

ارائه روشی نوین جهت تخمین میزان نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از تحلیل فشار گرهی

حسن ساقی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۱۰)

چکیده

شبکه‌های آبرسانی به‌عنوان یک سیستم هیدرولیکی انتقال و توزیع آب، همواره مورد توجه محققین بوده است. اختلاف فشار عامل اصلی انتقال آب در شبکه‌ها بوده و در صورت افزایش فشار از حد استاندارد، پدیده نامطلوب نشت در شبکه رخ می‌دهد. نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری، عامل اصلی اتلاف آب و خسارت‌های اقتصادی زیادی بوده و لذا لازم است با مدیریت فشار، مقدار نشت را مدیریت و به حداقل رساند. در این تحقیق، با استفاده از قابلیت‌های مدل تحلیل هیدرولیکی EPANET 2.0، یک شبکه توزیع آب مدل‌سازی و با ارائه روشی نوین، موقعیت نشت در آن شناسایی شد. بدین منظور ابتدا مشخصات شبکه به‌طور کامل به نرم‌افزار وارد و سپس شبکه با فرض عدم وجود نشت مورد تحلیل قرار گرفته و مقادیر فشارهای گرهی برداشت شد. در ادامه، با ایجاد یک نشت فرضی در یکی از گره‌های شبکه و تحلیل شبکه، فشارهای گرهی برداشت شد. در نهایت با تعریف اندیس نشت و مقایسه آن در گره‌های مختلف، موقعیت نشت در شبکه مشخص شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، روش پیشنهادی قابلیت خوبی در پیش‌بینی محل نشت در شبکه را دارا بوده و لذا می‌تواند جایگزین مناسبی برای سایر روش‌ها و به‌خصوص روش‌های مخرب در جهت شناسایی موقعیت نشت در شبکه شود.

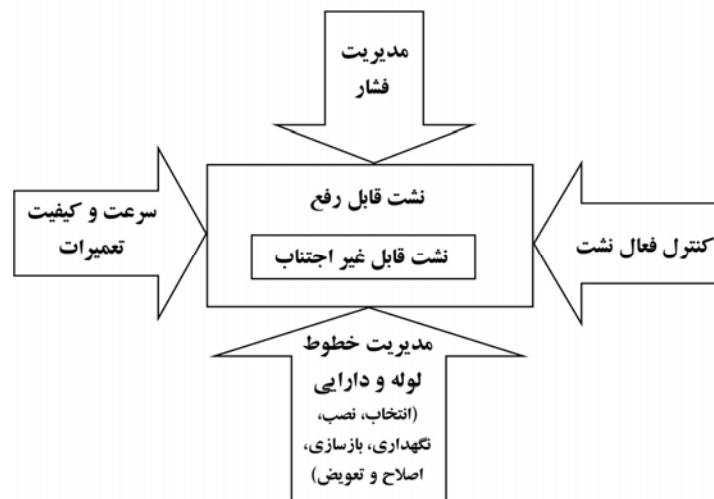
واژه‌های کلیدی: کمبود آب، تحلیل فشار گرهی، کنترل نشت، شبکه‌های توزیع آب

مقدمه

ترمیم می‌شود. در نهایت، اصلاح و تعویض لوله‌های فرسوده جهت پیشگیری از شکستگی‌های احتمالی، از دیگر روش‌های کاهش نشت و بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های توزیع آب است. پارامترهای مؤثر در کاهش نشت آب در شبکه‌های توزیع آب در شکل (۱) نشان داده شده است (۲۸).

به‌منظور بررسی پارامترهای مؤثر در ایجاد نشت، شناسایی محل‌های احتمالی نشت و نیز مقدار نشت در شبکه‌های توزیع آب، تحقیقات متعددی توسط محققین مختلف صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، ساقی و انصاری اول (۱۶) و مشرقی و اکبری‌ان کاخکی (۲۶) عوامل مؤثر بر ایجاد نشت در سامانه‌های آبرسانی و شبکه‌های توزیع آب را مورد بررسی قرار دادند. فشار، یکی از پارامترهای اصلی در بروز نشت در شبکه‌های توزیع آب بوده که تأثیر مدیریت آن بر روی میزان نشت توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، آسفی و همکارانش (۶) با استفاده از روش (District Metering Area)، تأثیر مدیریت فشار بر روی میزان نشت آب در شبکه‌های توزیع آب را مورد بررسی قرار دادند. اردکانیان و غزلی (۱) نیز رابطه میان نشت و فشار را بر روی یک خط لوله توزیع آب و به‌صورت آزمایشگاهی ارائه نمودند. سپس، تابش و یراقی (۱۱) روشی جهت محاسبه و ارزیابی نشت نامرئی زمینه و تلفات ناشی از شکستگی‌ها ارائه نمودند. آنها همچنین با شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه در هنگام حداقل جریان شبانه، نقاط مشکوک به شکستگی و میزان حساسیت آنها جهت عملیات فشارسنجی در شبکه را شناسایی و تلفات ناشی از آنها را محاسبه نمودند. اسکندری و وصالی ناصح (۳) نیز با مقایسه فشارهای حاصل از آنالیز شبکه با فشارهای به‌دست آمده از عملیات فشارسنجی، نقاط احتمالی نشت در سیستم‌های لوله‌ای تحت فشار را تعیین نمودند. آنها نقاطی که فشارها اختلاف زیادی با هم داشتند را به‌عنوان نقاط بحرانی مشخص نمودند. در ادامه، سلطانی اصل و فغفور مغربی (۱۷) اثر کاهش فشار بر نشت در یک شبکه، به‌خصوص در زمان کم مصرف (شب) را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند، با استفاده از مدیریت

تاریخ آبرسانی از زمانی آغاز شد که بشر، زندگی در شهرها را انتخاب نمود. چینی‌ها، هندیان، بابلی‌ها و مصریان، نخستین ملت‌هایی بودند که در زمینه آبرسانی آثاری از خود به‌جای گذاشتند. در ایران نیز آبرسانی شهرها نخستین بار در سال ۱۳۰۱ مورد بررسی قرار گرفته و قسمتی از شهرهای آبادان، مشهد و بیرجند نیز لوله‌کشی شد. با گذشت زمان، به دلایل مختلفی همچون رشد شهرنشینی، افزایش هزینه‌های تأمین آب و افزایش بیش از حد جمعیت و از طرفی، محدودیت منابع آب، استفاده بهینه از منابع موجود مورد توجه قرار گرفت. نشت، یکی از عوامل اصلی هدر رفت آب در شبکه‌های توزیع آب است. به‌طور کلی عامل اصلی انتقال آب در شبکه‌ها، اختلاف هد فشاری بین دو نقطه است. اما فشار بیشتر از حد استاندارد در نقاط مختلف شبکه باعث نشت آب می‌شود. بسیاری از شبکه‌های توزیع آب در معرض بحران کمبود منابع آبی، محدودیت‌های اقتصادی جهت بهره‌برداری بهینه و کهنگی و فرسودگی اجزای خود قرار داشته و فرسودگی آنها باعث ایجاد شکست مکانیکی و هیدرولیکی در اجزای شبکه و در نتیجه افزایش نشت می‌شود. لذا، مدیریت مصرف در شبکه‌های توزیع آب شهری، از مهم‌ترین راهکارهای مبارزه با تلفات آب و کاهش هدر رفت این سرمایه ملی است. انتخاب صحیح محل احداث مخازن ذخیره، اجرای طرح ناحیه‌بندی فشار، کنترل پمپاژ، کنترل سطح آب در مخازن ذخیره، احداث حوضچه‌های تعدیل فشار و استفاده از شیرهای کنترل جریان و فشار، از جمله ابزارهای مناسب جهت مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب است (۳۰). در این راستا، کنترل نشت و مدیریت فشار، از جمله روش‌های مؤثر در مدیریت تقاضای آب است. این کار، علاوه بر صرفه‌جویی در منابع تأمین آب، هزینه‌های مربوطه را نیز کاهش می‌دهد. علاوه بر مدیریت فشار، از روش‌های کنترل فعال و غیرفعال نیز می‌توان در جهت کاهش تلفات استفاده نمود. در روش‌های کنترل فعال، محل نشت شناسایی و نسبت به ترمیم آن اقدام می‌شود. در حالی که در روش‌های کنترل غیرفعال، شکستگی‌های ایجاد شده در شبکه



شکل ۱. پارامترهای مؤثر بر کاهش نشت در شبکه‌های توزیع آب

مدیریت فشار شبکه و کمینه‌سازی میزان نشت پرداختند. بعضی از محققین از مدل‌های هیدرولیکی جهت تعیین نشت در شبکه‌های توزیع آب استفاده نمودند. به‌عنوان نمونه، ایدی و جلیلی قاضی‌زاده (۵) با تلفیق مدل هیدرولیکی WaterGEMS و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، مدلی جهت تخمین میزان نشت در شبکه ارائه و در ادامه، الگویی جهت کمینه کردن مقدار نشت ارائه نمودند. فاضل ولی‌پور و فغفورمغربی (۲۳) نیز با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و از طریق واسنجی مدل هیدرولیکی فشارهای گره‌ای شبکه و جریان ورودی به سیستم توزیع آب شهری و با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS، به بررسی موقعیت و مقدار نشت در شبکه پرداختند.

روش‌های مختلف بهینه‌سازی شامل الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم کلونی مورچه‌ها و الگوریتم پرندگان، توسط محققین مختلف جهت بررسی نشت در شبکه‌های توزیع آب مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، بزرگمهری بودزجمهری و قاجار (۸) با استفاده از روش ژنتیک الگوریتم، روشی جهت تعیین محل و مقدار نشت ارائه نمودند. در ادامه، شاملو و حقیقی (۱۸) با استفاده از مدل‌سازی جریان گذرا و برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط اعداد صحیح و حقیقی و الگوریتم

فشار، می‌توان ضمن کاهش نشت شبانه به حدود ۳۵٪، توزیع فشار را در شبکه یکنواخت‌تر نمود.

