سال دوم، شماره ۱، شهریور ۱۳۹٤، صفحات ۵۹ تا ٦٦
نشریه آب و توسعه پایدار

2015, Vol.2, No.1, Pages 59 to 66
Journal of Water and Sustainable Development

بررسی روش نشت‌یابی در شبکه آب تحت فشار بر مبنای رابطه فشار- نشت

(ارائه کد بهینه‌یابی مکان‌یابی نشت)

آرمین بوستانی[۱]، سعیدرضا خداشناس[۲*]

۱و۲- به ترتیب دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب-سازه‌های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
*(نویسنده مسئول، E-Mail: khodashenas@um.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۶
تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۲۰

چکیده

تخمین نشت در هر شبکه شامل برآورد و شناسایی چندین مولفه نظیر مصارف غیر مجاز، نشت‌های زمینه‌ای و شکستگی‌هاست که ماهیت هر کدام از این مولفه‌ها با یکدیگر متفاوت است. مهمترین این مولفه‌ها، تلفات ناشی از شکستگی‌ها و نشت‌های بزرگی است که علاوه بر هدر دادن منابع آب شیرین، مخاطراتی را نیز برای ساختمان‌ها و در نتیجه آلودگی آب‌ها در پی دارد. در این تحقیق ضمن مطالعه روش‌های موجود مکان‌یابی نشت بر مبنای بهینه‌یابی و مقایسه آن‌ها، یک کد در محیط Matlab برمبنای الگوریتم تابع هدف کمینه، که براساس رابطه افت فشار و نقاط احتمالی نشت استوار است، اجرا شد. با فرض بهینه‌یابی حداقل مربعات خطا بین داده‌های محاسباتی (رابطه فشار- نشت) با داده‌های مشاهداتی (فرض نشت در گره‌ها) اعتبارسنجی مدل انجام شد. کد ارائه شده توانست بخوبی گره‌های فرضی دارای نشت و توزیع مقادیر نشت بین گره‌ها را با کمینه کردن اختلاف فشار مشخص نماید. نتایج اجرای مدل و مقایسه داده‌های مشاهداتی مبتنی بر روش بهینه‌یابی و روش‌های شناسایی نشت مرتبط با تغییرات فشار در شبکه نشان داد، که علاوه بر انتخاب روش مناسب و واسنجی مدل، حتماً بایستی داده‌های مشاهداتی و ورودی نظیر قرائت فشارسنج‌ها، الگوی مصرف ناحیه مورد مطالعه و شناسایی حداکثری انشعابات غیرمجاز در بررسی میدانی برای بهبود موقعیت‌یابی نقطه‌ای نشت‌ها در شبکه و تخمین جامع و صحیح مقدار آن‌ها مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: نشت، شبکه آب، فشار، Matlab، روش بهینه‌یابی.

Studying a leakage detection method in pressurized water networks based on the pressure–leakage relation

(Presentation of Optimization Code for Locating Leakage)

A. Boostani[1], S.R. Khodashenas[2*]

1,2- PhD student of Water Engineering- water structures & Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
*(Corresponding author Email: khodashenas@um.ac.ir)
Received: 7-9-2014
Accepted: 10-5-2015

Abstract

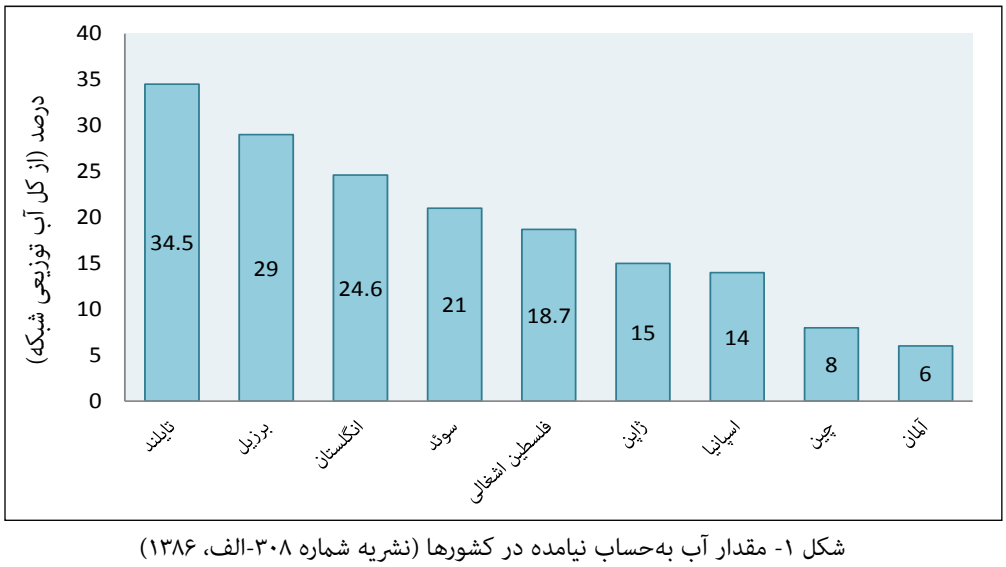
Estimation of leakage in a network consists of several attributes, such as unauthorized use, minor leaks and networking events whose natures are different from each other. The most important attributes are large losses due to breakage and major leaks which in addition to wasting fresh water resources, will lead to water pollution and problems for the buildings. In this paper, leakage detection methods which are based on optimization were studied and compared. A Matlab code was presented based on an algorithm with minimized objective function and the relationship between pressure loss and the potential leakage locations. The verification of the method was carried out by assuming the optimization of least squared error between calculated values (Pressure– Leakage Relation) and observed data (the assumption of occurrence leakage in nodes). The offered code could well identify the hypothetical leaking nodes and leakage value distributed between them by minimizing pressure differences. The results of running the model and comparing the observed data with the model using the optimal method of leak detection methods, showed that aside from appropriate method selection and calibration of the model, in order to have more accurate estimation of the location and amount of leakages in the network, field surveys and piezometer readings should be carried out so that the consumption pattern of the studied area and illegal branches were identified.

