پژوهشگران سراسر جهان قرار گرفته است.

تابش و دینی (۱۳۸۹) به برآورد میزان تقاضای روزانه آب تهران با استفاده از روش شبکه مصنوعی پرداختند و با توجه به نتایج حاصل، بیان کردند مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی در مقایسه با مدل‌های نروفازی و روش‌های سری زمانی از قابلیت بالاتری برای مدل‌سازی میزان تقاضای آب شهری برخوردار هستند. انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳) با استفاده از تست گاما به نحوه تأثیرگذاری تقریباً تمام عوامل (۲۷ مورد) بر میزان تقاضای آب شهر نیشابور پرداختند. نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که عوامل تأثیرگذار بر دوره‌های زمانی کوتاه مدت و بلند مدت با هم متفاوت است که این امر لزوم پیش‌بینی سیاست‌های مجزا در مدیریت مصرف با دوره‌های زمانی مختلف را بیان می‌کند. از جمله روش‌های تحلیل و بررسی شبکه‌های توزیع آب در زمینه ارتقا عملکرد و بهبود بازده این سازه‌ها، استفاده از مدل‌های کامپیوتری و ریاضی است. مورانهو و همکاران (۲۰۱۴) به روش تحلیل جریان در وضعیت کمبود فشار با استفاده از الحاقیه WaterNetGen که به همین منظور به مدل EPANET اضافه شده است، پرداخت. نتایج ارائه شده بیان می‌کند اضافه کردن این الحاقیه به مدل EPANET

می‌تواند موجب شود که مدل علاوه بر تحلیل حالت‌های تأمین نیاز آبی و تأمین فشار قادر به تحلیل هم‌زمان شبکه در وضعیت کمبود فشار نیز باشد. شارونی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی عملکرد شبکه‌های توزیع آب در وضعیت بحرانی مانند ترکیدگی یا شکستگی لوله‌ها، استفاده مضاعف آب در وضعیت اطفاء حریق و سایر مواردی که منجر به کمبود فشار در شبکه خواهد شد، پرداختند. ایشان با بیان این نکته که روش تحلیل تقاضا محور (تقاضای آب در نقاط مصرف شبکه معلوم بوده و بدون توجه به فشار جریان خروجی نقاط مصرف برابر میزان تقاضا قرار داده می‌شود) باعث انحراف زیاد از وضعیت واقعی می‌شود، سه روش شبیه‌سازی شبکه توزیع آب در حالت کمبود فشار را در شبکه توزیع آب ناحیه یک شهر ایلام بررسی و مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوریتم تقاضای وابسته به فشار^۱ موجود در نرم‌افزار WaterGEMS و روش استفاده توأم از شیر یک‌طرفه، شیر کنترل جریان و قطره‌چکان فرضی در هر گره تقاضا (پیشنهاد شده توسط عبدی سید و همکاران، ۲۰۱۴) نتایج نزدیک به هم دارند و نسبت به روش تحلیل شبکه در حالت کمبود فشار با استفاده از روابط حاکم بر فشار گره و میزان دبی خروجی ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف (جرمنوپولوس، ۱۹۸۵؛ واگنر و همکاران، ۱۹۸۸؛ فوجیوارا، ۱۹۸۸؛ تاکیارالی و همکاران، ۱۹۹۹؛ تانیمبو و تمپلمن، ۲۰۱۰) از نظر دقت و سرعت رسیدن به جواب ارجحیت دارد.

سلطانی اصل و فغفور مغربی (۱۳۸۸) با هدف تعیین اثر فشار بر میزان نشت شبکه‌های توزیع آب، منطقه سرافرازان مشهد را در نرم‌افزار EPANET شبیه‌سازی کردند. در این پژوهش شیرهای فشارشکن با برنامه زمانی تعبیه شدند؛ به نحوی که این شیرها حداقل فشار مورد نیاز در کم فشارترین نقطه شبکه را تأمین کنند. بررسی نتایج نشان داد که با اعمال این برنامه زمانی نشت شبانه به میزان ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. جهانگیر و همکاران (۱۳۹۲) با انجام پژوهشی مشابه در مجتمع آبرسانی دوحصاران استان خراسان جنوبی، به بررسی اثر مدیریت هوشمند فشار در شبکه توزیع آب بر میزان مصرف و میزان نشت با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS

1- Pressure Demand Dependent

میلی‌متری تشکیل شده است که جنس این لوله‌ها آزیست، پلی‌اتیلن و پی‌وی‌سی است. برای برآورد نیاز آبی شبکه و ضرایب حداکثر مصرف، اطلاعات ثبت شده در طول سال ۱۳۹۱، توسط جریان‌سنج مغناطیسی موجود در ابتدای انشعاب ورودی به شهرک، جمع‌آوری شد و مبنای کار قرار گرفت. این اطلاعات شامل مقادیر دبی و فشار جریان است که به فواصل زمانی ۱۵ دقیقه‌ای توسط دستگاه ثبت و به پایگاه داده‌ها فرستاده می‌شود.