شیرهای فشارشکن، یکی از روش‌هایی است که به‌منظور از بین بردن اضافه فشار موجود در شبکه با تنظیم فشار خروجی در موقعیت نصب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع شیرها در صورتی می‌توانند باعث کاهش فشار در شبکه شوند که، مقدار فشار در محل شیر بیشتر از فشار پایین‌دست و کمتر از فشار بالادست باشد. عملکرد شیرهای فشارشکن در شبکه‌های توزیع آب، به‌منظور کنترل فشار و در نتیجه کاهش نشت توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، جهانگیر و همکاران (۱۳) با استفاده از روش مبتنی بر تقاضا (DDSM) و نیز با نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی و تنظیم زمانی آن در جهت تأمین فشار استاندارد در تمامی گره‌های شبکه، تأثیر مدیریت هوشمند فشار بر شبکه و نیز اثر آن بر کنترل میزان نشت را بررسی نمودند. آنها نشان دادند، کنترل هوشمند فشار شیرها در حدود ۲۷ درصد میزان نشت را کاهش می‌دهد. در ادامه، تابش و هومهر (۱۰) مدلی جهت یافتن حالت بهینه تنظیم شیرآلات در شبکه، به‌منظور کمینه کردن فشار و در نتیجه کاهش نشت ارائه نمودند. اسلامیان و شفاقیان (۴) نیز به بررسی و تعیین تعداد و موقعیت بهینه شیرهای فشارشکن در یک شبکه توزیع آب جهت

تلاش شده است تا تعریف و روش عملی برای آن ارائه شود. این مفهوم اساس روش جدیدی را تشکیل می‌دهد که در آن هر فعالیت مورد تحلیل قرار گرفته تا هزینه‌های جانبی آن با سایر فعالیت‌های مرتبط با هزینه‌های تولید آب مورد مقایسه قرار گیرد. در این زمینه نیز تحقیقاتی نیز انجام شده است. به‌عنوان نمونه، عبدی و صمدی‌پور (۲۲) کاربرد سطح اقتصادی نشت در مدیریت تلفات شبکه‌های توزیع آب را مورد بررسی قرار دادند. افزایش سن لوله‌ها باعث افزایش حوادث و نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری شده که اصلاح شبکه را ضروری می‌سازد. در این راستا، تعدادی از محققین، تحقیقاتی در زمینه عملکرد شبکه‌های توزیع آب در حال بهره‌برداری انجام دادند. به‌عنوان مثال، تابش و کریمی (۹) با فرض خطی بودن تغییرات نرخ حوادث برحسب زمان، هزینه‌های دوره بهره‌برداری برای سه روش مدیریت نشت در شبکه شامل رفع حوادث، عملیات نشت‌یابی و جایگزینی لوله‌ها را محاسبه و با مقایسه آنها ابتدا زمان مناسب نشت‌یابی و سپس زمان نوسازی شبکه را تعیین نمودند. در ادامه، مثنایی (۲۵) پنج سال عملیات نشت‌یابی بر روی شبکه توزیع آب در یکی از مناطق تهران را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. سپس، نوربخش و امینی (۲۷) دلایل بروز نشت در شبکه‌های توزیع آب در شهر اصفهان را بررسی و پس از معرفی، تجهیزات نشت‌یابی، آمار نشت‌یابی‌های صورت گرفته در این شهر را ارائه نمودند. از دیگر تحقیقات انجام گرفته در زمینه بررسی نشت آب در لوله‌های فرسوده می‌توان به مطالعه انجام شده توسط شاهنگیان و تابش (۱۹) اشاره نمود. آنها رابطه نشت-فشار در لوله فولادی قدیمی را به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده و با ایجاد نشت مصنوعی در لوله فولادی قدیمی با قطر اسمی ۱۱۰ میلی‌متر، دبی خروجی از محل نشت را در هوای آزاد و بدون هیچگونه مانعی در برابر جریان آب و به ازای فشارهای مختلف اندازه‌گیری نمودند.

از دیگر تحقیقات انجام گرفته در زمینه نشت می‌توان به مطالعات اسدیانی یکتا و تابش (۲) اشاره نمود. آنها روش جدیدی جهت محاسبه میزان نشت گره‌ها و لوله‌ها در شبکه‌های

ژنتیک، به مطالعه نشت در خطوط لوله پرداختند. حسن‌زاده و فغفور مغربی (۱۴) نیز با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها و از طریق کالیبراسیون مدل هیدرولیکی فشارهای گره‌ای شبکه توزیع آب شهری، موقعیت و مقدار نشت در شبکه را مورد بررسی قرار دادند. سپس ذونعمت کرمانی و رجائی (۱۵) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و براساس داده‌های فشار موجود، میزان دبی نشت در شبکه را مورد بررسی قرار دادند. کلیایی و محمدولی سامانی (۲۴) نیز مطالعاتی جهت پیش‌بینی محل نشت در شبکه‌های توزیع آب و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. آنها به‌منظور پیش‌بینی محل و میزان نشت در شبکه‌های توزیع آب، با داشتن فشار اندازه‌گیری شده در تعدادی از گره‌های شبکه، روشی مبتنی بر مدل‌سازی هیدرولیکی و حل معکوس معادلات جریان ارائه نمودند. در ادامه، بذری و علامتیان (۷) موقعیت و میزان نشت در شبکه را با استفاده از روش بهینه‌یابی الگوریتم پرندگان تعیین نمودند. آنها نتایج این روش را با الگوریتم‌های کلونی مورچگان و ژنتیک مقایسه و برتری و کارآمدی الگوریتم پرندگان را نشان دادند. از دیگر تحقیقات انجام گرفته می‌توان به مطالعات انجام شده توسط تیموری و همکاران (۱۲) اشاره نمود. آنها با استفاده از الگوریتم ژنتیک، به بررسی موقعیت نشت در شبکه توزیع آب پرداخته و با استفاده از روش کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا، خطای ناشی از افت فشار را محاسبه نمودند. Creaco و Pezzinga نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بررسی نشت در شبکه‌های توزیع آب پرداختند (۲۹).

از آنجا که کنترل نشت و تلفات می‌تواند فعالیتی پر هزینه باشد، امروزه شرکت‌های متولی آب شهرهای بزرگ دنیا به دنبال راهی برای دستیابی به سطحی از نشت هستند که بین هزینه و منابع حاصل از عملیات کنترل نشت توازن برقرار شود. به‌طور کلی توازن بین هزینه و منافع در تمامی حوزه‌های فنی و مهندسی عمومیت داشته و موضوع سطح اقتصادی بهره‌برداری در برخی صنایع موضوعی پیش پا افتاده است. در این راستا، سطح اقتصادی نشت در دنیا سابقه‌ای چندین ده ساله داشته و طی آن

اساسی حاکم بر جریان آب در شبکه توزیع شامل معادلات پیوستگی و انرژی بوده و مطابق روابط زیر است.

$$\sum VA = 0 \quad (1)$$

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h_p - h_t - h_l \quad (2)$$

در رابطه فوق، h_p هد پمپ، h_t هد توربین، h_l افت موضعی و h_f افت طولی اصطکاکی است. افت طولی اصطکاکی در جریان سیال تراکم‌ناپذیر در لوله، به خواص سیال نظیر چگالی ρ و لزجت μ ، خصوصیات جریان نظیر سرعت متوسط V ، خصوصیات لوله نظیر طول L ، قطر داخلی لوله D و خصوصیات زبری جدار داخلی لوله نظیر اندازه e ، فاصله e' و شکل برآمدگی‌های زبری m بستگی دارد. با به‌کار بردن تحلیل ابعادی (Dimensional Analysis) مقدار افت طولی اصطکاکی h_f را می‌توان با رابطه زیر تعریف نمود:

$$h_f = \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \phi \left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{e}{D}, \frac{e'}{D}, m \right) \quad (3)$$

در رابطه فوق، ϕ نشانگر تابع، e اندازه زبری در جدار لوله برحسب متر، e' فاصله زبری‌ها (متر) و m فاکتور شکل زبری‌ها است. به‌دلیل این که بررسی کمی اثر m و e' دشوار است، لذا از اثرات آنها صرف‌نظر شده و در مقدار e مقادیر آنها در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، معادله فوق به‌صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$h_f = \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \phi \left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{e}{D} \right) \quad (4)$$

در رابطه فوق $\rho V D / \mu$ عدد رینولدز (Re) خوانده و e/D پارامتر بدون بعد موسوم به زبری نسبی است. بدین ترتیب با تعریف ضریب اصطکاک یا فاکتور اصطکاک (f) به‌صورت

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

رابطه فوق اولین بار در سال ۱۸۵۵ توسط وایسباخ ارائه شد. به خاطر تحقیقات وسیع داری بر روی جریان در لوله‌ها، نام او نیز همراه معادله آمده است و این معادله در حال حاضر به فرمول داری-وایسباخ معروف است. اگرچه فرمول افت طولی اصطکاکی داری-وایسباخ از نظر ابعادی همگن است، اما فرمول‌های تجربی ناهمگن از نظر ابعادی نیز وجود دارند که

توزیع آب شهری ارائه نمودند. آنها جریان حداقل شبانه در منطقه را اندازه‌گیری و با استفاده از استانداردهای انجمن بین‌المللی آب (IWA) میزان نشت کلی در شبکه را تخمین زده و در نهایت شاخص‌های نشت را تعیین نمودند. بررسی نشت آب در داخل ساختمان نیز توسط بعضی از محققین مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، زرک و همکاران (۳۲) به بررسی پدیده فرسایش در لوله‌های آب ناشی از وجود اکسیژن در آب گرم که عامل اصلی نشت در شبکه است، پرداختند. استفاده از روش‌های غیرمخرب نیز توسط بعضی از محققین مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، صنیعی و همکارانش (۲۱) تعیین موقعیت‌یابی نشتی در لوله‌های مدفون آب شهر زیبا را با استفاده از روش غیرتخریبی راداری و با کمک دستگاه GPR مورد بررسی قرار دادند. در نهایت، بعضی از محققین، محل نشت از لوله‌ها را به‌صورت روزنه در نظر گرفته و با استفاده از مفاهیم هیدرولیکی به بررسی پدیده نشت در شبکه پرداختند. به‌عنوان مثال، شاهنگیان و تابش (۲۰) از مفهوم روزنه جهت مدل‌سازی نشت در یک شبکه استفاده نموده و تأثیر دو پارامتر ضریب تخلیه و سطح مقطع نشت را بر روی رابطه میان فشار آب و میزان نشت مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند، این دو پارامتر تأثیر به‌سزائی بر میزان نشت در شبکه دارد.