Keywords: Leakage, Water Network, Water Pressure, Matlab, Optimization Method.

مقدمه

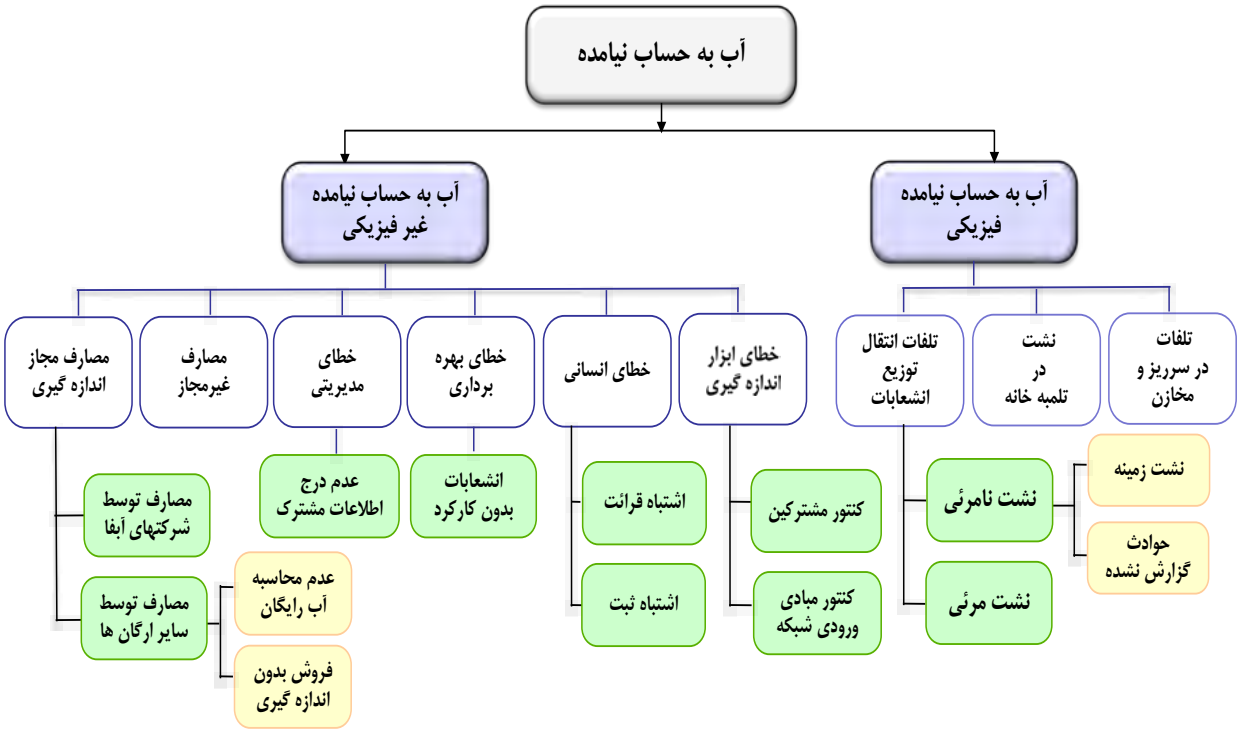
منابع آب شیرین در سطح زمین به‌طور یکنواخت توزیع نشده‌اند. درحال حاضر، ۹ کشور کانادا، چین، کلمبیا، پرو، برزیل، روسیه، ایالات متحده‌ی آمریکا، اندونزی و هند، ۶۰٪ کل منابع آب شیرین را به خوداختصاص می‌دهند. در مقابل، حدود ۸۰ کشور نیز با کمبود آب مواجه‌اند که برخی از آن‌ها مانند کویت، بحرین، مالت، امارات متحده‌ی عربی، سنگاپور، اردن و لیبی تقریباً به هیچ منبع آب شیرین قابل توجهی دسترسی ندارند. سابقاً تصور می‌شد منابع آب نامحدودند، اما امروزه حتی کشورهای پیشرفته، محدودیت منابع آبی را درك نموده‌اند (نشریه شماره ۳۰۸-الف، ۱۳۸۶). اگرچه نقش کلیدی آب در فرآیند توسعه اقتصادی-اجتماعی ایران بر کسی پوشیده نیست، ولی عمده اقدامات صورت گرفته در جهت پاسخگویی به نیازهای آبی کشور از طریق مدیریت تولید و تأمین آب بوده و کمتر به وجه دیگر این موازنه که همانا مدیریت توزیع و مصرف صحیح آب می‌باشد، توجه گردیده است (نصیریان، ۱۳۹۲). در صورتی‌که برنامه‌های مدیریت جامع توزیع-مصرف نقش اساسی خود را به‌عنوان یک راه‌حل موازی و گاه جایگزین برای پاسخگویی به نیازهای آبی نشان داده‌اند. به منظور مقابله با چالش‌های ناشی از محدودیت منابع آب در مسیر توسعه اقتصادی و اجتماعی، مدیریت ترکیبی تولید و مصرف در جهان طرح گردیده و توسعه یافته است.

