



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

12820-NWWCE

بررسی و مقایسه کارایی رویکردهای مختلف تنظیم شیرهای فشارشکن در شبکه‌های توزیع آب

محمدامین غیبی^۱، میلاد لطیفی^۲، سید تقی (امید) نایینی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

amin.stu@gmail.com

خلاصه

بالا بودن فشار در شبکه‌های توزیع آب موجب بروز مشکلات متعددی مانند افزایش نشت، حوادث و مصرف ناخواسته می‌شود. بدین منظور برنامه‌های مدیریت فشار با به کارگیری شیرهای فشارشکن، مخازن و پمپ‌ها اجرا می‌شوند. در این تحقیق از شیرهای فشارشکن با سه رویکرد فشار خروجی ثابت، نوسان زمانی و نوسان دبی برای مدیریت فشار در شبکه توزیع آب استفاده شده است. در شیرهای با خروجی ثابت، یک فشار تنظیمی یکسان در تمام ساعات بر روی جریان اعمال می‌شود. یک مدل شبیه‌ساز و بهینه‌ساز برای یافتن تنظیمات بهینه این شیرها توسعه داده شده است. شیرهای نوسان زمانی قادر هستند در ساعات مختلف شبانه‌روز، فشار تنظیمی متغیری را اعمال نمایند. بدین ترتیب می‌توان نوسانات ساعتی فشار در شبکه را بهتر کنترل نمود. در این مورد هم بهینه‌سازی تنظیمات شیرها انجام شده است. در شیرهای نوسان دبی با توجه به فشار متوسط شبکه مقدار فشار خروجی تنظیم می‌گردد. به علاوه، در این پژوهش شاخص قابلیت اطمینان جدیدی برای لحاظ نمودن اثر نوسانات و متوسط فشار بر روی رضایت مشترکین معرفی و به‌عنوان تابع هدف بهینه‌سازی بکار گرفته شده است. در نهایت و با مقایسه عملکرد رویکردهای مذکور ملاحظه گردید که به ترتیب رویکردهای نوسان دبی، نوسان زمانی و خروجی ثابت دارای بیشترین اطمینان‌پذیری هستند.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع آب؛ مدیریت فشار؛ رضایت مشترکین؛ شیر فشارشکن؛ نوسان زمانی؛ نوسان دبی.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، شبکه‌های توزیع آب از لحاظ گستردگی و کیفیت بهره‌برداری تکامل یافته و اهمیت بسیاری در سطح رفاه جامعه پیدا کرده است. از این رو افزایش قابلیت اطمینان، بهبود وضعیت سرویس‌دهی و عملکرد این شبکه‌ها با توجه به محدودیت‌های مالی و اجرایی در طول دوره بهره‌برداری تبدیل به یک ضرورت گشته است. وظیفه اصلی شبکه‌های توزیع آب، رساندن آب کافی با فشار مناسب و کیفیت مطلوب به دست مصرف‌کنندگان است [۱]. در این میان، عدم توزیع یکنواخت فشار در شبکه موجب بروز مشکلات متعددی برای مشترکین و بهره‌برداران می‌شود. افزایش بیش‌ازحد فشار در شبکه، احتمال خرابی در اجزاء شبکه را افزایش داده و باعث کوتاه شدن عمر شبکه می‌شود. آنچه مشترکین را بیش از همه دچار مشکل می‌کند کمبود و نوسانات فشار در بخشی از شبکه است. برای اطمینان از بهره‌مند شدن مشترکین از آب تحت الگوی متغیر تقاضا، برنامه‌ریزی و مدیریت در حین بهره‌برداری از شبکه آب امری ضروری است.

برای بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب نیاز به مدیریت صحیح جهت رسیدن به حالت بهینه با توجه به مسائل اقتصادی و همچنین بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم است. قابلیت اطمینان سامانه‌های آب‌رسانی یکی از بهترین معیارها در زمینه طراحی و مدیریت این سامانه‌ها می‌باشد. در این زمینه محققین زیادی به ارائه تعاریف مختلف از قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع آب پرداخته‌اند [۲، ۳، ۴]. شاخص‌های ذکر شده برای ارزیابی قابلیت

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

اطمینان شبکه عموماً بر مبنای شکست مکانیکی و یا عملکرد هیدرولیکی شبکه تعریف شده‌اند. با این حال یک شاخص قابلیت اطمینان که علاوه بر خصوصیات هیدرولیکی شبکه، رضایت مشترکین را نیز لحاظ نماید، تاکنون معرفی نشده است. یکی از مسائلی که در بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب اهمیت فراوانی دارد، رضایت مشترکین و مصرف‌کنندگان شبکه است. تاکنون برای رضایت مشترکین تعریف دقیق و کاملی ارائه نشده است. در این تحقیق، به منظور کمی کردن رضایت مشترکین و بهبود آن، از یک مدل ریاضی استفاده شده است.