شکل ۱- نقشه شهرک بزین

تحلیل هیدرولیکی

برای مدل‌سازی شبکه توزیع آب این شهرک، از نرم‌افزار WaterGEMS SELECTseries1 استفاده شده است. نرم‌افزار WaterGEMS قادر به مدل‌سازی به دو صورت شبیه‌سازی حالت ایستا^۱ و شبیه‌سازی دوره گسترش یافته است. در شبیه‌سازی به صورت ایستا مصرف گره‌های شبکه در طول زمان‌های مختلف سال ثابت است. این در حالی است که در حالت شبیه‌سازی دوره گسترش یافته با اعمال ضرایب مصرف در زمان‌های مختلف روز و سال، می‌توان نوسانات شبکه را به خوبی رصد کرد. روش مورد استفاده در پژوهش حاضر شبیه‌سازی دوره گسترش یافته است. برای ایجاد حالت شبیه‌سازی دوره گسترش یافته در نرم‌افزار WaterGEMS نیاز به محاسبه ضرایب زمانی مصرف است، بدین صورت که با اعمال ضرایب ساعتی، هفتگی و ماهانه در مقدار نیاز آبی میانگین مصرف شبکه، نیاز آبی در تمام ساعات یک روز، هفته و ماه به طور دقیق

پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد کنترل هوشمند فشار (استفاده از شیر فشارشکن کنترلی و تنظیم زمانی فشار خروجی شیرها طبق الگوی زمانی خاص) روشی مناسب برای مدیریت مصرف بهینه آب و کاهش قابل توجه نشت در شبکه توزیع آب است.

با توجه به پژوهش‌های ارائه شده می‌توان استنباط کرد مدیریت اصولی و سیاست‌گذاری کاربردی در طراحی شبکه‌های توزیع آب مستلزم پیش‌بینی رفتار این سیستم‌ها در وضعیت مختلف است. هدف پژوهش حاضر شبیه‌سازی یک شبکه توزیع آب فعال با در نظر گرفتن نیاز آبی متغیر (بسته به ماه و ساعت موردنظر) بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده است. همچنین ارزیابی میزان انطباق پارامترهای هیدرولیکی شبکه نظیر سرعت جریان، فشار آب در نقاط مصرف و سایر پارامترها با استانداردهای موجود مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این پژوهش، یک شهرک در غرب شهر شیراز برای مدل‌سازی سیستم توزیع آب با اهداف بیان شده انتخاب شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی

در این پژوهش، شهرک بزین با مساحت کل ۷۷ هکتار و مساحت تحت سکونت ۳۴ هکتار، با جمعیتی حدود ۷۶۰۰ نفر واقع در غرب شیراز، به‌عنوان منطقه مطالعاتی برگزیده شد. آرایش خیابان‌های این منطقه بدین صورت است که از یک خیابان اصلی تشکیل شده و سایر خیابان‌ها و کوچه‌ها از این خیابان منشعب می‌شوند (شکل ۱). شیب غرب به شرق و شمال به جنوب زمین به ترتیب برابر با ۲/۵۹ و ۱/۱۱ درصد است.

اطلاعات و داده‌ها

اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی شبکه توزیع آب شامل توپوگرافی منطقه، نقشه جانمایی لوله‌ها و اطلاعات مربوط به جنس، قطر لوله‌ها و همچنین سایر اطلاعات هیدرولیکی شبکه است (امیری، ۱۳۹۲). شهرک بزین به وسیله یک انشعاب به قطر ۱۵۰ میلی‌متر از خط انتقال به قطر ۳۰۰ میلی‌متر که از مخزن ۲۰ هزار مترمکعبی دوکوهک شروع شده و به سمت شرق شیراز ادامه پیدا کرده است، آبرسانی می‌شود. شبکه توزیع آب شهرک بزین از لوله‌هایی به قطرهای ۱۵۰، ۱۱۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۳

1- Static

صحت‌سنجی

در این پژوهش برای صحت‌سنجی عملکرد مدل، تعدادی گره از نقاط مختلف شبکه انتخاب و فشار این گره‌ها به‌صورت میدانی اندازه‌گیری و با نتایج حاصل از مدل مقایسه شد. برای انجام مقایسه نتایج از معیار آماری خطای جذر میانگین مربعات استفاده شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (H_m - H_c)^2} \quad (۴)$$

در این معادله H_m و H_c ، به‌ترتیب میزان فشار اندازه‌گیری شده و فشار محاسبه شده توسط مدل و n تعداد داده‌های مورد ارزیابی است. پس از هر بار محاسبه شاخص آماری مذکور، ضرایب مصرف واسنجی شده و مدل دوباره اجرا می‌شود. این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که شاخص آماری RMSE به حد قابل‌پذیرشی با توجه به حساسیت و میزان دقت موردنظر برسد.

نتایج و بحث

پس از مدل‌سازی، تعداد شاخه لوله‌ها و گره‌های تحویل آب در سیستم توزیع آب شبکه مورد مطالعه به‌ترتیب برابر ۲۳۸ و ۲۵۰ عدد، حاصل شد.