حفاظت جامع آب[1] را می‌توان به دو طبقه عمومی تقسیم نمود:
۱- مدیریت بهره‌برداری و توزیع آب (در محدوده سیستم آبرسانی، شبکه توزیع و خطوط انتقال).
۲- مدیریت مصرف آب (در محدوده مشترکین و مصرف‌کنندگان).
در جهان بین ۵ تا ۵۰ درصد حجم آب توزیعی توسط شرکت‌های متولی آب شهری به تلفات نشت از شبکه‌ها اختصاص دارد. این مقدار در ایران حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد می‌باشد. از طرفی شبکه‌های آبرسانی در اثرعواملی نظیر: فشار آب، قدمت لوله‌ها، کیفیت آب و خاکریز جناحین لوله (فشارهای وارده)، کیفیت اجرا و کیفیت لوله‌ها و متعلقات، ضربه و بارهای جانبی نظیر ترافیک، می‌تواند تحت تاثیر شکست قرار گرفته و موجب تلفات نشت از شبکه شود.
یکی از راهکارهای کاهش نشت، مدیریت فشار در گره‌های شبکه است که از طریق نصب مخازن و شیرآلات (شیرهای قطع و وصل جریان جهت کاهش فشار) صورت می‌گیرد. به تازگی از شیرهای فشارشکن نیز به منظور مدیریت فشار در شبکه‌های آب استفاده می‌گردد (نشریه شماره ۳۰۸-الف، ۱۳۸۶). مقدار آب به‌حساب نیامده غالباً بعنوان معیاری برای شناخت کارآمدی سیستم‌های آبرسانی شناخته می‌شود. سیستم‌های آبرسانی کارآمد در کشورهای در حال توسعه حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد می‌باشد. در شکل (۱)، مقدار آب به‌حساب نیامده‌ی شبکه در برخی کشورهای جهان آورده شده است.



شکل ۱- مقدار آب به‌حساب نیامده در کشورها (نشریه شماره ۳۰۸-الف، ۱۳۸۶)

حداقل فشار ممکن در گره‌ها باعث بیشترین کاهش نشت و حفظ سرویس دهی مطلوب شبکه می‌شود. در شکل (۲)، اشکال مختلف آب به‌حساب نیامده فیزیکی و غیرفیزیکی در تلفات کل شبکه آورده شده است.

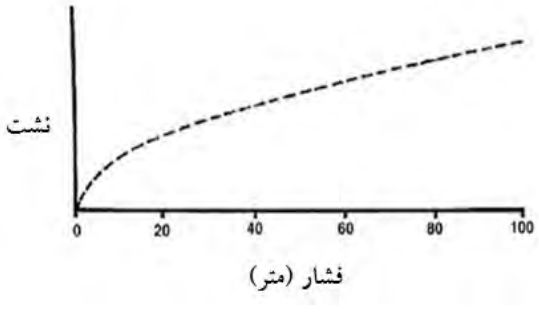


شکل۲- طبقه بندی آب به‌حساب نیامده در شبکه (نشریه شماره ۳۰۸-الف، ۱۳۸۶)

رابطه فشار- نشت: دبی جریان از یک روزنه متناسب با جذر فشار آب است ($Q = KP^{0.5}$). البته آزمایشات در شبکه‌ها نشان داده که این رابطه دقیقاً برقرار نیست (Q: دبی (مترمکعب بر ثانیه)، P: فشار آب (متر)).

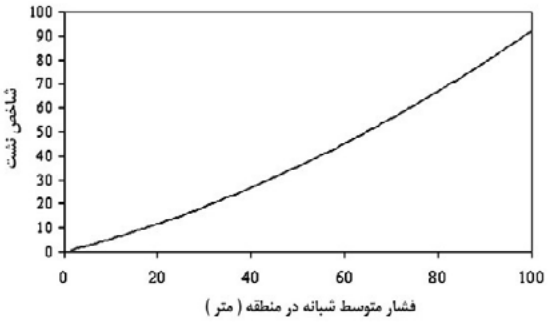
پارامتر فشار متوسط شبانه منطقه: فشار متوسطی است که درون سیستم در شب رخ می‌دهد و شامل تغییرات توپوگرافی زمین و هرگونه افت فشار در منطقه مورد مطالعه است. شاخص نشت (LI)[۲] از رابطه (۱)، که در آن AZNP[۳] معادل "میانگین فشار شبانه یک ناحیه در شبکه" می‌باشد، بدست می‌آید. در شکل (۳)، این رابطه در شبکه نشان داده شده است.