۱.۱. مدیریت فشار

مدیریت فشار به مجموعه برنامه‌ها و عملیاتی که به منظور تنظیم فشار در شبکه صورت می‌گیرد اطلاق می‌شود، به شکلی که حقوق قانونی مشترکان و مصرف‌کنندگان تأمین شود و تغییرات و ناپایداری در فشار وجود نداشته باشد. امروزه مطالعات انجام شده در زمینه مدیریت فشار در شبکه‌های آب هم در فاز طراحی و هم در فاز بهره‌برداری روی لوله‌ها یا عملکرد پمپ‌ها و یا شیرها و همچنین استفاده از مخازن کمکی متمرکز گردیده است. نیکولینی و زوواتو (۲۰۰۹) با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه مدلی برای بهینه‌سازی در انتخاب تعداد، جانمایی و تنظیمات شیرهای کاهنده فشار در شبکه توزیع آب ارائه دادند [۵]. عواد و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از شیرهای فشارشکن نوسان زمانی (Time Modulation) به کمینه‌سازی نشت در شبکه‌های آب با ابزار الگوریتم ژنتیک پرداختند [۶]. عبدالمجید و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی شیرهای فشارشکن با نوسان دبی (Flow Modulation) در شبکه و مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل عددی پرداختند که نتایج ایشان نشان‌دهنده عملکرد مناسب این شیرها بوده است [۷]. کاستا و همکاران (۲۰۱۰) بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب را در فاز بهره‌برداری با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با هدف کاهش هزینه‌های بهره‌برداری از پمپ‌ها انجام دادند [۸]. تابش و همکاران (۲۰۱۱) بهترین مکان و بهترین مقدار تزریق کلر در شبکه‌های توزیع آب را با هدف تعیین مقدار بهینه کلر موجود در گره‌ها یافتند [۹]. کورک و آستفلد (۲۰۱۳) بهینه‌سازی چندهدفه شبکه آب را با الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی با اهداف کیفیت آب با در نظر گرفتن سن آب و مقدار کلر موجود در آب و عملکرد پمپ‌ها با بررسی پمپ دور متغیر و اندازه تانک‌های ذخیره مورد بررسی قرار دادند [۱۰].

شیرهای فشارشکن ابزاری هستند که با نصب بر روی یک لوله اجازه نمی‌دهند فشار در پایین‌دست شیر از حد معینی فراتر رود. مدیریت فشار در شبکه‌هایی که از شیر فشارشکن استفاده می‌شود، عموماً به منظور کنترل میزان نشت در شبکه آبرسانی انجام می‌شود [۱۱]. با این حال می‌توان از ابزارهای مدیریت فشار برای بهبود شاخص قابلیت اطمینان در شبکه نیز بهره گرفت. بخصوص در شبکه‌هایی که اضافه یا کمبود فشار موجب پایین آمدن شاخص‌های قابلیت اطمینان شده باشد، استفاده از این ابزارها بسیار موثر خواهد بود [۱۲].

در این تحقیق، برای مدیریت فشار در شبکه‌های در دست بهره‌برداری از شیرهای فشارشکن با فشار خروجی ثابت (Fixed Outlet)، شیرهای فشارشکن با نوسان زمانی (Time Modulation) و شیرهای فشارشکن با نوسان دبی (Flow Modulation) استفاده شده است. در شبکه‌هایی که فشار در نقاط مختلف آن به طور متعادلی توزیع نشده است، نصب شیر فشارشکن در نقاط مناسب و تنظیم آن روی فشار مناسب می‌تواند به تعادل فشار در نقاط مختلف بیانجامد.

۲. متدولوژی

در این تحقیق، یک مدل شبیه‌ساز به منظور شبیه‌سازی وضعیت شبکه و یک مدل بهینه‌ساز برای یافتن فشار تنظیمی شیرهای فشارشکن ایجاد شده است. این دو مدل به نحو مناسبی به یکدیگر متصل شده‌اند تا بتوانند اهداف مدلی اصلی را برآورده کنند.

۱.۲. تحلیل شبکه توزیع آب

یک مدل شبیه‌ساز برای تحلیل وضعیت هیدرولیکی شبکه مورد نیاز است. بدین منظور مدلی برای تحلیل شبکه با استفاده از روش گرادیان ایجاد شده است. این روش توسط تادینی و پیلاتی (۱۹۷۸) معرفی شده و بدلیل پایداری بالا امروزه در اغلب نرم‌افزارهای تجاری تحلیل شبکه توزیع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳].

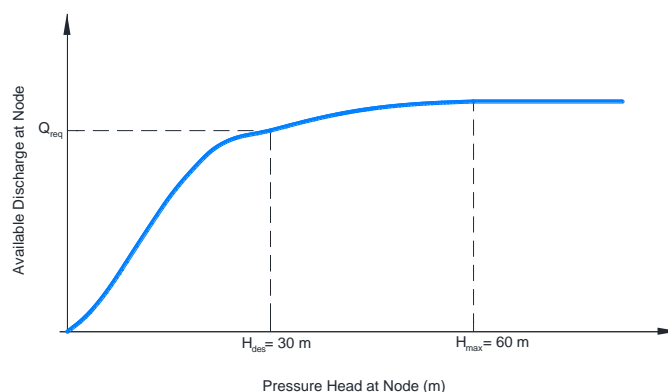
روش‌های سنتی تحلیل شبکه‌های توزیع آب مبتنی بر تأمین تمام تقاضای گرهی صرف‌نظر از فشار در گره‌ها هستند. در این رویکرد، فرض می‌شود که در تمام فشارها دبی مورد تقاضا تأمین می‌شود، فرضی که در مواقع بحرانی تا حد زیادی از واقعیت به دور است. به منظور شبیه‌سازی واقعی‌تر شرایط

شبکه، روش شبیه‌سازی مبتنی بر فشار (HDSM) پیشنهاد شده و طی یک دهه اخیر مورد استقبال قرار گرفته است. در این دیدگاه، دبی تأمین شده در هر گره، تابعی از فشار موجود در آن گره است. لذا برای انجام تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار لازم است رابطه مناسبی بین فشار در گره و مقدار دبی تأمین شده برقرار شود. برای مرتبط نمودن فشار گرهی با دبی تأمین شده در گره، روابط متعددی ارائه شده است [۱۴، ۱۵، ۱۶].