مرور تحقیقات انجام شده، نشانگر لزوم تداوم مطالعه در زمینه بررسی پدیده نشت در شبکه‌های توزیع آب است. لذا در تحقیق حاضر، روشی نوین جهت تخمین میزان نشت در شبکه‌های آبرسانی به کمک تحلیل فشارهای گرهی ارائه شده است.

معادلات حاکم

شبکه‌های توزیع آب شامل لوله، پمپاژ، شیر مخزن و سایر متعلقات بوده و طراحی آن در فرآیندی به نام مدل‌سازی انجام می‌شود. این فرآیند برای شناسایی و اطمینان از عملکرد سیستم در شرایط مختلف شامل حالت نرمال مصرف، حداکثر و شرایط بحرانی نظیر آتش‌نشانی و قابلیت اطمینان شبکه است. روابط

از چاه وارد شبکه می‌شود و یا دارای املاح زیاد است، معمولاً مساحت لوله پس از مدتی به صورت تأثیرگذاری کاهش می‌یابد. در مواردی ممکن است به خاطر خطای اطلاعات موجود شبکه نظیر وضعیت شیرها، تغییرات سطح آب مخزن و توپوگرافی منطقه، خطاهایی در مدل ایجاد شود. در نهایت، روش‌های تحلیل شبکه به خاطر برخی ساده‌سازی‌های زبری، مصارف و ... خطاهایی را ایجاد می‌کنند که باعث اختلاف نتایج مدل‌سازی و نتایج واقعی می‌شود. با این حال، استفاده از مدل‌سازی عددی، همچنان به‌عنوان یکی از ابزارهای مناسب و کم هزینه جهت شبیه‌سازی شبکه‌های توزیع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راستا، ایده به‌کار رفته در این تحقیق بر مبنای محاسبه اختلاف فشارهای گرهی در دو حالت شبکه بدون نشت و وجود نشت گرهی و با ایجاد یک نشت فرضی گرهی پایه‌ریزی شده است. بدین منظور، ابتدا شبکه مورد بررسی (شکل ۲ (۳۱)) در نرم‌افزار EPANET 2.0 مدل‌سازی و مشخصات شبکه به‌طور کامل به نرم افزار وارد شد. سپس شبکه با فرض عدم وجود نشت مورد تحلیل قرار گرفته و مقادیر فشارهای گرهی برداشت و در نهایت، با ایجاد یک نشت فرضی در یکی از گره‌های شبکه و تحلیل شبکه، فشارهای گرهی برداشت شد. در این تحقیق، برای تحلیل حساسیت شبکه نسبت به موقعیت نشت، از رابطه زیر استفاده شد (۳۱).

$$LI(i) = \frac{(H_{nol}^i - H_i^i)}{(H_{nol}^j - H_i^j)_{max}} \times 100 \quad (8)$$

در رابطه فوق، i شماره گره، j گره نشت‌دار، H_{nol}^i هد فشار در حالت بدون نشت در گره i ، H_i^i هد فشار در حالت نشت‌دار در گره i ، H_{nol}^j هد فشار در حالت بدون نشت در گره j ، H_j^j هد فشار در حالت نشت‌دار در گره j و $LI(i)$ درصد اختلاف فشار در دو حالت شبکه دارای نشت و بدون نشت و در گره i بوده که به آن "اندیس نشت" گفته می‌شود. با استفاده از رابطه فوق، به‌صورت گرافیکی می‌توان موقعیت نشت در شبکه را مشخص نمود. در روش ارائه شده در مقاله مذکور، می‌بایست فشارهای گرهی در تمامی نقاط شبکه در حالت

به‌طور وسیعی استفاده می‌شوند. متداول‌ترین این فرمول‌ها، فرمول هیزن- ویلیامز بوده که در ذیل نشان داده شده است:

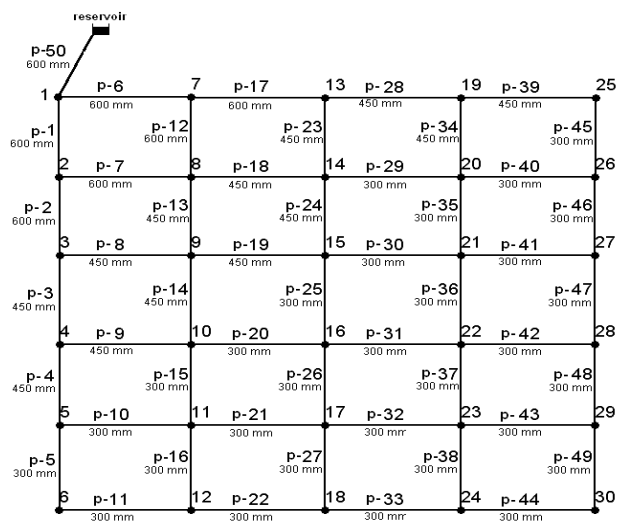
$$V = 0.49 C_{HW} R_H^{0.63} S^{0.54} \quad (6)$$

$$h_f = \frac{10.68 L Q^{1.852}}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}} \quad (7)$$

در این معادله، V سرعت متوسط جریان برحسب متربرثانیه، C_{HW} ضریب هیزن ویلیامز، R_H شعاع هیدرولیکی برحسب متر، S شیب خط انرژی، Q دبی برحسب متر مکعب بر ثانیه و L و D به ترتیب طول و قطر لوله است که برحسب متر بیان می‌شوند (۳۱).

مدل‌سازی شبکه

شبکه‌های توزیع آب به‌منظور طراحی، بهره‌برداری و توسعه، نیاز به مدل‌سازی کامپیوتری دارند. معمولاً در مدل‌سازی شبکه‌ها، مقادیر فشار و دبی و به‌طور کلی پارامترهای شبکه با مقادیر محاسباتی متفاوت است. این امر ناشی از تفاوت پارامترهای طراحی با مقادیر واقعی است. در بین پارامترهای مختلف طراحی، مهم‌ترین پارامترها شامل زبری لوله، قطر و طول لوله، مشخصات شیرآلات، ابعاد مخازن، مقدار سرانه مصرف و در نهایت، خطای تحلیل است. زبری در نظر گرفته شده در طراحی، متأثر از زبری ذاتی لوله، پیچ‌وخم و اتصالات و سرعت در لوله بوده و در لوله‌های قدیمی به شدت متأثر از عمر لوله، رسوب‌گذاری و رشد جلبک است. تعیین مقدار آب مصرفی، یکی از نامعین‌ترین پارامترها در طراحی شبکه به‌شمار می‌آید. عواملی که باعث پیچیده‌گی در برآورد این پارامتر می‌شود شامل عدم دقیق بودن برآورد جمعیت و در نتیجه مصرف سرانه، توزیع زمانی مصرف آب که دارای تغییرات ساعتی، روزانه و فصلی بوده و در نهایت، عدم اطلاع دقیق از مقدار مصارف غیرمجاز (انشعابات غیرمجاز) و مقدار نشت که اصطلاحاً آب به‌حساب نیامده نامیده می‌شوند، است. همچنین باید به این نکته توجه داشت که توزیع واقعی مصارف در شبکه با آنچه در مدل‌سازی ارائه می‌شود متفاوت است. به‌عنوان مثال، در آب‌هایی که مستقیماً



شکل ۲. شبکه مورد بررسی در این تحقیق

در رابطه فوق، m و n گره‌های انتخاب شده جهت فشارسنجی و $LI(m/n)$ اندیس نسبی نشت هستند. روش کار به این صورت است که ابتدا مقادیر $LI(m/n)$ برای دو گره m و n از ماتریس شاخص نشت و به ازای نشت پایه محاسبه می‌شود $(LI(m/n)_{base leak})$. سپس با انجام فشارسنجی در گره‌های m و n از شبکه، در حالت وجود نشت واقعی، مقادیر $LI(m/n)$ به ازای نشت واقعی برداشت می‌شود $(LI(m/n)_{real leak})$. در ادامه با تعریف یک بازه به‌عنوان بازه مظنون به نشت، نقطه نشت‌دار شناسایی می‌شود.

نتایج

در روش ارائه شده لازم است برداشت فشارسنجی در حداقل دو نقطه انجام شود. اما در صورتی که بیش از یک نقطه در بازه مظنون به نشت قرار گرفت، لازم است فشارسنجی در یک گره دیگر از شبکه نیز انجام شود. در این صورت سه بازه مظنون به نشت ایجاد می‌شود. بدیهی است گره‌ای که در هر سه بازه وجود داشته باشد، گره نشت‌دار خواهد بود. در این تحقیق، شبکه نشان داده شده در شکل ۲ مورد بررسی قرار می‌گیرد (۳۳). این شبکه شامل ۲۰ حلقه، ۳۰ گره، ۵۰ لوله و یک مخزن است. طول لوله‌های افقی و عمودی به ترتیب ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متر، متوسط زبری مطلق (ϵ) کلیه لوله‌ها ۰/۲۶ mm، مصرف گرهی

نشت‌دار برداشت شوند و سپس با استفاده از رابطه (۸) اقدام به ترسیم کنتورهای هم فشار و تعیین موقعیت نشت نمود. در اینجا به منظور بررسی کارایی روش، سعی شده است تا با تعمیم فرمول (۸) و افزودن چندین گام محاسباتی، بتوان با انجام حداقل فشارسنجی در تعدادی از گره‌های شبکه موقعیت نشت را تشخیص داد. برای این منظور ابتدا با اعمال یک نشت فرضی (نشت پایه Base Leak) در تک تک گره‌های شبکه و تحلیل شبکه در هر حالت، مقدار اندیس نشت برای تمامی گره‌ها به دست می‌آید. در نهایت، با داشتن مقادیر این پارامتر برای وجود نشت در تمامی گره‌ها، ماتریس شاخص نشت تشکیل می‌شود. سپس با انتخاب حداقل دو گره از شبکه، اقدام به فشارسنجی در گره‌های انتخابی در حالت وجود نشت واقعی می‌شود. با توجه به این که اندیس نشت قابل استفاده جهت شناسایی نشت با انجام فقط دو فشارسنجی نیست، از یک اندیس بدون بعد که به صورت زیر است، استفاده می‌شود:

$$LI(m/n) = \frac{LI(m)}{LI(n)} = \frac{\frac{(H_{nol}^m - H_1^m)}{(H_{nol}^i - H_1^i)} \times 100}{\frac{(H_{nol}^n - H_1^n)}{(H_{nol}^j - H_1^j)} \times 100} = \frac{(H_{nol}^m - H_1^m)}{(H_{nol}^n - H_1^n)} \frac{(H_{nol}^j - H_1^j)}{(H_{nol}^i - H_1^i)} \quad (9)$$