$$LI = 0.5\times(AZNP) + 0.007\times(AZNP)^2 \qquad (۱)$$



شکل ۳- رابطه بین فشار- نشت در شبکه
(نشریه شماره ۳۰۸-الف، ۱۳۸۶)

به علت بسته بودن بیشتر شیرها در برخی اوقات نظیر نیمه شب، انتظار می‌رود تا در این ساعات فشار شبکه بالا باشد؛ از اینرو با احتساب تناظر مستقیم نشت- فشار، مقدار نشت بیشتری در شبکه وجود خواهد داشت. در یک طبقه‌بندی نشت‌های بالای ۱۱ لیتر برثانیه را نشت‌های بزرگ (اصلی) و نشت‌های کمتر از ۱۱ لیتر بر ثانیه نیز نشت‌های کوچک (فرعی) نامیده می‌شوند. در مکان‌هایی که نشت‌های اصلی و بزرگ اتفاق می‌افتد، همواره مقدار توان در رابطه دبی در روزنه متناسب با فشار، نسبت به مکان‌هایی با نشت‌های جزئی کمتر می‌باشد. این بدان معناست که با افزایش دبی نشت در شبکه، دبی خروجی از هرگره یا همان نشت با کمتر از مجذور تغییرات فشار تناظر مستقیم دارد. علت تفاوت این توان‌ها اینست که در ساعات روز مصرف بیشتر بوده لذا فشار وارده بر شبکه افزایش نسبی یافته، نشت شبانه کاهش جزئی داشته است. رابطه بین شاخص نشت با میانگین فشار شبانه در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل۴- رابطه بین شاخص نشت با پارامتر AZNP
(نشریه شماره ۳۰۸-الف، ۱۳۸۶)

Martinez و همکاران (۲۰۰۷)، به مکان‌یابی نشت در شبکه‌های آب براساس مکانیزم تغییرات فشار بخار آب در دماهای مختلف پرداختند. تابش و کریمی (۱۳۸۵)، سه روش مدیریت نشت در شبکه شامل رفع حوادث، عملیات نشت‌یابی و جایگزینی لوله‌ها را جداگانه مورد مطالعه قرار داده و سپس با تحلیل نتایج هر روش ، ابتدا زمان مناسب نشت‌یابی و سپس زمان عملیات مربوط به نوسازی شیکه را بدست آوردند. نتایج نشان دادند صورتی که برای مدل کردن مصرف و نشت در شبکه از روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشاربراساس روابط دبی- فشار استفاده شود، مقدار جریان خروجی در گره‌ها (مصرف و نشت) با تغییرات فشار مرتبط می‌گردد.

Vitkovsky و همکاران (۲۰۰۰)، به بررسی یک روش نشت‌یابی مبتنی بر کالیبراسیون با استفاده از جریان انتقالی و الگوریتم ژنتیک پرداختند. در این بررسی دو روش (کد)، مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه شد. مشخص شد که روش استفاده از الگوریتم ژنتیک ابزاری مناسب برای یافتن محل نشت با استفاده از تغییرات ضرائب زبری و داده‌های فشار ورودی به شبکه در طول لوله‌ها می‌باشد.به‌طور کلی روش‌های بهینه‌یابی و جستجو را می‌توان به سه روش عمده‌ی روش‌های ریاضی، روش‌های عددی و روش‌های تصادفی تقسیم‌بندی کرد. در زیرمجموعه روش‌های تصادفی، روش‌های فرااکتشافی موجود است که از مهمترین این ابزار روش‌های توده ذرات، الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچه‌ها می‌باشد.

روش‌های محاسباتی نیاز به یك تابع مشتق‌پذیر دارند و این در حالی است که بسیاری از مسائل طبیعی دارای توابع غیرپیوسته و مشتق‌ناپذیر می‌باشند. مسائل ریاضی کاربردی، عموماً شامل توابعی است که مشتق‌پذیر نبوده و دارای چندین نقطه‌ی بهینه‌ی محلی، علاوه بر نقطه‌ی بهینه‌ی کلی نیز می‌باشند.

روش‌های عددی قادرند عملیات جستجو را هم در یك فضای محدود و هم در یك فضای گسسته انجام دهند. این روش‌ها مقدار تابع هدف را در هر نقطه و در هر لحظه در نظر می‌گیرند؛ به‌عبارتی نقطه به نقطه در جستجوی بهینه می‌باشند. روش‌های جستجوی عددی ساده هستند، ولی در یك محدوده‌ی وسیع جستجو از بازدهی بالایی برخوردار نخواهند بود (نصیریان، ۱۳۹۲). در مسائل واقعی تعداد نقاط آنقدر زیاد است که نمی‌توان تمامی آنها را آزمایش کرد. بنابراین چنان‌چه فضای طراحی بزرگ باشد، که در اکثر موارد چنین است، استفاده از این روش عملاً غیرممکن و یا حداقل غیرمؤثر است. در این روش‌ها در هر گام بایستی تعداد زیادی نقطه را محاسبه کرد. این عمل بسیار زمان‌بر، هزینه‌ساز و خسته‌کننده می‌باشد.