با بررسی داده‌های ثبت شده توسط جریان‌سنج در سال (۱۳۹۱)، حجم کل آب ورودی به شهرک، ۴۷۱۲۶۱ مترمکعب محاسبه شد. شهرک مورد مطالعه دارای ۱۹۰۷ مشترک است، با احتساب بعد ۴ برای هر خانوار میزان سرانه مصرف برای هر نفر ۱۷۰ لیتر بر روز محاسبه می‌شود. میزان سرانه مصرف خانگی توصیه‌شده طبق نشریه ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال آب، بین ۱۳۰ تا ۱۵۰ لیتر بر روز بر نفر است برای شهرهای دارای جمعیت بیش از پانصد هزار نفر است که این مقدار بدون احتساب آب به حساب نیامده در شبکه است (استاندارد ۳-۱۱۷). حداکثر مقدار آب به حساب نیامده در شبکه، نباید بیش از ۱۵ درصد سرانه مصرف باشد (استاندارد ۳-۱۱۷)؛ از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که مصرف آب در این شبکه، در محدوده استاندارد مصرف قرار دارد. شکل ۲ نشان‌دهنده میزان مصرف روزانه آب در کل شهرک در طول سال ۱۳۹۱ و شکل ۳ نیز میانگین مصرف آب کل شهرک به تفکیک هر ماه است.

با بررسی اطلاعات ثبت شده توسط جریان‌سنج نصب شده روی خط لوله ورودی به شهرک، مشخص شد میزان فشار

محاسبه می‌شود. ضریب مصرف ماهانه (MDF_i)^۱ در هر یک از ماه‌های سال برابر نسبت میانگین مصرف همان ماه (AMD_i)^۲ به میانگین مصرف ماهانه در کل سال (AMD_{total}) است:

$$MDF_i = \frac{AMD_i}{AMD_{total}}, i = 1, 2, \dots, 12 \quad (۱)$$

ضریب مصرف ساعتی در هر یک از ساعت‌های روز (HDF_i)^۳ نیز برابر نسبت میانگین مصرف ساعتی در همان ساعت (AHD_i)^۴ به میانگین مصرف ساعتی در کل سال (AHD_{total}) است:

$$HDF_i = \frac{AHD_i}{AHD_{total}}, i = 1, 2, \dots, 24 \quad (۲)$$

به علت تفاوت ناچیز مقدار آب مصرفی در روزهای یک هفته از محاسبه و اعمال ضرایب هفتگی در مدل‌سازی صرف نظر شد.

مبنای طراحی شبکه‌های توزیع آب، تأمین نیاز مصرف‌کنندگان در زمان حداکثر مصرف است. برای محاسبه میزان حداکثر مصرف در شبکه توزیع، ضریب حداکثر مصرف (PF)^۵ تعریف می‌شود. مقدار این ضریب از حاصل‌ضرب مقادیر حداکثر ضریب روزانه، ساعتی و هفتگی (در صورت وجود)، محاسبه می‌شود. استاندارد ملی ۳-۱۱۷ معادله (۳) را برای محاسبه مقدار ضریب حداکثر مصرف (PF)، معرفی می‌کند.

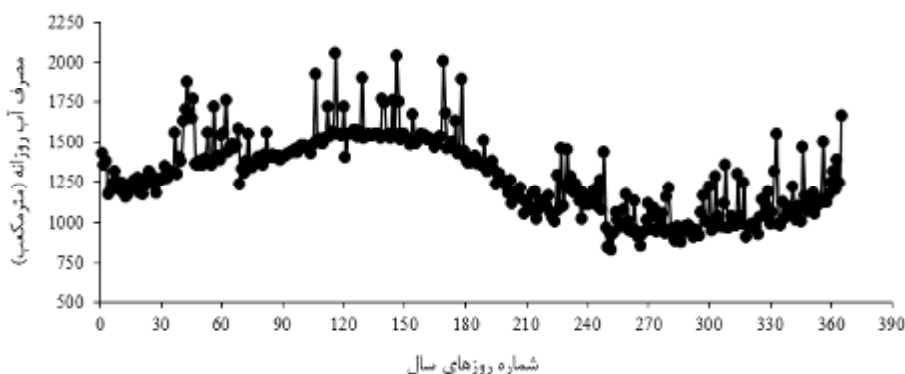
در معادله (۳)، C_1 ضریب حداکثر مصرف روزانه که با توجه به نوع منطقه آب و هوایی و C_2 ضریب حداکثر مصرف ساعتی است که با توجه به تعداد نفرات تحت پوشش مخزن تعیین می‌شود.

برای محاسبه نیاز آبی هر گره تعداد افراد تحت پوشش هر گره با استفاده از تراکم جمعیت و مساحت تحت پوشش محاسبه و با توجه به میزان متوسط سرانه مصرف هر نفر، میزان نیاز آبی هر گره محاسبه شد. پس از این مرحله، اطلاعات مربوط به قطر، جنس و نیاز آبی هر گره و مقادیر ضرایب ساعتی و ماهانه مصرف به‌عنوان داده ورودی به مدل داده و مدل اجرا می‌شود.