جدول ۱. ماتریس شاخص نشت برای شبکه مورد بررسی و به ازاء دبی نشت پایه ۱۰ لیتر بر ثانیه

شماره گره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۹۹/۰۵	۸۱/۲۵	۷۱/۲۳	۶۰/۱۲	۴۸/۳۷	۳۹/۵۴	۸۳/۸۷	۸۱/۲۵	۷۱/۲۳	۶۰/۱۲	۴۶/۰۲	۴۱/۷۷	۷۷/۰۴	۷۴/۸۲	۶۹/۳۳
۲	۹۹/۰۵	۱۰۰	۸۶/۳	۷۲/۸۳	۵۷/۶	۴۷/۵۳	۹۵/۱۶	۹۸/۴۴	۸۶/۳	۷۲/۸۳	۵۵/۳۱	۵۰/۲	۸۸/۸۹	۸۸/۴۹	۸۳/۳۳
۳	۹۹/۲۲	۱۰۰	۸۱/۵	۷۲/۸۵	۵۱/۲	۴۷/۸۵	۹۵/۹۷	۹۸/۴۴	۹۵/۲۱	۸۱/۵	۶۱/۵	۵۵/۸۲	۹۰/۳۷	۹۱/۳۷	۹۱/۳۳
۴	۹۸/۴۴	۹۸/۴۴	۹۶/۵۸	۷۹/۰۷	۱۰۰	۶۲/۷۴	۹۶/۷۷	۹۸/۴۴	۹۷/۲۶	۱۰۰	۷۳/۴۵	۶۷/۲۷	۹۱/۱۱	۹۲/۸۱	۹۴
۵	۹۸/۴۴	۹۵/۸۹	۹۸/۲۷	۱۰۰	۷۳/۳۸	۹۶/۷۷	۹۸/۴۴	۹۷/۲۶	۹۸/۲۷	۹۸/۲۷	۸۴/۵۱	۷۶/۳۱	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۴
۶	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۴/۵۲	۸۹/۷۷	۹۵/۳۸	۱۰۰	۹۵/۹۷	۹۶/۷۷	۹۵/۸۹	۹۵/۳۸	۸۹/۳۸	۹۶/۳۹	۹۱/۱۱	۹۲/۰۹	۹۳/۳۳
۷	۹۹/۰۵	۹۲/۱۹	۸۱/۵۱	۶۸/۷۹	۵۵/۳۵	۴۵/۲۵	۱۰۰	۹۲/۹۷	۸۱/۵۱	۶۸/۷۹	۵۲/۶۵	۴۷/۷۹	۹۱/۱۱	۸۷/۰۵	۷۹/۳۳
۸	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۸۶/۳	۷۲/۲۵	۵۸/۱۴	۴۷/۵۳	۹۵/۹۷	۱۰۰	۸۶/۳	۱۰۰	۷۲/۲۵	۵۵/۳۱	۸۹/۶۳	۸۹/۹۳	۸۴
۹	۹۹/۰۵	۹۸/۴۴	۹۴/۵۲	۸۲/۰۸	۶۵/۵۶	۵۳/۶۱	۹۵/۹۷	۹۸/۴۴	۱۰۰	۸۲/۰۸	۶۲/۳۹	۵۷/۱۳	۹۱/۱۱	۹۲/۸۱	۹۵/۳۳
۱۰	۹۸/۴۴	۹۸/۴۴	۹۶/۵۸	۷۹/۰۷	۱۰۰	۶۲/۷۴	۹۶/۷۷	۹۸/۴۴	۹۷/۲۶	۱۰۰	۷۳/۴۵	۶۷/۲۷	۹۱/۱۱	۹۲/۸۱	۹۴
۱۱	۹۸/۴۴	۹۵/۲۱	۹۵/۹۵	۸۹/۳	۹۵/۹۵	۷۷/۱۹	۹۶/۷۷	۹۸/۴۴	۹۶/۵۸	۹۵/۹۵	۸۲/۳۳	۸۲/۳۳	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۴
۱۲	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۴/۵۲	۸۷/۹۱	۹۴/۸	۹۱/۶۳	۹۵/۹۷	۹۷/۶۶	۹۵/۸۹	۹۷/۶۶	۹۴/۸	۹۰/۲۷	۹۱/۱۱	۹۲/۰۹	۹۳/۳۳
۱۳	۱۰۰	۹۳/۷۵	۸۳/۵۶	۷۱/۱	۵۷/۲۱	۴۷/۱۵	۹۹/۱۹	۹۵/۳۱	۸۴/۲۵	۹۹/۱۹	۸۴/۲۵	۵۴/۸۷	۱۰۰	۹۱/۳۷	۸۲/۶۷
۱۴	۹۹/۰۵	۹۶/۰۹	۸۶/۹۹	۷۳/۹۹	۵۹/۵۳	۴۹/۰۵	۹۶/۷۷	۹۷/۶۶	۸۸/۳۶	۹۷/۶۶	۷۳/۹۹	۵۶/۶۴	۵۱/۸۱	۹۳/۳۳	۸۶/۶۷
۱۵	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۸۳/۱۵	۸۰/۹۲	۶۵/۱۲	۵۳/۲۳	۹۵/۹۷	۹۸/۴۴	۹۷/۹۵	۹۷/۹۵	۸۰/۹۲	۶۱/۹۵	۹۱/۱۱	۹۳/۵۳	۱۰۰
۱۶	۹۸/۴۴	۹۴/۵۲	۹۴/۵۲	۹۲/۴۹	۷۷/۲۱	۶۵/۷۸	۹۶/۷۷	۹۸/۴۴	۹۶/۵۸	۹۶/۷۷	۹۲/۴۹	۶۹/۸۸	۹۱/۸۵	۹۲/۵۳	۹۴/۶۷
۱۷	۹۸/۴۴	۹۴/۵۲	۹۴/۵۲	۹۴/۲۲	۸۴/۶۵	۷۷/۱۹	۹۶/۷۷	۹۸/۴۴	۹۶/۵۸	۹۶/۷۷	۹۴/۲۲	۸۹/۳۸	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۴
۱۸	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۴/۵۲	۹۳/۶۴	۸۵/۵۸	۸۴/۷۹	۹۵/۹۷	۹۷/۶۶	۹۵/۸۹	۹۷/۶۶	۹۳/۶۴	۸۸/۵	۹۱/۹۷	۹۲/۰۹	۹۳/۳۳
۱۹	۹۹/۰۵	۹۴/۵۳	۸۴/۹۳	۷۲/۸۳	۵۷/۰۹	۴۹/۰۵	۹۸/۳۹	۹۵/۳۱	۸۶/۳	۹۵/۳۱	۷۲/۸۳	۵۶/۶۵	۹۷/۷۸	۹۲/۸۱	۸۴/۶۷
۲۰	۱۰۰	۹۵/۳۱	۸۶/۳	۷۵/۱۴	۶۰/۹۳	۵۰/۵۷	۹۸/۳۹	۹۶/۸۸	۸۸/۳۶	۹۶/۸۸	۷۵/۱۴	۵۸/۴۱	۹۷/۰۴	۹۴/۹۶	۸۶/۶۷
۲۱	۹۹/۰۵	۹۶/۸۷	۹۱/۱	۹۶/۸۷	۸۱/۵	۶۷/۴۴	۹۶/۷۷	۹۶/۷۷	۹۳/۱۵	۹۳/۱۵	۶۷/۴۴	۶۰/۶۴	۹۳/۳۳	۹۳/۵۳	۹۳/۳۳
۲۲	۹۹/۰۵	۹۶/۸۷	۹۳/۱۵	۹۳/۱۵	۸۹/۰۲	۷۵/۸۱	۹۵/۹۷	۹۷/۶۶	۹۵/۲۱	۹۷/۶۶	۸۹/۰۲	۷۶/۱۱	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۳/۳۳
۲۳	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۳/۸۴	۹۲/۴۹	۸۲/۳۳	۷۷/۰۵	۹۵/۹۷	۹۷/۶۶	۹۵/۸۹	۹۷/۶۶	۹۲/۴۹	۸۵/۴	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۳/۳۳
۲۴	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۴/۵۲	۹۳/۶۴	۸۴/۶۵	۸۱/۳۷	۹۶/۷۷	۹۸/۴۴	۹۵/۸۹	۹۶/۷۷	۹۳/۶۴	۸۸/۳۵	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۴
۲۵	۱۰۰	۹۵/۳۱	۸۵/۶۲	۷۳/۹۹	۶۰	۷۳/۹۹	۹۹/۱۹	۹۶/۰۹	۸۶/۹۹	۹۹/۱۹	۴۹/۳۳	۷۳/۹۹	۹۷/۷۸	۹۳/۵۳	۸۵/۳۳
۲۶	۹۹/۰۵	۹۵/۳۱	۸۶/۹۹	۷۵/۷۲	۶۱/۸۶	۵۱/۷۱	۹۸/۵۷	۹۶/۰۹	۸۸/۳۶	۹۶/۰۹	۵۹/۷۳	۵۵/۰۲	۹۶/۳	۹۳/۵۳	۸۷/۳۳
۲۷	۱۰۰	۹۶/۸۷	۹۰/۴۱	۸۲/۰۸	۵۸/۱۷	۶۸/۳۷	۹۷/۵۸	۹۷/۶۶	۹۳/۱۵	۹۷/۶۶	۸۲/۰۸	۶۱/۸۸	۹۷/۰۴	۹۴/۲۴	۹۲
۲۸	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۳/۱۵	۹۳/۱۵	۸۸/۴۴	۷۶/۲۸	۹۶/۷۷	۹۷/۶۶	۹۵/۲۱	۹۷/۶۶	۷۶/۲۸	۷۶/۵۵	۷۱/۸۹	۹۲/۵۹	۹۳/۳۳
۲۹	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۳/۸۴	۹۱/۹۱	۸۱/۸۶	۷۷/۰۵	۹۵/۹۷	۹۷/۶۶	۹۵/۸۹	۹۷/۶۶	۸۱/۹۱	۸۴/۵۱	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۳/۳۳
۳۰	۹۹/۰۵	۹۷/۶۶	۹۳/۸۴	۹۳/۰۶	۸۳/۷۲	۸۰/۲۳	۹۵/۹۷	۹۷/۶۶	۹۵/۸۹	۹۷/۶۶	۸۰/۲۳	۸۶/۷۳	۹۱/۸۵	۹۲/۸۱	۹۳/۳۳

در تمام گره‌ها ۵۰ l/s و قطر لوله‌ها، شماره گره‌ها و شماره

لوله‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.