برای اینکه مساله واسنجی در شبکه معین باشد باید معادلات مستقل تشکیل شده برابر با تعداد مجهولات باشند. با توجه به تعداد بسیار زیاد مجهولات در شبکه، این روش در عمل قابل کاربرد نبوده و مساله باید به صورت ضمنی حل شود؛ بدین منظور بایستی از بهینه‌یابی در شبکه استفاده شود (Walski، ۲۰۰۰). بنابراین چنین مساله‌ای معمولاً در یک فرایند بهینه‌یابی تحلیل می‌شود. بهینه‌یابی شامل روش‌هایی برای تنظیم پارامترهای مجهول شبکه (معمولاً زبری و مصرف) تا کمینه‌شدن اختلاف مقادیر مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. خوشبختانه این ضرورت چندسالی است که در کشور ما نیز مورد توجه قرارگرفته و در قالب "طرح ملی تحقیق، توسعه وبهسازی تأسیسات توزیع آب شهری" و "دفاتر آب به‌حساب نیامده" در شرکت‌های آبفای کشور به امر مطالعه و کاهش تلفات و آب به‌حساب نیامده پرداخته شده است (تابش، ۱۳۷۸). فاضل و فغفورمغربی (۱۳۸۸)، در ناحیه‌ای از گلبهار مشهد به بررسی فشار گره‌ای در انشعابات پرداختند. علاوه بر این طرح مدیریت و کاهش هدر رفت آب در کشور، به‌ویژه در شهرهایی که میزان هدر رفت آب درشبکه آبرسانی آن‌ها بیش از ۲۵ درصد اعلام شده است، در دست اجرا قرار دارد.

نشت در شبکه‌های شهری یکی از معضلات اساسی این شبکه‌ها می‌باشد که هزینه‌های زیادی را به دولت‌ها تحمیل می‌نماید و این امر لزوم توسعه روش‌های مختلف نشت‌یابی را نشان می‌دهد. روش‌های شناسایی نشت به دو روش انفعالی و بهینه‌یابی تقسیم می‌شوند. روش‌های انفعالی بیشتر مبتنی بر اندازه‌گیری‌های کنتور، فشارسنج‌ها و استفاده از مواد رَسام است ولی روش‌های بهینه‌یابی نظیر الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچه‌ها و توده ذرات با کاهش هزینه‌های عملیاتی، تخمین دقیقی از مکان نشت با فرض روابط هیدرولیکی می‌دهد. از این رو یافتن و پیشنهاد بهترین روش مبتنی بر بهینه‌سازی با مقایسه روش‌های مطالعه شده و مورد استفاده می‌تواند انتخاب یک روش مناسب را برای مطالعات آینده توصیه نماید. همچنین ارایه الگوریتم (گام‌های حل مسأله) و کد مناسب جهت تحلیل شبکه و مکان‌یابی نشت برمبنای روش‌های بهینه‌یابی (انتخاب تابع هدف کمینه) از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

Wu و Simpson (۲۰۰۱)، فرض کردند که تعداد نشت‌های همزمان که در شبکه واقع می‌شود به تعداد مشخصی محدود است. بر این اساس ابتدا فرض می‌شود که یک نشت در شبکه وجود دارد. بنابراین تعداد گزینه‌ها برای موقعیت نشت، به تعداد گره‌های شبکه محدود است.

برخی از فرضیات مهم بکار رفته عبارتند از:

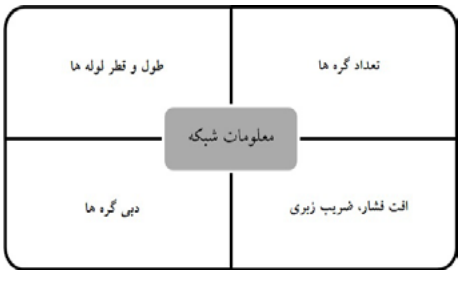
- مصارف در گره‌ها اتفاق می‌افتد؛ تقریباً در تمامی کارهای مدل‌سازی شبکه، علیرغم اینکه مصارف در طول لوله‌ها اتفاق می‌افتد، با توجه به نامعلوم بودن دقیق مصارف، مصارف به صورت یک توزیع بار بر روی شبکه فرض شده و پس از محاسبات لازم، مصارف تنها به گره‌ها اختصاص می‌یابد (Walski، ۲۰۰۰). این فرض در این تحقیق نیز از اصول اولیه محسوب می‌شود.

- نشت به عنوان مصارف اضافی در گره‌ها تعریف می‌شود؛ با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد مصارف، فرض نشت در گره‌ها تعداد مجهولات مسأله را کاهش داده و از فرضیاتی است که در اکثر تحقیقات قبلی به کار گرفته شده است (Nicolini و همکاران، ۲۰۱۱؛ Almandoz و همکاران، ۲۰۰۵). تنها در بررسی نشت در خطوط انتقال، نشت در طول لوله‌ها فرض شده است (Covas و Ramos، ۲۰۱۰).