برای محاسبه مقدار دبی تأمین شده در شرایطی که فشار تأمین شده بیش از فشار مطلوب باشد، روابطی ارائه شده که در میان آنها رابطه (۱-ب) و (۱-ج) بیشتر از سایرین مورد استفاده قرار گرفته است. برای برآورد دبی تأمین شده در حالتی که فشار تأمین شده کمتر از فشار مطلوب باشد، نیز روابطی ارائه شده است. اخیراً، سیپانی و همکاران (۲۰۱۵) با در نظر گرفتن مصارف داخلی منازل رابطه (۱-الف) را ارائه کردند [۱۵] که مشابهت زیادی به نتایج تاینیموه و تمپلمن (۲۰۱۰) دارد [۱۷]. در این پژوهش، تلفیقی از رابطه تابش و همکاران (۲۰۱۳) و رابطه پیشنهاد شده توسط سیپانی و همکاران (۲۰۱۵) مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴ و ۱۵]. بر این اساس دبی تأمین شده برحسب فشار گرهی از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q_j^{avl} = Q_j^{req} \frac{\exp(-2.570 + 7.873 \times H_j^{avl} / H_j^{req})}{1 + \exp(-2.570 + 7.873 \times H_j^{avl} / H_j^{req})} & \text{if } H_j \leq H_j^{des} \quad (\text{Ciaponi et al., 2015}) \quad (\text{الف}) \\ Q_j^{avl} = Q_a + Q_b \left(\frac{H_j - H_j^{min}}{H_j^{req} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n}\right)} & \text{if } H_j^{req} \leq H_j \leq H_j^{max} \quad (\text{Tabesh et al., 2013}) \quad (\text{ب}) \\ Q_j^{avl} = Q_a + Q_b \left(\frac{H_j^{max} - H_j^{min}}{H_j^{req} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n}\right)} & \text{if } H_j > H_j^{max} \quad (\text{Tabesh et al., 2013}) \quad (\text{ج}) \end{array} \right. \quad (1)$$

که در آن Q_j^{avl} دبی در دسترس در گره مورد نظر، Q_j^{req} دبی تقاضا در گره، H_j^{avl} هد فشار موجود در گره و H_j^{req} هد فشار مورد نیاز برای تأمین تمام دبی تقاضا (Q_j^{req}) است. اگرچه در تحقیق ایشان به صراحت به مقدار H_j^{req} اشاره نشده است، اما اغلب محققین این مقدار را بین ۲۵ تا ۳۵ متر فشار آب در نظر گرفته‌اند. در این پژوهش، مقدار $H_j^{req} = 30(m)$ در نظر گرفته شده است. همچنین Q_a و Q_b به ترتیب دبی تأمین شده وابسته به حجم و دبی تأمین شده وابسته به فشار هستند. دبی وابسته به حجم بخشی از دبی است که صرف نظر از مقدار فشار در گره‌ها بطور ثابتی تأمین می‌شود. دبی وابسته به فشار بخشی از دبی تأمین شده است که مقدار آن تابعی از فشار تأمین شده در گره است. با توجه به تجربیات قبلی و توصیه‌های محققان دیگر، مقدار هر یک از دو دبی مذکور برابر با ۵۰ درصد کل دبی تقاضا فرض شده است. مزیت رابطه (۱) تقسیم دبی‌های مورد نیاز به دو بخش حجمی و وابسته به فشار است که انطباق بیشتری با واقعیت دارد. شکل (۱) منحنی رابطه (۱) را نشان می‌دهد. در این تحقیق مقادیر فشار حداقل (H_j^{min})، فشار مطلوب (H_j^{req}) و فشار حداکثر (H_j^{max}) به ترتیب برابر با ۵، ۳۰ و ۶۰ متر آب در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱ - مقدار تقاضای تأمین شده برحسب فشار موجود در گره‌ها

همان‌گونه که اشاره شد، در این تحقیق شیرهای فشارشکن با سه روش مورد استفاده قرار می‌گیرند: (۱) شیرهای فشارشکن با خروجی ثابت: در این شیرها فشار تنظیمی خروجی در تمام طول دوره بهره‌برداری ثابت است؛ (۲) شیرهای فشارشکن با نوسان زمانی: در این شیرها به کمک نصب یک مدار الکترونیکی فشار تنظیمی در طول ساعات شبانه‌روز تغییر می‌کند. به این ترتیب در ساعات شب که مصرف پایین و فشار شبکه بالا می‌رود، این شیرها فشار تنظیمی کمتری را عبور می‌دهند و در ساعات روز که مصرف بالا می‌تواند کمبود فشار ایجاد کند، فشار تنظیمی بیشتری را عبور می‌دهند. استفاده