در شبکه فوق، ابتدا یک نشت پایه به مقدار ۱۰ لیتر بر ثانیه

در تک تک گره‌ها اعمال شد. سپس شبکه تحلیل و با استفاده از

رابطه ۸ ماتریس شاخص نشت تشکیل شد. نتایج به‌دست آمده

در جدول (۱) ارائه شده است.

در گام بعدی، یک نشت واقعی به مقدار ۱۰ لیتر بر ثانیه در

گره ۲۰ فرض شده و با استفاده از نرم افزار EPANET 2.0،

شبکه برای وجود این مقدار نشت تحلیل و مقادیر

فشارهای گرهی محاسبه و نتایج به‌دست آمده در جدول (۲) ارائه

ادامه جدول یک

شماره گره	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
۱	۵۰/۴۹	۴۵/۴۱	۴۲/۲۸	۶۴/۶	۶۱/۵۴	۵۳/۰۶	۴۸/۱۵	۴۴/۴۴	۴۱/۲۷	۵۹/۰۹	۵۱/۲۳	۴۷/۷۱	۴۵/۰۲	۴۲/۶۲	۳۹/۶۹
۲	۶۰/۶۸	۵۴/۵۹	۵۰/۸۱	۷۵/۱۶	۷۲/۱۹	۶۳/۲۷	۵۷/۸۷	۵۳/۴۲	۴۹/۶	۶۸/۷۸	۶۰/۱	۵۶/۸۸	۵۴/۱۱	۵۱/۲۳	۴۷/۷۱
۳	۶۶/۹۹	۶۰/۲۶	۵۶/۱	۷۷/۶۴	۷۴/۵۶	۶۷/۸۶	۶۳/۴۳	۵۸/۹۷	۵۴/۷۶	۷۱/۰۲	۶۲/۵۶	۶۰/۵۵	۵۸/۸۷	۵۶/۵۶	۵۲/۶۷
۴	۷۷/۶۷	۷۱/۱۸	۶۶/۲۶	۷۸/۸۸	۷۶/۹۲	۷۲/۴۵	۷۱/۷۶	۶۸/۳۸	۶۴/۲۹	۷۲/۷۳	۶۵/۰۲	۶۵/۱۴	۶۶/۶۷	۶۵/۵۷	۶۱/۴۵
۵	۸۰/۵۸	۷۹/۴۸	۷۵/۲	۷۹/۵	۷۷/۵۱	۷۴/۴۹	۷۵/۹۳	۷۶/۰۷	۷۲/۲۲	۷۳/۳	۶۶/۰۱	۶۷/۴۳	۷۱	۷۲/۵۴	۶۹/۰۸
۶	۸۳/۵	۸۷/۷۷	۸۹/۸۴	۸۰/۱۲	۷۸/۱۱	۷۶/۵۳	۸۱/۴۸	۸۵/۰۴	۸۴/۱۳	۷۳/۸۶	۶۷	۶۹/۷۲	۷۶/۱۹	۸۱/۵۶	۷۹/۷۷
۷	۵۷/۷۷	۵۱/۹۷	۴۸/۳۷	۷۵/۷۸	۷۱/۶	۶۱/۲۲	۵۵/۵۶	۵۰/۸۵	۴۷/۲۲	۶۹/۳۲	۵۹/۶۱	۵۵/۰۵	۵۱/۹۵	۴۹/۱۸	۴۵/۴۲
۸	۶۰/۶۸	۵۴/۵۹	۵۰/۸۱	۷۵/۷۸	۷۲/۷۸	۶۳/۲۷	۵۷/۸۷	۵۳/۴۲	۴۹/۶	۶۹/۳۲	۶۰/۵۹	۵۶/۸۸	۵۴/۱۱	۵۱/۲۳	۴۷/۷۱
۹	۶۸/۴۵	۶۱/۱۴	۵۶/۹۱	۷۸/۲۶	۵۷/۴	۶۹/۳۹	۶۴/۳۵	۵۹/۸۳	۴۹/۶	۵۵/۵۶	۷۱/۵۹	۶۳/۵۵	۶۱/۱۷	۵۷/۳۸	۵۳/۴۴
۱۰	۷۷/۶۷	۷۱/۱۸	۶۶/۲۶	۷۸/۸۸	۷۶/۹۲	۷۲/۴۵	۷۱/۷۶	۶۸/۳۸	۶۴/۲۹	۷۲/۷۳	۶۵/۰۲	۶۵/۱۴	۶۶/۶۷	۶۵/۵۷	۶۱/۴۵
۱۱	۸۳/۵	۸۸/۲۱	۸۱/۷۱	۸۰/۱۲	۷۸/۱۱	۷۶/۰۲	۸۰/۰۹	۸۲/۴۸	۷۸/۱۷	۷۳/۸۶	۶۷	۶۹/۲۷	۷۴/۸۹	۷۸/۶۹	۷۴/۸۱
۱۲	۸۳/۹۸	۸۹/۵۲	۹۲/۶۸	۸۰/۱۲	۷۸/۱۱	۷۷/۰۴	۸۲/۴۱	۸۷/۱۸	۸۶/۵۱	۷۳/۸۶	۶۷	۶۹/۱۸	۷۷/۴۹	۸۲/۲	۸۲/۰۶
۱۳	۶۰/۱۹	۵۴/۱۵	۵۰/۴۱	۸۱/۹۹	۷۶/۹۲	۶۴/۸	۵۷/۸۷	۵۲/۹۹	۴۹/۲۱	۷۵	۶۴/۰۴	۵۸/۲۶	۵۴/۱۱	۵۰/۸۲	۴۷/۳۳
۱۴	۶۲/۶۲	۵۶/۳۳	۵۲/۴۴	۸۰/۱۲	۷۷/۵۱	۶۶/۳۳	۵۹/۷۲	۵۵/۱۳	۵۱/۱۹	۷۳/۳	۶۴/۰۴	۵۹/۶۳	۵۵/۸۴	۵۲/۸۷	۴۹/۲۴
۱۵	۶۸/۴۵	۶۱/۱۴	۵۶/۹۱	۷۸/۲۶	۵۷/۴	۶۹/۳۹	۶۴/۳۵	۵۹/۸۳	۴۹/۶	۵۵/۵۶	۷۱/۵۹	۶۳/۵۵	۶۱/۱۷	۵۷/۳۸	۵۳/۴۴
۱۶	۱۰۰	۷۸/۶	۷۱/۵۴	۸۰/۷۵	۷۹/۲۹	۷۷/۵۵	۸۴/۲۶	۷۶/۵	۷۰/۲۴	۷۶/۹۸	۷۴/۴۳	۷۰/۶۴	۷۶/۶۲	۷۲/۹۵	۶۷/۹۴
۱۷	۸۷/۳۸	۱۰۰	۸۶/۱۸	۸۰/۷۵	۷۹/۲۹	۷۷/۵۵	۸۴/۲۶	۷۶/۵	۷۰/۲۴	۸۳/۳۳	۷۴/۴۳	۷۰/۶۴	۷۶/۶۲	۷۲/۹۵	۸۰/۵۳
۱۸	۸۵/۴۴	۹۲/۱۴	۱۰۰	۸۰/۱۲	۷۸/۷	۷۷/۵۵	۸۴/۲۶	۷۶/۵	۷۰/۲۴	۹۲/۰۶	۷۳/۸۶	۶۹/۴۹	۷۱/۵۶	۷۹/۶۵	۸۷/۰۲
۱۹	۶۲/۶۲	۵۶/۳۳	۵۲/۴۴	۸۰/۱۲	۷۸/۷	۷۷/۵۵	۸۴/۲۶	۷۶/۵	۷۰/۲۴	۹۲/۰۶	۷۳/۸۶	۶۹/۴۹	۷۱/۵۶	۷۹/۶۵	۸۷/۰۲
۲۰	۶۵/۰۵	۵۸/۵۲	۵۴/۴۷	۹۴/۴۱	۸۱/۹۹	۷۳/۹۸	۶۳/۴۳	۵۷/۶۹	۵۳/۱۷	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳
۲۱	۷۳/۷۹	۶۶/۸۱	۶۲/۲	۸۵/۷۱	۸۵/۲۱	۷۵/۹۳	۶۶/۶۷	۵۷/۶۹	۵۳/۱۷	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳
۲۲	۸۸/۳۵	۷۹/۴۸	۷۳/۹۸	۸۱/۹۹	۸۱/۰۷	۸۳/۱۶	۸۱/۲	۵۷/۶۹	۵۳/۱۷	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳
۲۳	۸۶/۸۹	۹۲/۵۸	۸۶/۵۹	۸۱/۳۷	۷۹/۲۹	۷۹/۵۹	۸۸/۴۳	۵۷/۶۹	۵۳/۱۷	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳
۲۴	۸۶/۴۱	۹۲/۱۴	۹۴/۷۲	۸۱/۳۷	۷۹/۲۹	۷۹/۵۹	۸۸/۴۳	۵۷/۶۹	۵۳/۱۷	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳
۲۵	۶۳/۵۹	۵۷/۲۱	۵۳/۲۵	۹۹/۳۸	۹۰/۵۳	۷۰/۹۲	۶۲/۰۴	۵۷/۴۱	۵۱/۹۸	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳
۲۶	۶۶/۵	۵۹/۸۳	۵۶/۱	۹۳/۷۹	۹۴/۰۸	۷۷/۰۴	۶۶/۲	۵۹/۴	۵۴/۷۶	۸۹/۲	۱۰۰	۷۳/۸۵	۶۲/۷۷	۵۷/۳۸	۵۳/۰۵
۲۷	۷۴/۷۶	۶۸/۱۲	۶۳/۴۱	۸۶/۹۶	۸۶/۹۸	۹۲/۳۵	۷۷/۷۸	۶۶/۳۸	۶۲/۷	۸۰/۶۸	۷۹/۸	۱۰۰	۷۵/۳۲	۶۶/۶۹	۶۰/۶۹
۲۸	۸۵/۹۲	۷۹/۹۱	۷۴/۸	۸۲/۶۱	۸۶/۹۸	۸۶/۹۸	۹۲/۳۵	۶۶/۳۸	۶۲/۷	۸۰/۶۸	۷۹/۸	۱۰۰	۷۵/۳۲	۶۶/۶۹	۶۰/۶۹
۲۹	۸۶/۴۱	۹۰/۸۳	۸۶/۵۹	۸۱/۳۷	۷۹/۸۸	۸۸/۴۳	۸۰/۱	۵۷/۶۹	۵۳/۱۷	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳
۳۰	۸۵/۹۲	۹۱/۷	۹۳/۰۹	۸۰/۷۵	۷۹/۲۹	۷۹/۰۸	۸۶/۵۶	۵۷/۶۹	۵۳/۱۷	۸۶/۹۳	۸۶/۹۳	۷۸/۳۳	۶۷/۴۳	۵۵/۳۳	۵۱/۵۳