- تعداد نشت همزمان محدود فرض می‌شود؛ با توجه به اینکه در اکثر شبکه‌ها، مدلی نسبتاً کالیبره شده از شبکه موجود است و نشت بوسیله روش مورد تحقیق، با کمک برخی اندازه‌گیری‌های فشار و دبی جستجو می‌شود، تعداد نشت‌های همزمان محدود خواهد بود. لذا می‌توان اکثر گره‌ها را فاقد نشت فرض کرد. این فرض تنها به صورت یک افزایش احتمالِ بدون نشت بودن مورد استفاده قرار می‌گیرد و مستقیماً هیچ گره‌ای از دامنه جستجو حذف نمی‌شود.

- ورودی‌های مدل (داده‌ها):

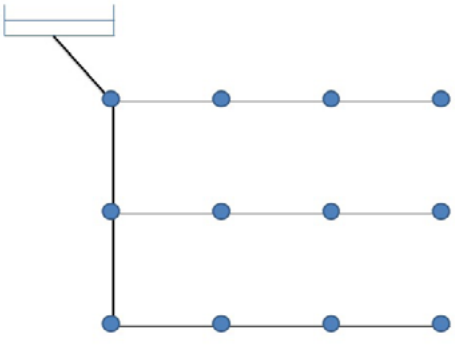
در ورودی مدل ابتدا بایستی مشخصات شبکه نظیر تعداد و شماره گره‌ها، طول و قطر لوله‌ها، پارامترهای هیدرولیکی نظیر افت فشار و ضریب زبری و همچنین دبی گره‌ها مشخص شود. در شکل (۵)، دیاگرامی از مشخصات ورودی برای تعریف مدل نشان داده شده است.



شکل ۵- ورودی‌های مدل در الگوریتم و کد Matlab

شبکه فرض شده در مدل با آرایش ۱۲ گره‌ای و دبی کل ورودی ۳۶۰ لیتر برثانیه است. همچنین فرض شده است. طول اتصالات افقی (لوله) ۱۰۰ متر و طول عمودی ۲۰۰ متر باشد و به هر گره دبی ثابت ۳۰ لیتر برثانیه برسد. ضریب هیزن ویلیامز ثابت و برابر ۱۳۰ در طول شبکه در نظر گرفته شده است.

حال با فرض توزیع یکسان تقاضای گرهی در شبکه اگر کنتورها عدد ۳۸۴ لیتر برثانیه را نشان دهد، بدون احتساب سایر عوامل، آب به‌حساب نیامده ۲۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد که اگر در ابتدا برای هر گره میزان نشت یکسان فرض گردد، این مقدار برابر ۲ لیتر مصرف اضافی برای هر گره است. در شکل (۶)، آرایش فرضی شبکه در مدل تعریف شده نشان داده شده است.



شکل ٦- نمایی از آرایش گره‌های مفروض در مدل

- الگوریتم شناسایی نشت:

گام اول: تولید داده‌های مشاهداتی؛ از کاربر خواسته می‌شود که تعدادی گره فرضی نشت‌دار و میزان نشت را مشخص کند. نشت: L و تعداد گره‌ها: N؛ که از این مقادیر مقدار h_f مشاهداتی بدست خواهد آمد.

توضیح: یعنی برای راستی آزمایی کد ارایه شده، فرض می‌شود که در گره‌های شبکه به تعداد بالا نشت داشته و از طرفی افت فشار مشاهداتی شبکه وجود دارد. حال باید برنامه مشخص کند که در کدام گره‌ها با چه شماره‌ای و به چه میزان نشت اتفاق افتاده است.

گام دوم: فرض می‌شود که برای شبکه مفروض (۱۲گره) نشت از تمام گره‌ها اتفاق افتاده است. بنابراین ۱۲ گره نشت‌دار

وجود خواهد داشت.

الف: ایجاد تمام حالت‌های ممکن برای نشت گره‌ها (12^{12} حالت).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

منظور از سطرهای بالا مانند سطر یک یعنی از هرکدام از گره‌ها بطور مساوی ۲ لیتر نشت وجود دارد. سطر ۲ یعنی در کل ۱۲ بار گره ۱ تکرار شده، به میزان هر بار ۲ لیتر که مجموع آن ۲۴ لیتر می‌شود. خط ۳ یعنی ۲۲ لیتر گره ۱ و ۲ لیتر برای گره ۲ (عدد ۲ معرف اینست که ۱ بار و به میزان ۲ لیتر از گره ۲ نشت وجود داشته است) و همین‌طور خط ۴ که باز ۲۲ لیتر گره ۱ و ۲ لیتر گره ۳ و به همین شکل (۱۲ در ۱۲حالت) ادامه دارد. بعضی از سطور در محاسبات جزء تکرارها می‌شود که پیشامدی طبیعی است.

ب: چک کردن تک تک حالات و بدست آوردن h_f (بر پایه هیزن- ویلیامز) در هر حالت و مقایسه با h_f مشاهداتی.

گام سوم: تعیین تابع هدف برای بهینه‌یابی، که h_f را بر مبنای حداقل مربعات خطا برای حالت ب محاسبه نماید.

$$F(x)=\Sigma^{n}_{i=1}(h_{obs}-h_{sim})^2=0 \qquad (۲)$$

گام چهارم: مشخص‌کردن گره‌های نشت‌دار (مکان‌یابی نشت) و مقدار نشت با استفاده از تابع بهینه در گام ۳. سپس با تکرار حالات موجود مشخص می‌شود که هر گره آیا نشت داشته و اگر داشته مقدار آن برابر چه ارزشی است.