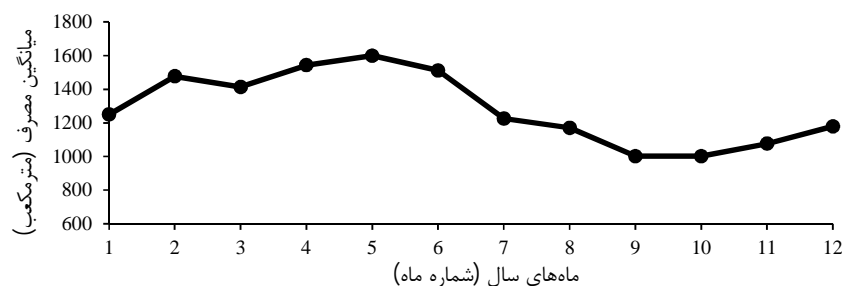
1- Monthly Demand Factor
2- Averaged Monthly Demand
3- Hourly Demand Factor
4- Averaged Hourly Demand
5- Peak Factor

شهرک، به یک مخزن با ارتفاع ۶۰ متر، این وضعیت فشاری شبکه شبیه‌سازی شد.

متوسط ورودی به شبکه در طول سال، برابر ۶ اتمسفر است. برای شبیه‌سازی این شبکه با اتصال لوله ورودی



شکل ۲- مصرف روزانه آب شهرک بuzin در سال ۱۳۹۱



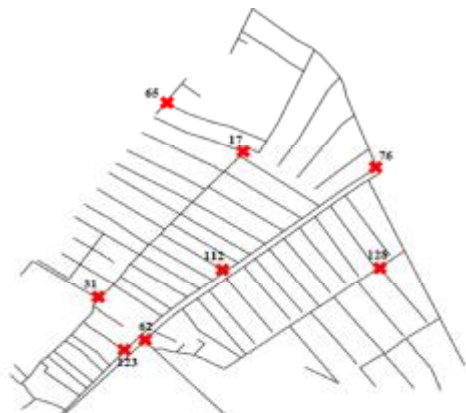
شکل ۳- مصرف ماهانه میانگین آب شهرک بuzin در سال ۱۳۹۱

تقاضای واقعی با مقدار پیشنهاد شده توسط استاندارد ملی ۱۱۷-۳، لزوم محلی‌سازی پارامترهای لازم برای طراحی شبکه‌های توزیع آب را بیان کرد. پژوهشگران در پژوهش مذکور، اختلافی بیش از ۲۷ درصد با مقدار ضریب حداکثر پیشنهادی استاندارد ملی در یکی از مناطق مورد مطالعه را گزارش کردند. بیشتر بودن ضریب حداکثر منطقه مورد مطالعه از مقدار پیشنهادی در پژوهش مذکور و کمتر بودن ضرایب محاسبه شده در این پژوهش از ضرایب پیشنهادی، نشان دهنده این است که با اعمال منطقه آب و هوایی و جمعیت، محاسبه دقیق ضریب حداکثر در یک منطقه مقدور و عوامل تأثیرگذار دیگری وجود دارند که لزوم پژوهش‌های بیشتر در این زمینه برای تجدید نظر در آیین‌نامه‌های طراحی را می‌طلبد.

پس از مدل‌سازی شبکه، اعمال مقادیر نیاز آبی هر یک از گره‌ها و تعریف الگوی مصرف بر حسب ضرایب ساعتی و ماهانه، مدل اجرا شد و نتایج اولیه به دست می‌آیند. در این مرحله از شبیه‌سازی برای واسنجی مدل شبکه توزیع

مقادیر ضرایب ساعتی و ماهانه به ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. مقدار ضریب حداکثر مصرف شبکه از حاصل ضرب، ضریب مصرف ماهانه در ماه مرداد و ضریب مصرف ساعتی در ساعت ۱۳، به دست می‌آید. ضریب حداکثر مصرف در این شبکه با توجه به مقادیر ارائه شده، ۲/۰۶ به دست می‌آید.

مقدار ضریب حداکثر مصرف با توجه به معادله (۳) و شیوه انتخاب ضرایب C_1 و C_2 به مقداری بین ۲/۷ تا ۳/۸ محاسبه می‌شود. با مقایسه مقدار این ضریب و مقدار محاسبه شده توسط داده‌های ثبت شده، اختلافی بین ۰/۷ تا ۱/۷ مشاهده می‌شود که این اختلاف منجر به طراحی لوله‌ها و سایر اجزای هیدرولیکی شبکه بر مبنای ظرفیتی فراتر از حد نیاز شبکه خواهد شد. این امر علاوه بر صرف هزینه‌های غیرضروری برای طراحی، اجرا و نگهداری شبکه موجب عدم عملکرد مطلوب شبکه توزیع آب می‌شود. مرادی سبزوکی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی میدانی ضریب حداکثر تقاضا مقدار اختلاف ضریب حداکثر