انتخاب شد. سپس با انتخاب بازه مظنون به نشت، نمودار مربوطه ترسیم شده و نقطه (نقاط) مظنون به نشت شناسایی شد. در اینجا مقدار $LI(11/20)_{real leak} \pm 0.05$ برای این بازه در نظر گرفته شده و نتایج به دست آمده در شکل (۳) نشان داده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل فوق، می توان گفت تنها گره ۲۰ در بازه مظنون به نشت واقع شده و لذا این گره، گره

شده است. در این مرحله، اندیس نشت بین گره ۱۱ و سایر گره‌ها محاسبه و در جدول (۳) ارائه شده است: به عنوان نمونه، اندیس نشت بین دو گره ۱۱ و ۲۰ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$LI(11/20)_{real leak} = \frac{38/67 - 37/35}{58/64 - 56/95} = 0.7811$$

در این مرحله، دو گره ۱۱ و ۲۰ جهت انجام فشارسنجی

جدول ۲. مقادیر فشارهای گرهی در صورت وجود نشت واقعی ۱۰ لیتر بر ثانیه در در گره ۲۰

شماره گره	بدون نشت	با وجود نشت	شماره گره	بدون نشت	با وجود نشت
۱	۸۱/۳۲	۸۰/۳۹	۱۶	۴۳/۹۰	۴۲/۶
۲	۶۶/۹۷	۶۵/۷۱	۱۷	۳۶/۰۷	۳۴/۷۳
۳	۶۰/۰۴	۵۸/۴۳	۱۸	۳۳/۳۰	۳۲/۰۱
۴	۴۹/۶۸	۴۸/۱۱	۱۹	۶۰/۶۶	۵۹/۲
۵	۴۲/۸۴	۴۱/۴۳	۲۰	۵۸/۵۸	۵۶/۹۵
۶	۳۴/۷۱	۳۳/۳۲	۲۱	۵۰/۱۸	۴۸/۶۸
۷	۷۰/۰۴	۶۸/۸۳	۲۲	۴۰/۶۹	۳۹/۳۶
۸	۶۶/۵۰	۶۵/۳	۲۳	۳۴/۶۳	۳۳/۴
۹	۵۸/۵	۵۷/۲۲	۲۴	۳۲/۷۱	۳۱/۴۴
۱۰	۴۹/۶۸	۴۸/۳۸	۲۵	۵۹/۸۴	۵۸/۲۵
۱۱	۳۸/۶۷	۳۷/۳۵	۲۶	۵۵/۳۳	۵۳/۸۸
۱۲	۳۴/۱۷	۳۲/۸۵	۲۷	۴۷/۹۵	۴۶/۶۱
۱۳	۶۶/۴۱	۶۵/۱۵	۲۸	۳۹/۷۶	۳۸/۴۶
۱۴	۶۳/۶	۶۲/۲۹	۲۹	۳۴/۲۹	۳۳/۰۲
۱۵	۵۸/۰۱	۵۶/۷۱	۳۰	۳۱/۴۵	۳۱/۲۶

جدول ۳. مقادیر به دست آمده برای اندیس نشت بین گره ۱۱ و سایر گره‌ها

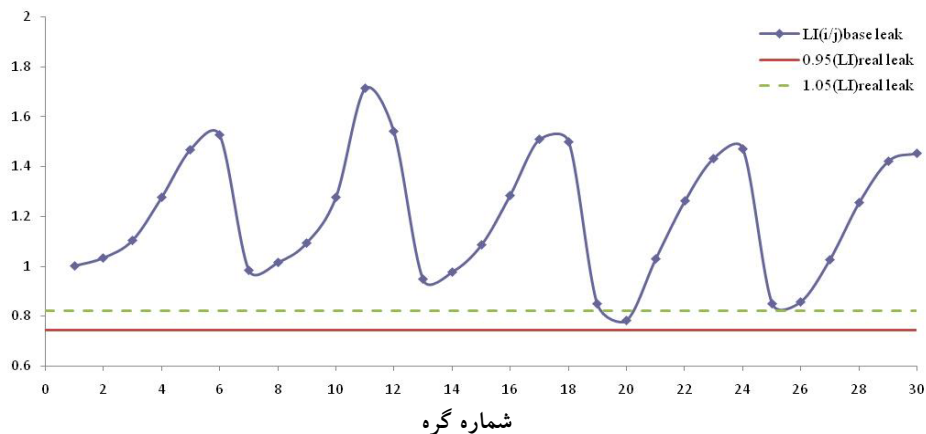
شماره گره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
انديس نشت	۱/۰۳۲۸	۱/۱۰۳۲	۱/۲۷۶۹	۱/۴۶۵۶	۱/۵۲۶۳	۰/۹۸۳۶	۱/۰۱۶۱	۱/۰۹۳	۱/۲۷۶۹	۱/۲۷۶۹
شماره گره	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
انديس نشت	۱/۷۱۲۱	۱/۵۴۱۴	۰/۹۴۶۶	۰/۹۷۷۳	۱/۰۸۴۶	۱/۲۸۳۶	۱/۵۰۷۵	۱/۵	۰/۸۴۸۷	۰/۷۸۱۱
شماره گره	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
انديس نشت	۱/۰۲۷۶	۱/۲۶۲۸	۱/۴۲۹۶	۱/۴۷۰۱	۰/۸۴۹۷	۰/۸۵۵۳	۱/۰۲۷۲	۱/۲۵۳۶	۱/۴۲۲۲	۱/۴۵۱۹

داده‌ایم (جدول ۱). مقدار نشت واقعی نیز برابر ۵۰ لیتر بر ثانیه در گره ۱۶ در نظر گرفته شده و نتیجه تحلیل نرم افزاری برای این مقدار نشت در جدول (۴) نشان داده شده است. فشارسنجی در سه مرحله شامل فشارسنجی بین گره‌های (۱۱ و ۲۰)، (۱۱ و ۲۸) و (۲۰ و ۲۸) انجام شد. در این مرحله، اندیس نشت بین گره‌های مختلف محاسبه و نتایج به دست آمده در جدول (۵) ارائه شده است.

در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده، بازه مظنون به نشت بر اساس فشارسنجی در حالت‌های مختلف تعیین و در شکل‌های (۴) الی (۶) نشان داده شده است.

نشت‌دار در شبکه است. در اینجا به دلیل این که یکی از گره‌های فشارسنجی منطبق بر گره نشت‌دار بود، فقط یک گره در بازه مذکور واقع شد. اما در صورتی که هیچ‌یک از گره‌های فشارسنجی بر گره نشت‌دار منطبق نبوده و یا مقدار نشت پایه انتخابی با مقدار نشت واقعی یکی نباشد، ممکن است تعداد نقاط بیشتری داخل بازه قرار گرفته که در این صورت می‌بایست یک نقطه دیگر نیز فشارسنجی شود. در مثال بعد، این حالت نیز بررسی شده است.

در مثالی دیگر، مقدار نشت پایه برابر ۱۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده که ماتریس شاخص نشت آن را قبلاً تشکیل



شکل ۳. بازه مظنون به نشت در شبکه مورد بررسی

جدول ۴. مقادیر فشارهای گرهی در صورت وجود نشت واقعی ۵۰ لیتر بر ثانیه در در گره ۱۶

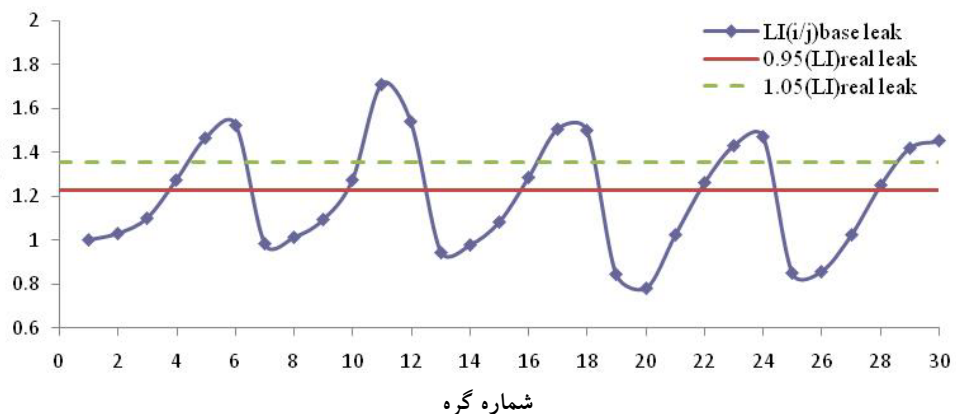
شماره گره	بدون نشت	با وجود نشت	شماره گره	بدون نشت	با وجود نشت
۱	۸۱/۳۲	۷۶/۲۸	۱۶	۴۳/۹۰	۳۳/۴۶
۲	۶۶/۹۷	۶۰/۶۳	۱۷	۳۶/۰۷	۲۶/۹۱
۳	۶۰/۰۴	۵۳/۰۶	۱۸	۳۳/۳۰	۲۴/۳۵
۴	۴۹/۶۸	۴۱/۶۱	۱۹	۶۰/۶۶	۵۴/۱۴
۵	۴۲/۸۴	۳۴/۴۴	۲۰	۵۸/۵۸	۵۱/۸۸
۶	۳۴/۷۱	۲۵/۹۲	۲۱	۵۰/۱۸	۴۲/۳۸
۷	۷۰/۰۴	۶۳/۹۹	۲۲	۴۰/۶۹	۳۱/۴
۸	۶۶/۵۰	۶۰/۱۸	۲۳	۳۴/۶۳	۲۵/۶۱
۹	۵۸/۵	۵۱/۳۸	۲۴	۳۲/۷۱	۲۳/۷۳
۱۰	۴۹/۶۸	۴۱/۶۱	۲۵	۵۹/۸۴	۵۳/۱۶
۱۱	۳۸/۶۷	۲۹/۹۴	۲۶	۵۵/۳۳	۴۸/۵۲
۱۲	۳۴/۱۷	۲۵/۳۱	۲۷	۴۷/۹۵	۴۰/۲۴
۱۳	۶۶/۴۱	۶۰/۱۸	۲۸	۳۹/۷۶	۳۰/۷۶
۱۴	۶۳/۶	۵۷/۰۶	۲۹	۳۴/۲۹	۲۵/۲۶
۱۵	۵۸/۰۱	۵۰/۸۳	۳۰	۳۱/۴۵	۲۳/۵۴

فشارسنجی قرار گرفته، گره شماره ۱۶ بوده که این گره، همان گره نشت دار است. لذا می‌توان ملاحظه نمود، روش ارائه شده قابلیت خوبی در پیش‌بینی محل نشت در شبکه‌های توزیع آب را داراست.