نتایج و بحث

نشت‌یابی در شبکه (کد ارائه شده Matlab):

کد ارائه شده در برنامه Matlab، براساس دو حالت فرضی با احتساب نشت در گره‌های مشخص شبکه اجراشد. در شبیه‌سازی با فرض بر بارگذاری ورودی‌های مساله، یک کد تعریف شد. پارامترهای ورودی برای شبکه مفروض در مساله با ۱۲ گره در زیر آمده است:

$$V=\begin{bmatrix}1&2&3&4\\5&6&7&8\\9&10&11&12\end{bmatrix} \qquad Q=\begin{bmatrix}360&90&60&30\\240&90&60&30\\120&90&60&30\end{bmatrix}$$

$$D=\begin{bmatrix}500&300&250&200\\400&300&250&200\\300&300&250&200\end{bmatrix} \qquad L=\begin{bmatrix}150&100&100&100\\200&100&100&100\\200&100&100&100\end{bmatrix}$$

با در نظر گرفتن نشت ممکن، برای ۲ حالت اول در شبکه و با فرض اینکه در داده‌های مشاهداتی برای حالت اول کل نشت (۲۴ لیتر) در گره ۱ باشد و در حالت دوم برای گره ۱، ۲۲ لیتر نشت و گره ۲، ۲ لیتر باشد و همچنین با استفاده از رابطه اثبات شده افت فشار با میزان نشت و انتخاب تابع هدف کمینه بر مبنای مجموع مربعات خطا در هر دو حالت شبیه‌سازی، نتایج مدل با کمترین مربعات خطا اجرا و تعیین گره‌های دارای نشت توسط برنامه به درستی انجام شد. نتایج نشان داد که در هر بار تکرار، یک گره، کمینه تغییرات فشار بیشتری در تابع بهینه‌یابی از خود نشان می‌دهد که آن همان نقطه مورد نظر است. در گره دارای نشت بیشتر، افت فشار بیشتر است و هرچه از گره دارای نشت دور شویم، مقدار افت فشار کاهش می‌یابد. بنابراین هرچه فشار ثانویه در گره (بعد از نشت) کاهش یابد، افت فشار افزایش یافته و بدان معناست که نشت در گره و اطراف آن افزایش چشمگیری دارد.

از جمله خطاها در جواب‌های خروجی می‌تواند عدم فرض انشعابات غیرمجاز در منطقه مورد مطالعه باشد؛ لذا ضروری استکه پیش از مدل کردن تاحد ممکن این انشعابات شناسایی گردند. نظیر این مشکل در مطالعات نصیریان (۱۳۹۲)، در شبکه گلبهار بود که بعدها مشخص شد منطقه‌ای که دارای بیشترین افت فشار متناسب با دبی اضافی در گره‌ها بوده، طبق آمار امور آبفا، دارای بیشترین انشعابات غیرمجاز در کل شبکه بوده است.

خطاهای قرائت، یکسان نبودن شیب و موقعیت کارگذاری در مورد فشارسنج‌ها و حساسیت بالای بعضی از این فشارسنج‌ها (موارد شیر نیمه باز و ...)، می‌تواند بر تحلیل‌ها اثرگذار باشد. از سویی بهترین روش که تاکنون ارایه شده و هنوز بر روی روش‌های نظری آن کار می‌شود، بهینه‌یابی شبکه براساس اصل معادلات تجربی هیدرولیکی و رابطه افت فشار با دبی خروجی از هرگره می‌باشد. نمونه‌ای از خروجی و نتایج ارائه شده در مدل Matlab، پس از اجرای برنامه با داده‌های ورودی حالت اول آمده است.

Leakage Nod: 1

Leakage Rate: 24

Simulation 1:

HF= 1.0e-0.8
HFO= 1.0e-0.8
SSE=0
B=[1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]

در این نتایج، HFO معادل افت فشار مشاهداتی و HF معادل افت فشار شبیه‌سازی شده در مدل می‌باشد. صفر شدن خطا در گره ۱۲ بدان معناست که مدل توانسته پس از تکرارهای متوالی، مدل‌سازی درستی از تعیین نشت در گره مذکور ارائه دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مشخص شد که رابطه اختلاف فشار در گره‌ها، قبل و بعد از نشت می‌تواند پارامتر موثری برای تعیین نشت در گره‌ها باشد. روش بهینه‌یابی با تابع هدف مشخص و کمینه کردن اختلافات فشار شبیه‌سازی شده با فشار مشاهداتی در عمل روشی موفق برای شناسایی نشت در گره‌ها می‌باشد.

از جمله اشکالات نشت‌یابی می‌توان به این نکته توجه نمود که عمدتاً در هر مدل‌سازی دبی‌های مربوط به نشت‌های بزرگ تشخیص داده شده و نشت‌های جزئی به‌حساب نمی‌آیند. از طرفی الگوی دقیق مصرف در ناحیه (زون) مورد بررسی به دلیل انشعابات غیرمجاز ناشناخته است. در بعضی از موقعیت‌ها در شبکه افت موضعی حاصل از یک شیر نیمه باز حتی می‌تواند بیش از یک لوله طویل، افت فشار ایجاد کند.