شکل ۴- محل گره‌های انتخاب شده برای اندازه‌گیری میدانی فشار آب در شهرک بزین

جدول ۳- مقایسه نتایج مدل قبل از صحت‌سنجی با داده‌های اندازه‌گیری شده

شماره گره	فشار اندازه‌گیری شده (متر ستون آب)	فشار محاسبه شده (متر ستون آب)	RMSE (متر ستون آب)
۷۶	۵۳/۶	۵۹/۳	۷/۲۳۷
۱۲۸	۵۱/۸	۶۲/۷	
۱۷	۴۱	۴۹/۹	
۶۵	۴۵/۷	۴۰/۱	
۱۱۲	۴۵/۹	۵۲/۸	
۳۱	۳۶/۸	۴۳/۱	
۶۲	۴۳	۴۸/۶	
۱۲۳	۵۳/۶	۴۷/۴	

جدول ۴- مقایسه نتایج مدل بعد از صحت‌سنجی با داده‌های اندازه‌گیری شده

شماره گره	فشار اندازه‌گیری شده (متر ستون آب)	فشار محاسبه شده (متر ستون آب)	RMSE (متر ستون آب)
۷۶	۵۳/۶	۵۸/۸	۶/۸۱
۱۲۸	۵۱/۸	۶۱/۹	
۱۷	۴۱	۴۸/۹	
۶۵	۴۵/۷	۳۹/۳	
۱۱۲	۴۵/۹	۵۱/۸	
۳۱	۳۶/۸	۴۲/۱	
۶۲	۴۳	۴۷/۶	
۱۲۳	۵۳/۶	۴۶/۴	

با اجرای مدل، مقادیر کمیت‌های هیدرولیکی از قبیل دبی جریان، سرعت جریان، فشار در گره‌های تحویل آب، تراز انرژی هیدرولیکی و سایر پارامترها در طول روزهای سال

آب، از شاخص RMSE و مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده فشار در هشت گره تحویل آب از نقاط مختلف شبکه (شکل ۴) با نتایج شبیه‌سازی مدل استفاده شد. جدول ۳ نشان‌دهنده مقادیر اولیه به دست آمده از مدل، مقادیر اندازه‌گیری شده و شاخص RMSE است.

برای واسنجی دقیق مدل، با کاهش ضریب زبری لوله‌های شبکه (مقادیر پیش فرض نرم‌افزار) به میزان ۳۰ واحد و افزایش ۱۵ درصدی مقادیر ضرایب ساعتی مصرف، مدل دوباره اجرا شد. جدول ۴ نتایج اجرای مدل را پس از اصلاح ویژگی‌های فیزیکی لوله‌های موجود در شبکه را نشان می‌دهد. حداکثر اختلاف بین مقادیر به دست آمده از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده در گره‌های شماره ۱۷ و ۱۲۸ به میزان ۱۹ درصد است. با قبول میزان خطای ۱۹ درصد و مقدار ۶/۸۱ متر ستون آب برای شاخص خطای جذر میانگین مربعات، مدل واسنجی و تحلیل‌های پیش‌رو با مدل مذکور انجام شده است.

جدول ۱- ضرایب مصرف ساعتی شهرک بزین در سال ۱۳۹۱

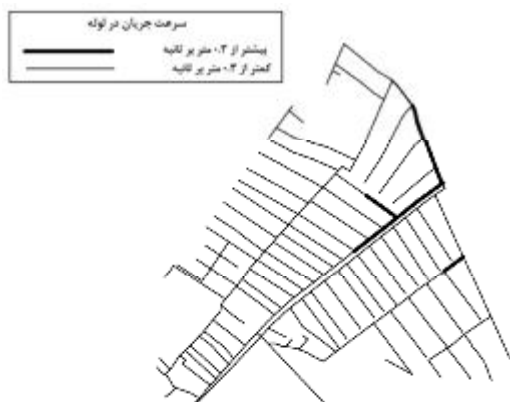
زمان (ساعت)	ضریب مصرف	زمان (ساعت)	ضریب مصرف
۱	۰/۵۶	۱۳	۱/۶۶
۲	۰/۴۵	۱۴	۱/۵۵
۳	۰/۴۴	۱۵	۱/۳۷
۴	۰/۴۱	۱۶	۱/۴۳
۵	۰/۴۸	۱۷	۱/۵۱
۶	۰/۷۶	۱۸	۱/۵۳
۷	۰/۹۳	۱۹	۱/۴۱
۸	۱/۲۱	۲۰	۱/۳۶
۹	۱/۵۳	۲۱	۱/۱۹
۱۰	۱/۶۱	۲۲	۱/۱۳
۱۱	۱/۵۹	۲۳	۱/۰۳
۱۲	۱/۶۱	۲۴	۰/۸۵