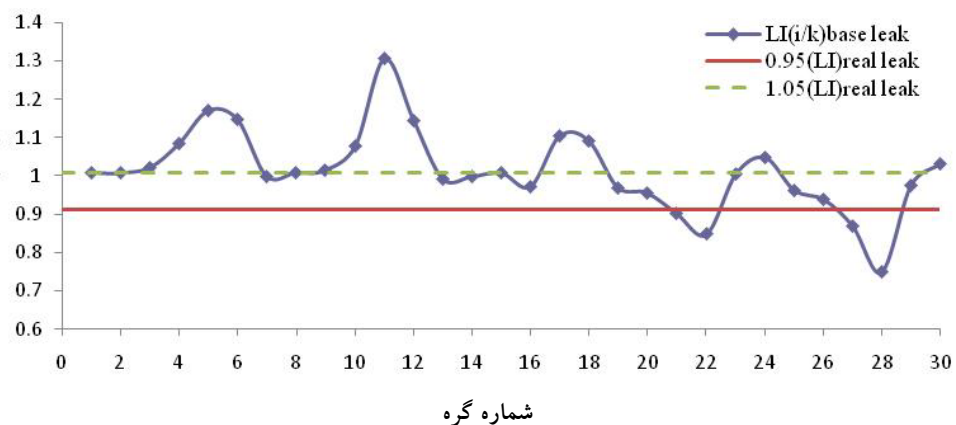
با توجه به نتایج ارائه شده در شکل های (۴) تا (۶)، گره‌های مظنون به نشت تعیین و در جدول (۶) ارائه معرفی شده است. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۶، تنها گره‌ای که در هر سه

جدول ۵. مقادیر اندیس نشت به‌دست آمده در مثال دوم

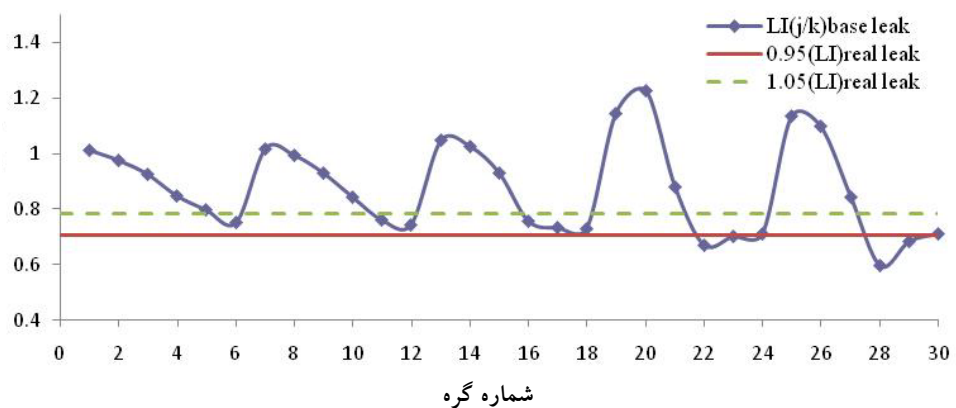
شماره گره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
اندیس نشت (بین گره ۱۱ و ۲۰)	۱	۱/۰۳۲۸	۱/۱۰۲۲	۱/۲۷۶۹	۱/۴۶۵۶	۱/۵۲۶۳	۰/۹۸۳۶	۱/۰۱۶۱	۱/۰۹۳	۱/۲۷۶۹	۱/۷۱۲۱	۱/۵۲۱۴	۰/۹۴۶۶	۰/۹۷۷۳	۱/۴۵۱۸۵
اندیس نشت (بین گره ۱۱ و ۲۸)	۱/۰۰۹۶	۱/۰۰۰۸	۱/۰۲۲۱	۱/۰۸۵	۱/۱۷۰۷	۱/۱۴۶۹	۱	۱/۰۰۰۸	۱/۰۱۴۴	۱/۰۷۷۹	۱/۳۰۶۴	۱/۱۴۵۳	۰/۹۹۲	۱	۱/۳۱۵۸
اندیس نشت (بین گره ۲۰ و ۲۸)	۱/۰۰۹۶	۰/۹۷۶	۰/۹۲۶۵	۰/۸۴۹۷	۰/۷۹۸۸	۰/۷۵۱۴	۱/۰۱۶۷	۰/۹۹۲	۰/۹۲۸۱	۰/۸۴۴۲	۰/۷۶۳	۰/۷۴۳	۱/۰۴۸	۱/۰۲۳۳	۰/۷۱۰۵۳
شماره گره	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
اندیس نشت (بین گره ۱۱ و ۲۰)	۱/۴۸۳۶	۱/۵۰۷۵	۱/۵	۰/۸۴۸۷	۰/۷۸۱۱	۱/۰۳۷۶	۱/۴۶۲۸	۱/۴۲۶۶	۱/۴۷۰۱	۰/۸۴۹۷	۰/۸۵۵۳	۱/۰۲۲۲	۱/۲۵۳۶	۱/۴۲۲۲	۱/۴۵۱۸۵
اندیس نشت (بین گره ۱۱ و ۲۸)	۰/۹۷۱۸	۱/۱۰۳۸	۱/۰۹۲۴	۰/۹۶۹۹	۰/۹۵۶۵	۰/۹۰۳	۰/۸۴۸	۱/۰۰۵۲	۱/۰۴۷۹	۰/۹۶۳	۰/۹۳۷۹	۰/۸۶۷۸	۰/۷۴۸۹	۰/۹۷۴۶	۱/۰۳۱۵۸
اندیس نشت (بین گره ۲۰ و ۲۸)	۰/۷۵۷۱	۰/۸۳۲۲	۰/۷۲۸۳	۱/۱۴۲۹	۱/۲۲۴۶	۰/۸۷۸۸	۰/۶۷۱۶	۰/۷۰۳۱	۰/۷۱۲۸	۱/۱۳۳۳	۱/۰۹۶۶	۰/۸۴۴۸	۰/۵۹۷۴	۰/۶۸۵۳	۰/۷۱۰۵۳



شکل ۴. بازه مظنون به نشت مثال دوم فشارسنجی در گره‌های ۱۱ و ۲۰



شکل ۵. بازه مظنون به نشت مثال دوم فشارسنجی در گره‌های ۱۱ و ۲۸



شکل ۶. بازه مظنون به نشت مثال دوم فشارسنجی در گره‌های ۲۰ و ۲۸

جدول ۶. گره های مظنون به نشت براساس فشارسنجی های انجام شده

گره های فشارسنجی	گره های مظنون به نشت
فشارسنجی در گره های ۱۱ و ۲۰	۲۸-۲۲-۱۶-۱۰-۴
فشارسنجی در گره های ۱۱ و ۲۸	۲۹-۲۶-۲۵-۲۰-۱۹-۱۶-۱۴-۱۳
فشارسنجی در گره های ۲۰ و ۲۸	۱۸-۱۷-۱۶-۱۲-۱۱-۶

نتیجه گیری

در این تحقیق، با استفاده از قابلیت های مدل تحلیل هیدرولیکی EPANET 2.0، شبکه ای شامل ۲۰ حلقه، ۳۰ گره، ۵۰ لوله و یک مخزن مدل سازی و مشخصات شبکه به طور کامل به نرم افزار وارد شد. سپس شبکه با فرض عدم وجود نشت مورد تحلیل قرار گرفته و مقادیر فشارهای گرهی برداشت شد. سپس یک نشت پایه به مقدار ۱۰ لیتر بر ثانیه در تک تک گره ها اعمال شد و شبکه تحلیل و ماتریس شاخص نشت آن تشکیل شد. در گام بعدی، یک نشت واقعی به مقدار ۱۰ لیتر بر ثانیه در گره ۲۰ فرض شده و با استفاده از نرم افزار EPANET 2.0، شبکه برای وجود این مقدار نشت تحلیل و مقادیر فشارهای گرهی محاسبه شد. با توجه به نتایج ارائه شده می توان گفت تنها گره ۲۰ بازه مظنون به نشت واقع شده و لذا این گره، گره نشت دار در

شبکه است که با شرایط تعریف شده همخوانی دارد. در مثالی دیگر، مقدار نشت واقعی نیز برابر ۵۰ لیتر بر ثانیه در گره ۱۶ در نظر گرفته شده و عملیات فشارسنجی در سه مرحله شامل فشارسنجی بین گره های (۱۱ و ۲۰)، (۱۱ و ۲۸) و (۲۰ و ۲۸) انجام شد. در نهایت، با استفاده از نتایج به دست آمده، بازه مظنون به نشت براساس فشارسنجی در حالت های مختلف تعیین شد. با توجه به نتایج ارائه شده می توان دید ۵ نقطه مظنون به نشت داخل بازه قرار گرفته است. لذا برای تعیین گره نشت دار، در یک گره دیگر نیز فشارسنجی انجام شده که به این ترتیب با توجه به رابطه ۱۰، ۳ بازه مظنون به نشت ایجاد می گردد (شکل های ۴ تا ۶). براساس نتایج ارائه شده در جدول (۶)، می توان ملاحظه نمود، تنها گره ای که در هر سه فشارسنجی، جزء گره های مظنون به نشت است، گره شماره ۱۶ بوده که این گره، همان گره نشت دار است. لذا می توان ملاحظه نمود، روش ارائه شده قابلیت خوبی در پیش بینی محل نشت در شبکه های توزیع آب را داراست. بنابراین در مجموع می توان گفت، روش پیشنهادی قابلیت خوبی در پیش بینی محل نشت در شبکه را داراست. لذا می تواند جایگزین سایر روش ها و به خصوص روش های مخرب در جهت شناسایی موقعیت نشت در شبکه شود.