از این شیرها موجب می شود فشار نسبتاً متعادلی در طول روز ایجاد شود. فشارهای تنظیمی این شیرها معمولاً براساس ضرایب مصرف ساعتی شبکه تعیین می شوند. در این تحقیق روشی برای بهینه سازی فشارهای تنظیمی ارائه شده است. (۳) شیرهای فشار شکن با نوسان دبی: در این شیرها با نصب سنسور فشار در نقاطی از شبکه و براساس فشار قرائت شده در آن نقاط، یک مدار الکترونیکی دستور تغییر فشار تنظیمی را به فشار شکن صادر می کند. در این نوع از فشار شکن ها لازم است یک منحنی فرمان برای هر یک از شیرها تهیه شده و دستور تغییر فشار تنظیمی براساس آن صادر شود.

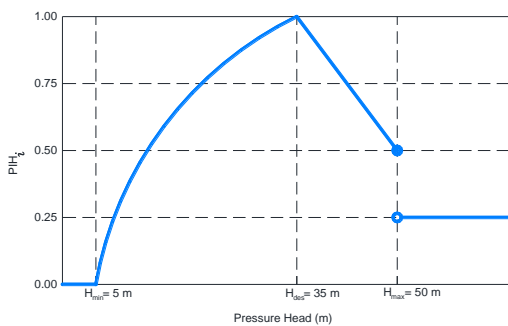
۲.۲. قابلیت اطمینان پیشنهادی

پس از انجام تحلیل هیدرولیکی و محاسبه فشار در گره ها و دبی در لوله ها باید مقدار کمی شاخص قابلیت اطمینان را برای شبکه محاسبه نمود. همان گونه که در مقدمه اشاره شد، روابط متعددی برای محاسبه شاخص قابلیت اطمینان وجود دارد. در این تحقیق، بر روی هدف جلب رضایت مشترکین و رساندن آب به مقدار کافی و فشار مناسب و در نظر گرفتن کمترین تغییرات در طول شبانه روز تمرکز شده است. همان گونه که قبلاً اشاره شد، تغییرات (نوسانات) زیاد فشار در طول شبانه روز باعث نارضایتی و عدم اعتماد مشترکین به عملکرد مناسب و مطمئن شبکه می شود؛ بنابراین برای تأمین رضایت مشترکین باید شبکه به نحوی عمل کند که از طرفی در طی ساعات روز کمترین نوسانات فشار را داشته باشد و از طرف دیگر، متوسط فشار آن به فشار مطلوب نزدیک باشد. در این تحقیق، برای کمی کردن این موضوع تابعی تعریف شده است که در صورت قرار گرفتن متوسط فشار در بازه مطلوب برای تأمین تقاضا و تغییرات کم فشار در طول شبانه روز، بیشترین قابلیت اطمینان حاصل شود و در صورت فاصله گرفتن از بازه مذکور، مقدار قابلیت اطمینان کاهش یابد. این تابع به نام شاخص رضایت مشترکین (Consumers' Satisfaction Index = CSI) معرفی می شود. شاخص CSI به کمک دو مؤلفه محاسبه می شود. در مولفه اول تغییرات فشار در بازه زمانی شبیه سازی مدنظر قرار می گیرد. انحراف معیار فشارها در طول بازه زمانی شبیه سازی محاسبه شده و به کمک تابع پنالتی، مقدار مؤلفه وابسته به انحراف معیار به دست می آید. انحراف معیار فشار هر گره از شبکه به صورت زیر است:

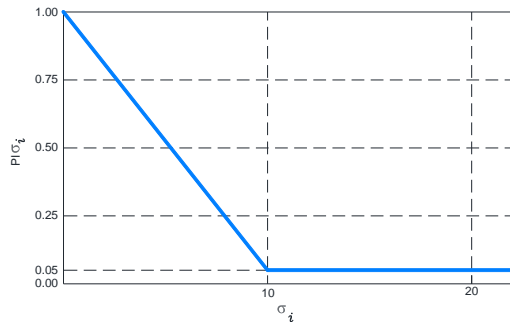
$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (H_{i,t} - \bar{H}_i)^2}{T}} \quad (2)$$

که در آن σ_i انحراف معیار فشار در گره i - ام، \bar{H}_i فشار متوسط گره i - ام در بازه زمانی مدنظر، $H_{i,t}$ فشار در گره i - ام در زمان t - ام و T تعداد بازه های زمانی شبیه سازی است. برای نرمال سازی و تعیین مطلوبیت عملکرد گره ها، تابع پنالتی فازی زیر برای مقادیر به دست آمده از σ_i در نظر گرفته شده است که به صورت شکل (۲-الف) قابل نمایش است.

$$PID_i = \begin{cases} 1 - \frac{\sigma_i}{10} & \text{if } 0 \leq \sigma_i < 10 \\ 0.05 & \text{if } \sigma_i \geq 10 \end{cases} \quad (3)$$



(ب)



(الف)

شکل ۲ - تابع پنالتی فازی برای در نظر گرفتن (الف) انحراف معیار فشار؛ (ب) انحراف فشار متوسط از فشار مطلوب