جدول ۲- ضرایب مصرف ماهانه شهرک بزین در سال ۱۳۹۱

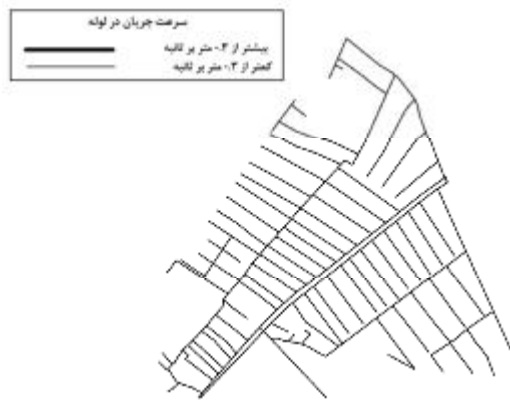
ماه	ضریب مصرف	ماه	ضریب مصرف
فروردین	۰/۹۷	مهر	۰/۹۵
اردیبهشت	۱/۱۴	آبان	۰/۹۱
خرداد	۱/۰۹	آذر	۰/۷۸
تیر	۱/۱۹	دی	۰/۷۷
مرداد	۱/۲۴	بهمن	۰/۸۳
شهریور	۱/۱۷	اسفند	۰/۹۱

شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب توزیع سرعت لوله‌های شبکه در ساعت ۱۳ روز اول ماه مرداد و ساعت ۴ روز اول ماه دی را نشان می‌دهد.

شکل ۷ نشان می‌دهد که در زمان بیشینه مصرف در شبکه، تنها لوله‌هایی سرعت مطلوبی دارند که در ابتدای شبکه قرار دارند. شکل ۸ بیان‌کننده این است که در هیچ یک از لوله‌ها در زمان کمینه مصرف شبکه، سرعت عبوری جریان بیش از ۰/۳ متر بر ثانیه نیست. با توجه به این شکل‌ها می‌توان بیان کرد میزان سرعت در تمام لوله‌های شبکه پایین‌تر از حد استاندارد است و تنها در تعداد کمی از لوله‌های ابتدایی شبکه که حامل مقدار جریان زیادی از آب هستند، سرعت بیشتر از ۰/۳ متر بر ثانیه است.



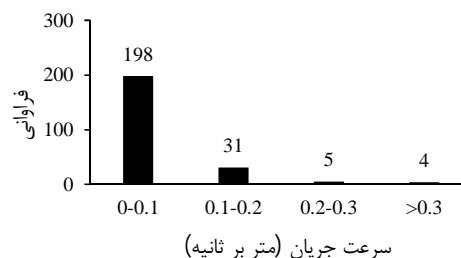
شکل ۷- توزیع سرعت جریان عبوری از لوله‌های شبکه توزیع آب شهرک بزین در ساعت ۱۳ روز اول مرداد ماه سال ۱۳۹۱



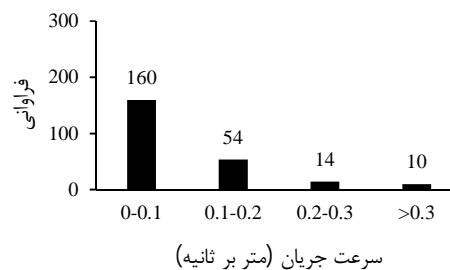
شکل ۸- توزیع سرعت جریان عبوری از لوله‌های شبکه توزیع آب شهرک بزین در ساعت ۴ روز اول دی سال ۱۳۹۱

شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب نشان‌دهنده خطوط هم فشار در ساعت ۱۳ روز اول مرداد ماه و خطوط هم فشار در

(۱۳۹۱) با گام یک ساعت به دست آمد. شکل ۵ هیستوگرام فراوانی میانگین سرعت جریان عبوری در ماه دی در لوله‌های شبکه توزیع آب شهرک بزین را نشان می‌دهد. این شکل بیان‌کننده این است که فقط در ۴ شاخه لوله از کل لوله‌های شبکه، سرعت آبی بیش از ۰/۳ متر بر ثانیه است. برای مشاهده تأثیر میزان مصرف آب بر سرعت جریان در لوله‌ها، هیستوگرام فراوانی سرعت میانگین جریان عبوری لوله‌ها در ماه مرداد نیز در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود تعداد لوله‌هایی که سرعت جریانی بیش از ۰/۳ متر بر ثانیه دارند، در ماه بیشینه مصرف نیز به عدد ۱۰ رسیده است. از مقایسه دو هیستوگرام استنباط می‌شود که افزایش میزان تقاضا در افزایش سرعت جریان عبوری از لوله‌ها تأثیر قابل توجهی نخواهد داشت. مقایسه سرعت جریان در ماه‌های دی و مرداد که به ترتیب حداقل و حداکثر میزان مصرف در شبکه اتفاق می‌افتد و توجه به این نکته که میزان سرانه مصرف میانگین در شبکه مذکور با استناد به داده‌های ثبت شده در سال (۱۳۹۱) در محدوده نرمال قرار دارد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که علت پایین بودن سرعت جریان در لوله‌های این شبکه توزیع، کم بودن تقاضای آب مشترکین شبکه نخواهد بود.