از طرفی با فرضیات نشت‌های جزئی و اتصالات، رابطه فشار-نشت همیشه مقداری مستقیم و یک به یک نداشته و بارها اتفاق افتاده که در گره‌ای از شبکه، با توجه به دوبرابر شدن نشت، اختلاف فشار اندکی بین محاسباتی و مشاهداتی گزارش شود. در نتیجه حساسیت فشار در شبکه مرتبط با نشت خیلی زیاد نیست. زبری لوله‌ها که در تمامی مدل‌های شبکه ثابت فرض می‌شود، در حقیقت مقداری تغییر به علت قدمت شبکه، انشعابات و... دارد. روش‌های مبتنی بر تحلیل شبکه در حالت گذرا نیز در مقایسه با حالت دائمی، حساسیت کمتری نسبت به ضریب زبری لوله‌ها دارند.

بررسی روش انتخاب شده در مدل مفروض، نشان داد که روش قادر به شناسایی نشت بر اساس واسنجی می‌باشد؛ ولی همچنان بر ضرورت تحقیقات بیشتر در این زمینه تأکید می‌شود. مدل‌هایی که در نرم افزارها بر مبنای بهینه‌یابی عمل می‌کنند، نظیر ایپانت، در صورت تأیید مدل، می‌توانند در شناسایی نشت بر مبنای معادلات تجربی مفید باشند و از حجم عملیات بکاهند. هنوز روش‌های تکمیلی و تلفیقی و علی‌الخصوص احتساب نشت‌های ریز و جزئی در محاسبات جای تحقیق بیشتر و تکمیل اطلاعات را دارد. باید دقت روش‌ها بجایی رسد که هر چه دقیق‌تر موقعیت نشت را شناسایی کرده تا با هزینه‌ای بسیار اندک بتوانند نشت های شبکه را شناسایی و کنترل نمایند.

از این رو پیشنهاداتی به منظور مطالعات تکمیلی در این مورد ارائه می‌گردد:

- اجرای روش در صورت داشتن اطلاعات جامع، بر روی شبکه‌های واقعی.
- تحقیق در زمینه روش‌هایی برای تعیین هر چه دقیق‌تر مصارف پایه آب در شبکه.
- همچنین حتماً قبل از بررسی و مدل‌سازی نشت شبکه، بایستی سعی شود تا مناطقی با احتمال تعداد انشعابات غیرمجاز شناسایی و در مطالعه در دسته خاص خود قرار گیرد.

پی‌نوشت

1- Water Conservation
2- Leakage Index
3- Average Zone Night Pressure

منابع

تابش، م. ۱۳۷۸. مبانی تئوریک نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری. نشریه آب و محیط زیست، ۱۰: ۱۶-۳۷.

تابش، م. و کریمی، ک. ۱۳۸۵. تعیین زمان نشت‌یابی و نوسازی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از تحلیل حوادث. نشریه دانشکده فنی، ۴۰(۵): ۵۹۸-۶۱۰.

فاضل، ب. و فغفور مغربی، م. ۱۳۸۸. نشت‌یابی شبکه‌های آبرسانی شهری با اندازه‌گیری میدانی فشارهای گره‌ای (مطالعه موردی شهر گلبهار). هشتمین کنفرانس هیدرولیك ایران، دانشگاه تهران.

نشریه شماره ۳۰۸-الف. ۱۳۸۶. دستورالعمل شناخت و نحوه مطالعه عوامل در آب به‌حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن. تهران: انتشارات سازمان برنامه و بودجه.

نصیریان، ع. ۱۳۹۲. کاربرد روش‌های مبتنی بر نشت‌یابی در شبکه‌های توزیع آب شهری. پایان نامه دکترا، گروه عمران، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد.

a real water distribution network. J. of Water Resources Planning and Management, ASCE, 137(1): 134-142.

Vitkovsky J.P., Simpson A.R., Lambert F.M., 2000. Leak detection & calibration using transients & Genetic Algorithms. J. Water Resources Planning & Management, ASCE, 126(4): 262-265.

Walski T.M. 2000. Model calibration data: the good , the bad, and the useless. J. of the American Water Works Association, 92(1): 94-99.

Wu, Z.T., and Simpson, A.R. 2001. Competent genetic-evolutionary optimization of water distribution systems. J. Computing in civil Eng, ASCE, 15(2): 89-101.

Almandoz J., Cabrera E., Arregui F., Cabrera E. J., and Cobacho R. 2005. Leakage assessment through water distribution network simulation. Journal of Water Resources Planning and Management, 131(6): 458-466.

Covas D., and Ramos H. 2010. Case studies of leak detection and location in water pipe systems by inverse transient analysis. Journal of Water Resources Planning and Management, 136(2): 248-257.

Martinez A., Samaille F., Chantant M., Hatcheressian J.C., 2007.Water leak detection & Recovery Tore Supra. J. Fusion Engineering & Design, 82: 1989-1995.

Nicolini M., Giacomello C., and Deb K. 2011.Calibration and optimal leakage management for