در بخش دوم تأثیر کمبود و مازاد فشار بر رضایت مشترکین مدنظر قرار گرفته است. در این بخش، میزان متوسط فشار در بازه زمانی شبیه‌سازی محاسبه شده و با استفاده از تابع پنالٹی فازی که توسط تابش و همکاران (۲۰۱۳) پیشنهاد شده است [۱۴]، مقدار مؤلفه مربوط به اختلاف فشار از فشار معیار به دست می‌آید که این رابطه به صورت رابطه (۴) است و به صورت گرافیکی در شکل (۲-ب) نمایش داده شده است.

$$PIH_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \bar{H}_i \leq 5 \\ \left(\frac{\bar{H}_i - 5}{30}\right)^{0.51} & \text{if } 5 < \bar{H}_i \leq 35 \\ 1 - \frac{\bar{H}_i - 35}{30} & \text{if } 35 < \bar{H}_i \leq 50 \\ 0.25 & \text{if } \bar{H}_i > 50 \end{cases} \quad (4)$$

که در آن \bar{H}_i متوسط فشار در بازه زمانی شبیه‌سازی در گره i -ام است و PIH_i تابع فازی مطلوبیت تغییرات فشار در گره i -ام است. در نهایت مؤلفه‌های مطلوبیت به دست آمده برای هر گره به صورت هندسی با هم ترکیب شده و شاخص رضایت مشترکین برای هر گره به صورت زیر به دست می‌آید:

$$CSI_i = \sqrt{PIH_i \times PI\sigma_i} \quad (5)$$

که در آن CSI_i شاخص قابلیت اطمینان مشترکین در گره i -ام است. برای بدست آوردن شاخص CSI کل شبکه مقادیر بدست آمده از هر گره به نسبت وزنی با نیاز آبی آن گره میانگین گیری شده است.

$$f_1 = CSI = \frac{\sum_{i=1}^{NN} Q_i^{req} \times CSI_i}{\sum_{i=1}^{NN} Q_i^{req}} \quad (6)$$

۳.۲. روش بهینه‌سازی

به منظور یافتن مناسب‌ترین فشار تنظیمی برای شیر فشارشکن با رویکردهای سه‌گانه ذکر شده، یک مدل بهینه‌ساز نیز ایجاد گردید. در زمینه شبکه‌های توزیع آب از روش‌های مختلف بهینه‌سازی مانند الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده و ... استفاده شده است. با توجه به پیچیدگی‌های مسئله و ماهیت غیرخطی آن، استفاده از روش‌هایی مانند الگوریتم ژنتیک به کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت حل کمک می‌کند؛ بنابراین در این تحقیق از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تابع هدف استفاده شده است.

تابع هدف در مدل بهینه‌ساز، حداکثر نمودن شاخص قابلیت اطمینان پیشنهادی (CSI) است که مقدار آن در مدل شبیه‌ساز محاسبه می‌شود. قیود بهینه‌سازی عبارتند از: معادلات هیدرولیکی حاکم بر مساله (که در مدل شبیه‌ساز گنجانده شده است) و قیود مربوط به محدودیت فشار در گره‌ها که به طور ضمنی در تعریف شاخص قابلیت اطمینان (روابط ۱ تا ۴) گنجانده شده است. تابع هدف در مساله بهینه‌سازی موجود به صورت زیر است:

$$\text{Maximize } f_1(P_{i,t}) = CSI \quad i = 1, \dots, NN \quad t = 1, \dots, 24 \quad (7)$$

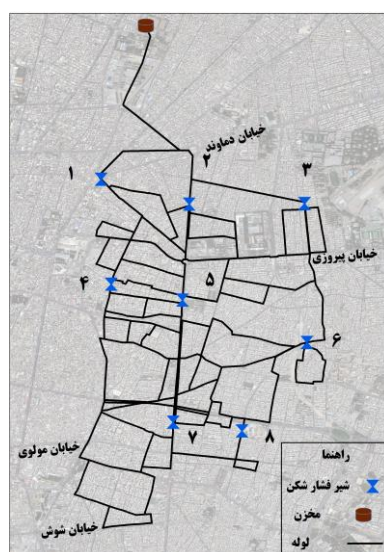
$$\text{Subject to : } P_{min} < P_{set,i} < P_{max}$$

که در رابطه بالا NN تعداد گره‌های شبکه، $P_{set,i}$ فشار تنظیمی فشارشکن و P_{min} و P_{max} به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر فشار تنظیمی شیر فشارشکن و برابر با ۱۲ و ۳۵ متر در نظر گرفته شده‌اند.

متغیرهای بهینه‌سازی نیز عبارتند از فشار تنظیمی شیرهای فشارشکن. از آنجا که مدل شبیه‌ساز در محیط نرم‌افزار MATLAB آماده شده است، برای سهولت کار، بهینه‌سازی نیز در همین محیط انجام شده است. نرم‌افزار MATLAB برای بهینه‌سازی یک جمعیت نمونه را تولید می‌کند و تابع هدف را به ازای مقادیر آن محاسبه می‌کند. سپس براساس برازش جمعیت اولیه و با اعمال عملگرهای انتخاب (Selection)، تزیوج (Mutation) و جهش (Crossover) جمعیت جدید را تولید می‌کند. این عملیات تا رسیدن به جواب بهینه تکرار می‌شود. تعداد جمعیت اولیه برای جستجو ۲۰۰ نفر، ضریب تزیوج برابر با ۰/۸ و ضریب جهش ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. به منظور بهینه‌سازی شبکه، کد نوشته شده برای مدل تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار در محیط نرم‌افزار MATLAB به جعبه‌ابزار الگوریتم ژنتیک این نرم‌افزار متصل شده است.