منابع مورد استفاده

۱. اردکانیان، ر. و غزلی، ع. ا. ۱۳۸۳. رابطه بین فشار و نشت در شبکه های توزیع آب شهری. اولین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف. ۲۴ تا ۲۷ اردیبهشت.
۲. اسدیانی یکتا، ا. م. و تابش، م. ۱۳۸۹. یک مدل تلفیقی جامع برای محاسبه و مدیریت نشت در شبکه های توزیع آب شهری. نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری ۴۴(۱): ۱-۱۲.
۳. اسکندری، س. و وصالی ناصح، م. ر. ۱۳۸۵. تعیین نقاط احتمالی نشت در سیستم های لوله ای تحت فشار به کمک تعادل فشاری و با استفاده از مدل WaterGEMS. اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ایران، تهران. ۳۰ بهمن تا ۱ اسفند.
۴. اسلامیان، ع. و شفاقیان، م. ر. ۱۳۹۴. تعیین موقعیت بهینه شیرهای فشار شکن در شبکه آبرسانی جهت کاهش نشت مطالعه موردی شهرک ملوسجان. کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب. ایران، تهران. ۲۵ مهر.
۵. ایدی، ض. و جلیلی قاضی زاده، م. ر. ۱۳۸۸. تهیه مدل تعیین نشت لحظه ای در لوله های شبکه توزیع آب با تلفیق مدل هیدرولیکی WaterGEMS و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز. ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت.

۶. آسفی، ح.، ا. ذوالنوری، ع. ر. نوذری‌پور و غ. ر. مرادی. ۱۳۸۸. مدیریت فشار شبکه‌های توزیع آب شهری و استفاده صحیح از منابع آب. اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر. ۱ تا ۲ اسفند.
۷. بذری، م. و ا. علامتیان، ۱۳۹۳. شناسایی نشت به روش الگوریتم پرندگان در شبکه‌های توزیع آب مطالعه موردی پهنه II شهرمشهد. همایش ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار با محوریت استفاده از روش‌های نوین در مهندسی عمران. ۲۷ آذر ۱۳۹۳.
۸. بزرگمهری بوذرجمهری، ر. و ع. قاجار، ۱۳۸۵. یافتن نشتی در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران. ایران، تهران. ۷ تا ۹ آذر.
۹. تابش، م. و کریمی، ک. ۱۳۸۵. تعیین زمان نشت یابی و نوسازی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از تحلیل اطلاعات حوادث. نشریه دانشکده فنی ۴۰(۵): ۵۹۷-۶۱۱.
۱۰. تابش، م. و س. هومهر. ۱۳۸۵. مدیریت نشت در شبکه‌های آبرسانی به وسیله بهینه‌سازی تنظیم شیرآلات با استفاده از الگوریتم ژنتیک. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. ایران، اصفهان، ۳ تا ۴ بهمن.
۱۱. تابش، م. و پ. یراقی، ۱۳۸۲. بررسی نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از مفهوم تلفات زمینه و شکستگی‌ها. ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. ایران، اصفهان، ۱۵ اردیبهشت.
۱۲. تیموری، ن. و ح. گلمائی و آ. بوستانی. ۱۳۹۳. مکانیابی نشت در شبکه‌های توزیع آب براساس کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا. اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. ایران، تهران. ۱۱ دی.
۱۳. جهانگیر، م.، غ. ع. بارانی و ع. ر. جهانگیر. 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.
۱۴. حسن‌زاده، ی. و م. فغفورمغربی. ۱۳۸۹. شناسایی نشت بر مبنای بهینه‌یابی به روش کلونی مورچه‌ها در شبکه‌های توزیع آب. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. ایران، تهران. ۱۸ تا ۲۰ آبان ۱۳۸۹.
۱۵. ذونعمت کرمانی، م. و ط. رجائی. ۱۳۸۹. تخمین میزان نشت آب در شبکه‌های آبرسانی با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی. همایش علمی چالش آب در استان قم. ایران، قم. ۹ خرداد ۱۳۸۹.
۱۶. ساقی، ح. و ع. انصاری اول. ۱۳۹۳. عوامل موثر در ایجاد نشت در سامانه‌های آبرسانی و شبکه‌های توزیع آب شهری. نهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی. مشهد، ۲۷ آذرماه ۱۳۹۳.
۱۷. سلطانی اصل، م. و م. فغفورمغربی. ۱۳۸۸. بررسی اثرات مدیریت فشار در کاهش نشت از شبکه‌های آبرسانی (مطالعه موردی: منطقه سرفرازان مشهد). سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره‌برداری. ایران، تهران. ۴ تا ۵ اسفند.
۱۸. شاملو، ح. و ع. حقیقی، ۱۳۸۷. شناسایی نشت در خطوط لوله با استفاده از مدل‌سازی جریان گذرا و برنامه ریزی غیرخطی مختلط اعداد صحیح و حقیقی و الگوریتم ژنتیک. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. ایران، تهران. ۲۱ تا ۲۳ آبان.
۱۹. شاهنگیان، ا.ر. و م. تابش. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی رابطه نشت-فشار بر روی لوله فولادی قدیمی. دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در عمران، معماری و مدیریت شهری. ایران، تهران. ۱۳ اسفند.
۲۰. شاهنگیان، ا.ر. و م. تابش. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر پارامترهای ضریب تخلیه و سطح مقطع نشت در رابطه نشت فشار. دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری. ایران، تهران.
۲۱. صنیعی، م.، ه. پوردار، م. نظرزاده و م. زینی. ۱۳۹۱. موقعیت یابی نشتی در لوله‌های مدفون آب شهر زیبا استفاده از تکنولوژی

- راداری. همایش ملی عمران و توسعه پایدار.
۲۲. عبدی، ا. و م. صمدی پور. ۱۳۸۵. کاربرد سطح اقتصادی نشت در مدیریت تلفات شبکه‌های توزیع آب. اولین همایش ملی بهره‌برداری در بخش آب و فاضلاب. ایران، تهران. ۲ تا ۳ اسفند.
۲۳. فاضل ولی پور، ب.، م. فغفورمغربی. ۱۳۸۸. نشت یابی شبکه‌های آبرسانی شهری با اندازه‌گیری میدانی فشارهای گره‌ای (مطالعه موردی: شهرک گلپهار). هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران. ۲۴ تا ۲۶ آذر.
۲۴. کلیایی، پ. و ح. محمدولی سامانی. ۱۳۹۱. پیش‌بینی محل نشت در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. ایران، اصفهان. ۱۹ تا ۲۱ اردیبهشت.
۲۵. مثنایی، آ. ۱۳۸۵. بررسی و ارزیابی ۵ سال عملیات نشت یابی بر روی شبکه توزیع آبفای شهر تهران (منطقه ۳). اولین همایش ملی بهره‌برداری در بخش آب و فاضلاب. ایران، تهران. ۲ تا ۳ اسفند.
۲۶. مشرفی، ع. ر. و م. اکبریان کاخکی، م. جمشیدی. ۱۳۹۴. بررسی مهم‌ترین عوامل ایجاد نشت در شبکه‌های آبرسانی شهری. کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب. ایران، تهران. ۲۵ تا ۲۶ مهر.
۲۷. نوربخش، ه. و ه. امینی. ۱۳۸۸. عملکرد نشت یابی در کاهش آب بدون درآمد با مطالعه موردی کلان شهر اصفهان. سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره‌برداری. ایران، تهران. ۴ تا ۵ اسفند.
۲۸. وزارت نیرو، ۱۳۸۶. دستورالعمل شناخت و نحوه مطالعه عوامل مؤثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن. نشریه شماره ۳۰۸ الف، ۱۳-۲۰: ۱۶۸-۲۲۷.

29. Creaco, E., G. Pezzinga. 2015. Embedding linear programming in multi objective genetic algorithms for reducing the size of the search space with application to leakage minimization in water distribution. *Environmental Modelling & Software* 69: 308-318.
30. Jing, K., Z. Zhi-Hong. 2012. Time Prediction Model for Pipeline Leakage Based on Grey Relational Analysis. *J. Physics Procedia*, 25:2019-2024.
31. Poulakis, Z., D. Valougeorgis and C. Papadimitriou. 2003. Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework. *Probabilistic Engineering Mechanics* 18:315-327.
32. Zorc, B., B. Kosec, L. Kosec and A. Nagode. 2013. Analysis of hot water pipeline system leakage. *Eng. Fail. Ana.* 28: 78-81.

Presenting a New Method of Estimating the Amount of Leakage in Pipeline Networks Using Nodal Pressures Analysis

H. Saghi

(Received: May 8-2015 ; Accepted: July 31-2016)

Abstract

The water supply networks have always been of significance to researchers as a hydraulic system of transferring and distributing water. The pressure gradient is the main reason of water transfer in networks, and in case of non-standard pressure increase, the undesirable phenomenon of leakage occurs in the network. Leakage in urban water distribution networks causes water waste and enormous financial losses. Therefore, there exists the need to manage and minimize the amount of leakage. In this study, a water distribution network is modeled using the potentialities of hydraulic analysis model, the EPANET 2.0, and, by presenting a new model, the leakage location is recognized. In order to do this, we, firstly, entered all the network parameters into the software. Then, the network was analyzed supposing the non-occurrence of leakage and the amounts of nodal pressures were measured. Moreover, the nodal pressures were estimated by creating a hypothetical leakage in one of the network nodes and analyzing the network. Finally, the position of leakage was determined by defining the leakage index and comparing it in various nodes. The results show that the suggested method is efficiently capable of predicting the leakage position in the network so it can safely replace other methods, especially destructive methods used in recognizing the leakage position in the network.

Keywords: leakage control, Nodal pressure analysis water distribution networks, Water shortage

1. Dept. of Civil Eng., Hakim Sabzevari Univ., Sabzevar, Iran.

*: Corresponding Author, Email: h.saghi@hsu.ac.ir