شکل ۵- هیستوگرام فراوانی میانگین سرعت جریان عبوری از لوله‌های شبکه توزیع آب شهرک بزین در ماه دی سال ۱۳۹۱



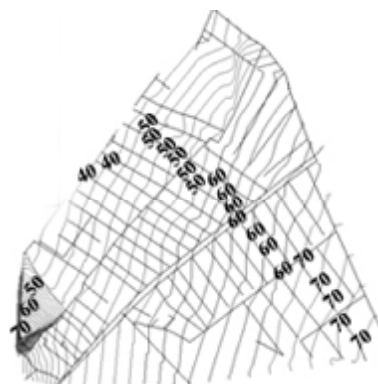
شکل ۶- هیستوگرام فراوانی میانگین سرعت جریان عبوری از لوله‌های شبکه توزیع آب شهرک بزین در ماه مرداد سال ۱۳۹۱

بررسی پارامترهای هیدرولیکی شبکه مورد مطالعه از جنبه‌های مختلف، بیان‌کننده عدم عملکرد بهینه سیستم توزیع آب در این شهرک است. علت این امر را می‌توان عدم طراحی دقیق سیستم توزیع آب این شهرک بر اساس نیاز جمعیت بهره‌بردار از سیستم دانست. در این مطالعه دو فرضیه را می‌توان مطرح کرد: اول این که شبکه توزیع آب به نحوی طراحی شده است که پاسخگوی جمعیتی بیش از جمعیت افق طرح باشد. در این صورت پرسش‌هایی از قبیل این که آیا افزایش ظرفیت پروژه تا این حد و به تبع آن افزایش هزینه پروژه، قابل توجیه خواهد بود یا خیر و این که آیا در فاز طراحی این پروژه، برای مشکلات احتمالی در زمان بهره‌برداری از جمله رسوب‌گیری لوله‌ها ناشی از سرعت کم جریان عبوری، ترکیب‌دهی ناشی از زیاد بودن فشار در لوله‌ها و ... تدبیری اندیشیده شده است یا خیر. دوم این است که، شبکه مورد مطالعه احتمالاً بر طبق دستورها و آیین‌نامه‌های موجود طراحی و اجرا شده و مشکل پیش آمده مربوط به نقص در استانداردهای حاضر است. در این صورت با توجه به این که بسیاری از کشورهای جهان و به‌خصوص ایران با بحران جدی آب روبرو هستند، بازنگری و اصلاح استانداردهای طراحی در این زمینه با توجه به آزمایش‌ها و پژوهش‌های صورت گرفته در ایران و جهان توصیه می‌شود. این کار نیازمند مطالعه موردی چندین شبکه دیگر به‌عنوان نمونه و بررسی مطابقت پارامترهای هیدرولیکی شبکه با استانداردهای موجود است، بدین ترتیب نواقص موجود در طراحی شبکه‌های توزیع آب مشخص می‌شود و می‌توان بازنگری روش طراحی سیستم‌های توزیع آب کشور را در دستور کار قرار داد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با استفاده از روش شبیه‌سازی دوره گسترش یافته، به مطالعه عملکرد شبکه توزیع آب شهرک بزین واقع در غرب شهر شیراز پرداخته که نتایج به دست آمده حاکی از عدم عملکرد بهینه شبکه توزیع آب است. با در نظر گرفتن حداقل مقدار استاندارد توصیه‌شده سرعت برای شبکه‌های توزیع آب به میزان 0.3 متر بر ثانیه، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد سرعت میانگین جریان عبوری در بیش از ۹۵ درصد لوله‌های این شبکه توزیع در ماه مرداد که حداکثر مصرف شبکه اتفاق می‌افتد، کمتر از

ساعت ۴ روز اول دی ماه است. این شکل‌ها علاوه بر این که نشان‌دهنده تأثیر نامحسوس میزان مصرف شبکه بر میزان فشار موجود در شبکه است، نشان‌دهنده تبعیت خطوط هم فشار از جهت شیب زمین هستند، به این ترتیب که فشار از سمت غرب به شرق در حال افزایش است. با توجه به این شکل‌ها فشار در نیمه شرقی و جنوب شرقی شبکه توزیع آب به عددی بین ۶۰ تا ۷۰ متر ستون آب می‌رسد که این میزان فراتر از حد استاندارد است. میزان استاندارد توصیه‌شده برای شبکه‌های توزیع آب شهری ۵۰ متر ستون آب است (تائی و چمنی، ۱۳۷۹). از جمله راهکارهای مقابله با افزایش فشار در مناطق شیب‌دار، طراحی لوله‌ها با قطرهای کاهش یافته یا به اصطلاح طراحی تلسکوپی و استفاده از شیرهای فشار شکن می‌توان نام برد که این تدابیر در شبکه مورد مطالعه اتخاذ نشده است.