۳. مطالعه موردی

به منظور ارزیابی عملکرد روش ارائه شده برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب، بخشی از شبکه اصلی توزیع آب شهر تهران، برای مطالعه موردی انتخاب گردید. این ناحیه در محدوده خیابان انقلاب تا خیابان شوش و اتوبان امام علی تا خیابان ری واقع شده است و مساحت تحت پوشش آن ۸۵۰ هکتار است. با توجه به برآورد مصارف آب در این بخش، حداکثر مصرف ساعتی این منطقه حدود ۸۵۰ لیتر در ثانیه است. شبکه مورد مطالعه دارای ۵۱ کیلومتر لوله از جنس‌های آزیست و سیمان، چدن داکتیل و پلی اتیلن می‌باشد. برای مدل‌سازی شبکه تعداد ۱۰۷ گره در نظر گرفته شده که کل دبی تقاضای شبکه از این گره‌ها تأمین می‌شود. شکل (۳) شماتیک شبکه مورد بحث را نشان می‌دهد. در این شبکه به کمک ۸ دستگاه شیر فشارشکن که در سه ردیف نصب شده، منطقه‌بندی فشاری انجام شده است. شیرهای موجود از نوع فشار خروجی ثابت هستند. در این تحقیق، اثر به کارگیری سایر رویکردهای تنظیم شیر بررسی می‌شود.



شکل ۳- تصویر شماتیک شبکه مورد استفاده در مطالعه موردی (منطقه ۱۳ و ۱۴ تهران)

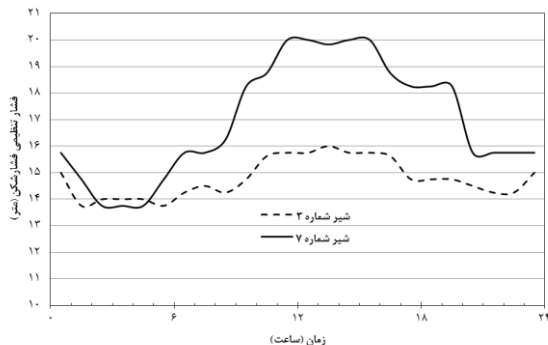
۴. نتایج

در ابتدا، شبکه با شرایط موجود آن مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. فشار تنظیمی موجود هر یک از شیرهای فشارشکن در مدل اعمال شد. با تحلیل شبکه و اجرای مدل شبیه‌سازی، فشار متوسط شبکه در طول ساعات شبانه‌روز بدست آمده و مقدار شاخص رضایت مشترکین (CSI) محاسبه گردید. مقدار فشار متوسط شبکه در این حالت در شکل (۴-الف) نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود که فشار متوسط ساعتی بین ۲۲ تا ۲۸ متر در نوسان است. با توجه به نوسان قابل توجه فشار در طول ساعات شبانه‌روز، مقدار شاخص رضایت مشترکین برابر با ۰/۷۷۷ بدست آمده است. با اجرای مدل، نتایج حاصل از بهینه‌سازی شیرهای فشارشکن بدست آمده که در این بخش به آن اشاره می‌شود. در شیرهای فشارشکن با خروجی ثابت، بهینه‌سازی فشار تنظیمی در هر یک از شیرها انجام گرفت. نتایج حاکی از آن است که برای بهبود شاخص رضایت مشترکین در شبکه باید مقدار فشار تنظیمی شیرهای فشارشکن نسبت به وضع موجود کاهش یابد. فشار متوسط شبکه در ساعات مختلف شبانه‌روز در شکل (۴-الف) نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود که با تنظیم جدید، فشار متوسط شبکه بین ۲۳/۳ تا ۲۹/۳ متر در نوسان است. با ملاحظه شکل (۴-الف) و مقایسه نتایج با وضع موجود ملاحظه می‌شود که در این حالت و با اعمال تنظیمات پیشنهادی، نوسانات زمانی فشار متوسط تغییر چندانی نکرده است و تنها با نزدیک‌تر شدن فشار متوسط شبکه به فشار مطلوب، مقدار شاخص رضایت مشترکین افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود که نمودار فشار متوسط شبکه در حالت وضع موجود و در حالت تنظیمات پیشنهادی با یکدیگر موازی بوده و تنها به مقدار تقریبی ۱/۳ متر با یکدیگر فاصله دارند. این موضوع ناشی از ثابت بودن فشار تنظیمی در طول ساعات شبانه‌روز (علیرغم تغییر در مقدار تقاضای ساعتی) می‌باشد.

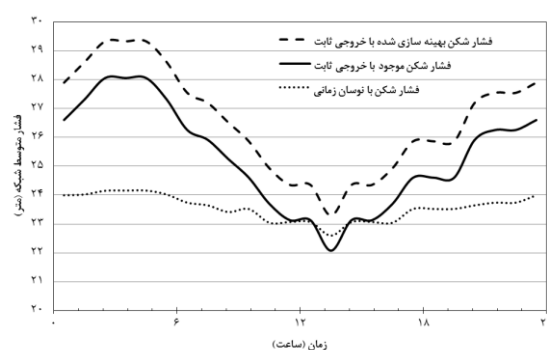
برای تعیین تنظیمات شیرهای فشارشکن در حالت نوسانات زمانی، مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز اجرا گردید. شکل (۴-ب) نمونه‌ای از فشارهای تنظیمی بدست آمده برای دو شیر نمونه را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که طی ساعات شب (مصرف کمتر) فشار خروجی از شیرها کمتر بوده و طی ساعات روز (مصرف بیشتر) فشار بیشتری از شیرها خارج می‌گردد. نمودار فشار متوسط شبکه طی ساعات شبانه‌روز در شکل (۴-الف) ترسیم گردیده است. در این شکل مشاهده می‌گردد که با اعمال تنظیمات ساعتی به شیرها، نوسانات ساعتی فشار به خوبی کنترل شده و فشار متوسط بین $22/6$ و $24/2$ متر متغیر است. همچنین فشار متوسط کل شبکه برابر با $25/3$ متر است که در مقایسه با رویکرد قبلی مقداری کاهش یافته است.

نقطه ضعف روش تنظیم دبی براساس نوسانات زمانی این است که براساس ضرایب دبی تقاضا در طول ۲۴ ساعت تنظیم شده است، حال آنکه ضرایب فوق در طول فصول سال متغیر بوده و بخصوص در تابستان و زمستان تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر دارند. مثلاً، در ایام ابتدای تابستان آغاز و پایان روز به ترتیب در ساعات ۶ و ۲۱ می‌باشد که الگوی مصرفی مخصوص به خود را ایجاد می‌کند، درحالی‌که در ایام ابتدایی زمستان آغاز و پایان روز به ترتیب در ساعات ۷ و ۱۷ می‌باشد و الگوی مصرفی آن کاملاً با تابستان متفاوت است. همچنین عادات فرهنگی و اجتماعی مصرف‌کنندگان نیز بر روی الگوی مصرف موثر است، به نحوی که در کشور ما طی یک ماه از سال (ماه رمضان) مصرف عمده آب به ساعات شب و پیش از طلوع آفتاب منتقل می‌شود و با پایان یافتن این ماه الگوی مصرف ساعتی به وضع قبلی باز می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه شیرهای فشارشکن با نوسانات زمانی مزایایی نسبت به شیرهای با خروجی ثابت دارند، اما همچنان نقاط ضعفی نیز دارند.

در آخرین سناریو، مدل برای تعیین تنظیمات شیر فشارشکن با نوسانات دبی اجرا شد. در این حالت، با نصب یک سنسور در نقطه‌ای از شبکه که معرف فشار متوسط شبکه است، براساس مقدار فشار بدست آمده در آن نقطه، فشار خروجی از فشارشکن‌ها تنظیم می‌شود. مزیت این رویکرد این است که فشار خروجی از فشارشکن تابعی از ساعات روز بوده و به نحوی تغییر می‌کند که فشار متوسط شبکه با کمترین تغییر مواجه شود، بنابراین این رویکرد فاقد نقاط ضعف رویکرد قبلی می‌باشد. مدل فوق براساس روش پیشنهادی عبدالمجید و همکاران (۲۰۱۱) اجرا گردید [۷] و تنظیمات مربوطه بدست آمد. ویژگی این رویکرد قابلیت انعطاف آن نسبت به تغییرات ساعتی تقاضا در طی فصول سال و همچنین مصارف پیش‌بینی نشده (مانند تقاضای آتش‌نشانی در ساعات نیمه‌شب) می‌باشد.



(ب)



(الف)

شکل ۴ - (الف) مقدار فشار متوسط شبکه در هر یک از سناریوها؛ (ب) فشار تنظیمی دو فشارشکن نمونه در رویکرد نوسان زمانی

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نتایج به‌کارگیری سه رویکرد مختلف در تنظیم فشار خروجی از شیر فشارشکن مورد بررسی قرار گرفت. به‌همین منظور، یک مدل شبیه‌ساز برای تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه توزیع آب و یک مدل بهینه‌ساز برای یافتن مقادیر بهینه فشار تنظیمی ایجاد شده و به‌نحو مناسبی به یکدیگر متصل شدند. همچنین یک شبکه توزیع آب دارای منطقه‌بندی فشاری برای انجام مطالعه موردی انتخاب گردید. به‌علاوه شاخصی برای سنجش قابلیت اطمینان مشترکین معرفی شده و به‌عنوان تابع هدف بهینه‌سازی اختیار شد. شبکه مورد بررسی دارای شیرهای فشارشکن از نوع خروجی ثابت هستند. مقدار شاخص برای وضع موجود شبکه محاسبه گردید. سپس به کمک مدل بهینه‌ساز، تنظیمات بهینه شیرها با خروجی ثابت برای دستیابی به حداکثر رضایت مشترکین محاسبه شد و ملاحظه گردید که مقدار شاخص اندکی بهبود یافت.