شکل ۹- خطوط هم فشار در شبکه توزیع آب شهرک بزین در ساعت ۱۳ روز اول ماه مرداد سال ۱۳۹۱



شکل ۱۰- خطوط هم فشار در شبکه توزیع آب شهرک بزین در ساعت ۴ روز اول ماه دی سال ۱۳۹۱

۴. تائبی ا. و چمنی م. ر. ۱۳۷۹. شبکه‌های توزیع آب شهری. دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ اول. ۶۲۸ ص.
۵. جهانگیر م. بارانی غ. و جهانگیر ع. ۱۳۹۲. مدیریت هوشمند فشار و کاهش نشت شبکه‌های آبرسانی در محیط WaterGEMS؛ مطالعه موردی مجتمع آبرسانی دوحصاران خراسان جنوبی. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۱۳: ۴۵-۵۵.
۶. سلطانی اصل م. و فغفور مغربی م. ۱۳۸۸. مدیریت هوشمند فشار برای کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد، مجله آب و فاضلاب. ۳: ۹۹-۱۳۴.
۷. شارونی‌زاده ش. مامی‌زاده ج. و سروریان ج. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن تقاضای وابسته به فشار (ناحیه یک آب شهر ایلام). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۲۲: ۱-۱۱.
۸. ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی. ۱۳۹۲. نشریه شماره ۳-۱۱۷. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری اسلامی ایران. بازنگری اول. ۱۵۰ ص.
۹. مرادی سبزوکی ع. کاشفی‌پور ع. و سلیمی چمکاکایی آ. ۱۳۹۳. بررسی میدانی ضریب حداکثر تقاضا در شبکه‌های توزیع آب روستایی (شمال شرق خوزستان). دو ماهنامه علمی-پژوهشی آب و فاضلاب. ۲۵(۱): ۴۴-۵۲.

10. Abdy Sayyed M. A. H. Gupta R. and T. T. Tanyimboh. 2014. Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET. Procedia Engineering. 89: 626-631.
11. Fujiwara O. and Li J. 1998. Reliability analysis of water distribution networks in consideration of equity, redistribution, and pressure-dependent demand. Water resources research. 34(7): 1843-1850.
12. Germanopoulos G. 1985. A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models. Civil Engineering Systems. 1985 Sep 1. 2(3): 171-9.
13. Muranho J. Ferreira A. Sousa J. Gomes A. and Sa Marques A. 2014. Pressure-Dependent Demand and Leakage Modelling With an EPANET Extension-

میزان استاندارد توصیه شده است. نتایج بررسی میزان فشار آب در این شبکه توزیع آب نشان دهنده این است که افزایش میزان مصرف شبکه بر توزیع فشار شبکه تأثیر بسیار کمی دارد که می‌توان علت این عدم تأثیرپذیری را در بیش از حد نیاز بودن فشار آب در این شبکه دانست. با توجه به اینکه استانداردهای موجود میزان حداکثر فشار آب در شبکه‌های توزیع را برابر ۵۰ متر ستون آب گزارش می‌کنند؛ نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در طول سال ۱۳۹۱ در بیش از نیمی از لوله‌های این شبکه، فشار مقداری بیش از ۵۰ متر ستون آب را دارد. با بررسی‌های انجام شده مهم‌ترین علتی را که برای کم بودن سرعت جریان در لوله‌ها و زیاد بودن فشار آب در شبکه بیان کرد، این است که قطر لوله‌های مورد استفاده در این شبکه توزیع آب، فراتر از میزان نیاز شبکه طراحی شده است. نتایج این پژوهش لزوم مطالعه عملکرد سیستم‌های توزیع آب قبل از اجراء برای پیش‌بینی رفتار سیستم و نیز شبکه‌های آبرسانی فعلی را برای دستیابی به عملکرد بهینه این سیستم‌ها و سیاست‌گذاری‌های اصولی در این بخش را بیان می‌کند.

سیاس‌گذاری

از سرکار خانم مهندس زینب امیری که اطلاعات و داده‌های این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند و در حین انجام پژوهش نیز با راهنمایی خویش به غنای این پژوهش افزودند، قدردانی می‌شود.

منابع

۱. امیری ز. ۱۳۹۲. بهینه‌یابی چندمتغیره یک شبکه توزیع آب با رویداشت به اطمینان‌پذیری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شیراز. ۱۴۰ ص.
۲. انصاری ح. و صالح‌نیا ن. ۱۳۹۳. ارزیابی پارامترهای مؤثر بر مصرف آب شهری با استفاده از تکنیک تست گاما. مجله آب و فاضلاب. ۱: ۲-۱۳.
۳. تابش م. و دینی م. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: شهر تهران. مجله آب و فاضلاب. ۱: ۸۴-۹۵.

- WaterNetGen. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014. Bari, Italy.
14. Tanyimboh T. and Templeman A. B. 2010. Seamless pressure-deficient water distribution system model. Proceedings of the ICE-Water Management. 163(8): 389-96.
 15. Tucciarelli T. Criminisi A. and Termini D. 1999. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. Journal of Hydraulic Engineering. 1999 Mar. 125(3): 277-85.
 16. Wagner J. M. Shamir U. and Marks D. H. 1988. Water distribution reliability: simulation methods. Journal of water resources planning and management. 1988 May. 114(3): 276-94.