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کنگره

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



در مرحله بعد، مقدار فشار تنظیمی شیرها با رویکرد نوسانات زمانی محاسبه گردید. در این رویکرد مقدار فشار خروجی از شیرها تابعی از ساعات شبانه روز بوده و براساس تغییر مصرف در شبکه متغیر است. در این حالت مقدار قابلیت اطمینان نسبت به رویکرد قبل بهبود قابل ملاحظه‌ای یافته است. در نهایت تنظیم فشار خروجی براساس رویکرد نوسانات دبی انجام گرفت. در این رویکرد با نصب حس گر فشار در نقاطی از شبکه و تهیه منحنی‌های فرمان، فشار خروجی از فشارشکن‌ها به صورت تابعی از فشار قرائت شده در سنسور تنظیم می‌گردد. ملاحظه می‌گردد که رویکرد مذکور نسبت به سایر رویکردها از اطمینان‌پذیری بالاتری برخوردار بوده و می‌تواند رضایت مشترکین را بالاتر ببرد.

۶. مراجع

1. Tabesh, M., (1998). Implication of the pressure dependency of outflows on data management, mathematical modeling and reliability assessment of water distribution systems. PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Liverpool, England.
2. Ostfeld, A., Kogan, D. and Shamir, U. (2002). Reliability simulation of water distribution systems – single and multiquality. *Urban Water Journal*, 4(1), 53–64, DOI: [10.1016/S1462-0758\(01\)00055-3](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00055-3).
3. Chandramouli, S. (2015). Reliability based optimal design of a municipal water supply pipe network. *Urban Water Journal*, 12(5), 353–361, DOI: [10.1080/1573062X.2014.993997](https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.993997).
4. Liserra, T. Maglionico, M., Ciriello, V. and Di Federico, V. (2014). Evaluation of reliability indicators for WDNs with demand-driven and pressure-driven models. *Journal of Water Resources Management*, 28(5), 1201–1217, DOI: [10.1007/s11269-014-0522-5](https://doi.org/10.1007/s11269-014-0522-5).
5. Nicolini, M. and Zovatto, L. (2009). Optimal location and control of pressure reducing valves in water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 135(3), 178–187, DOI: [10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2009\)135:3\(178\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:3(178)).
6. Awad, H., Kapelan, Z. and Savic, D. (2008). Analysis of pressure management economics in water distribution systems. *Proceedings of Conference on Water Distribution Systems Analysis 2008*, August 17–20, Kruger National Park, South Africa, 1–12, DOI: [10.1061/41024\(340\)45](https://doi.org/10.1061/41024(340)45).
7. AbdelMeguid, H., Skworcow, P. and Ulanicki, B. (2011). Mathematical modelling of a hydraulic controller for PRV flow modulation. *Journal of Hydroinformatics*, 13(3), 374–389, DOI: [10.2166/hydro.2011.024](https://doi.org/10.2166/hydro.2011.024).
8. Costa, L., Ramos, H. and Castro, M. (2010). Hybrid genetic algorithms with advanced search for optimized operation of water supply networks. *Integrating Water Systems*, Boxall & Maksimović (eds), Taylor & Francis Group, London, 621–626.
9. Tabesh, M., Azadi, B. and Roozbahani, A. (2011). Quality management of water distribution networks by optimizing dosage and location of chlorine injection. *International Journal of Environmental Research*, 5(2), 321–332.
10. Kurek, W. and Ostfeld, A. (2013). Multi-objective optimization of water quality, pumps operation, and storage sizing of water distribution systems. *Journal of Environmental Management*, 115, 189–97, DOI: [10.1016/j.jenvman.2012.11.030](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.030).
11. Tabesh, M. and Hoomehr, S. (2009). Consumption management in water distribution systems by optimizing pressure reducing valves' settings using genetic algorithm. *Journal of Desalination and Water Treatment*, 2(1-3), 95–100, DOI: [10.5004/dwt.2009.154](https://doi.org/10.5004/dwt.2009.154).
۱۲. لطیفی علویجه، م.، غیبی، م.ا. و نائینی، س.ت.ا. (۱۳۹۴)، مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب به کمک شیر فشارشکن و با در نظر گرفتن معیار قابلیت اطمینان فازی، دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز.
13. Todini, E. and Pilati, S. (1987). A gradient algorithm for the analysis of pipe network. In: *International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution*, Leicester Polytechnic, UK.
14. Tabesh, M., Shirzad, A., Arefkhani, V. and Mani, A. (2013). A comparative study between the modified and available demand driven based models for head driven analysis of water distribution networks. *Urban Water Journal*, 11(3), 221–230, DOI: [10.1080/1573062X.2013.783084](https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.783084).
15. Ciaponi, C., Franchioli, L., Murari, E., and Papiri, S. (2015). Procedure for defining a pressure-outflow relationship regarding indoor demands in pressure-driven analysis of water distribution networks. *Water Resources Management*, 29(3), 817–832, DOI: [10.1007/s11269-014-0845-2](https://doi.org/10.1007/s11269-014-0845-2).
16. Wagner, J.M., Shamir, U. and Marks, D.H. (1988). Water distribution reliability: simulation methods. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 114(3), 276–294, DOI: [10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1988\)114:3\(276\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1988)114:3(276)).
17. Tanyimboh, T.T. and Templeman, A.B. (2010). Seamless pressure-deficient water distribution system model. *Journal of Water Management, ICE* 163(8), 389–396.