دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی
دانشگاه صنعتی اصفهان
۲۲ الی ۲۴ آبان‌ماه ۱۳۹۷

یافتن موقعیت و تعیین مقدار دو نشت همزمان در شبکه‌های آبرسانی

محمدرضا جلیلی‌قاضی‌زاده*[۱]، رضا معاشری[۲]

۱- استادیار دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران، m_Jalili@sbu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران، re.moasheri@mail.sbu.ac.ir

چکیده

نشت در شبکه‌های آبرسانی به‌علت مشکلاتی مانند هدررفتن آب، احتمال ورود آلاینده‌ها و نشست زمین با اهمیت می‌باشد. از آنجایی‌که روش‌های رایج نشت‌یابی معمولاً پرهزینه و وقت‌گیر هستند، اخیرا استفاده از روش‌های شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه به‌منظور تعیین محل و مقدار نشت‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، روش جدیدی برای تعیین مقدار و محل نشت‌ها در شبکه‌های آبرسانی معرفی شده است که در آن از یک الگوریتم دومرحله‌ای استفاده می‌شود. مرحله‌ی اول (الگوریتم پله‌ای) برای تعیین محل و مرحله‌ی دوم (الگوریتم کرم شب‌تاب) برای تعیین مقدار نشت‌ها می‌باشد که در حالت دو نشت همزمان نیز قابل استفاده است. روش پیشنهادی بر اساس مقایسه‌ی نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه و مقادیر داده‌های برداشت میدانی از شبکه (توسط فشارسنج یا دبی سنج) می‌باشد. نتایج به‌دست آمده برای ۳ مثال مختلف در یک شبکه‌ی حلقوی ۳۰ گره‌ای ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم پیشنهادی قادر به شناسایی محل یک نشت یا دو نشت همزمان بوده و مقدار نشت متناظر با آن‌ها را با خطای کمتر از ۸ درصد به‌دست می‌آورد. روش پیشنهادی توسعه داده شده در این مقاله می‌تواند مورد استفاده بهره‌برداران شبکه‌های آبرسانی برای یافتن محل و مقدار نشت‌ها قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: نشت‌یابی، شبکه‌های آبرسانی، الگوریتم کرم‌شب‌تاب، الگوریتم دومرحله‌ای

۱– مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور لزوم کنترل هدررفت و نشت آب از شبکه‌های توزیع بااهمیت می‌باشد. یکی از شاخص‌های بررسی عملکرد شبکه‌های توزیع آب، شاخص آب بدون درآمد[۱] است. آب بدون درآمد به سه بخش اصلی تلفات واقعی[۲]، تلفات ظاهری[۳] و مصارف مجاز بدون درآمد تقسیم می‌شود. تلفات واقعی شامل تلفات از مخازن ذخیره‌ی آب و نشت از خط انتقال، شبکه‌ی توزیع و انشعابات می‌باشد که بخش مهمی از آن نشت از شبکه توزیع است.

مقدار نشت در شبکه‌های آبرسانی در کشورهای مختلف، متفاوت بوده و از میزان ۷-۳ درصد در کشورهایی مانند نیوزلند تا ۵۰ درصد در بعضی کشورها گزارش شده‌است (Puust et al.,2010). برخی اوقات نشت بیشتر از ۷۰ درصد سهم کل تلفات را تشکیل داده‌است (Samir et al.,2017). کاهش آب بدون درآمد باعث کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای ساخت تاسیسات منابع آب جدید، بالابردن عمر تاسیسات آب، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، کاهش امکان ورود آلودگی از محل‌های نشت لوله، افزایش بازده و بالابردن درآمدهای شرکت‌های آب و فاضلاب و جلب رضایت مشترکین خواهد شد (نشریه شماره‌ی ۵۵۶، ۱۳۹۱).

روش‌های نشت‌یابی را می‌توان به روش‌های فیزیکی و تحلیلی تقسیم کرد. روش‌هایی چون ابزارهای صوتی، موازنه جرم، عکس‌برداری هوایی برمبنای پایش حرارتی، گازهای ردیاب و سامانه‌های متصدیان صنعت آب ازجمله روش‌های فیزیکی نشت‌یابی محسوب می‌شوند (عطاری و مغربی، ۱۳۹۷). از جمله روش‌های تحلیلی نشت‌یابی، انجام فرآیند

کالیبراسیون شبکه به منظور تعیین محل نشت با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری[1]، استفاده از روش‌های هوش‌مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و نشت‌یابی به وسیله‌ی ایجاد جریان‌گذرا می‌باشد.

مغربی و عطاری روشی با استفاده از تحلیل اختلاف فشارهای گرهی در حالت نشت‌دار و بدون نشت، جهت تعیین موقعیت نشت ارائه کردند (مغربی و عطاری، ۱۳۹۲). در پژوهشی با استفاده از روش گراف به تعیین محل نشت در شبکه‌های آبرسانی پرداخته شده‌است. این روش شامل ایجاد سناریوهای نشت و در ادامه تجزیه و تحلیل با استفاده از ماتریس لاپلاس نرمال شده می‌باشد (Candelieri et al., 2014). Maghrebi et al با شبکه‌ی عصبی‌مصنوعی بهبود یافته با الگوریتم خفاش روشی برای تعیین مقدار و موقعیت نشت در شبکه‌های تامین آب ، ارائه دادند. در روش ذکر شده در فرآیند آموزش شبکه‌های عصبی از الگوریتم خفاش استفاده شده‌است (Maghrebi et al.,2014). در پژوهشی دیگر تعیین موقعیت نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و تئوری گراف انجام شده‌است. بدین صورت که داده‌های فشارسنجی به منظور حل مساله بهینه‌سازی استفاده می‌شوند. تابع هدف مجموع اختلاف بین فشارهای محاسباتی و فشارهای اندازه گیری شده میدانی بوده و عمل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید صورت گرفته‌است (Sousa et al, 2015). عطاری و همکاران نیز به نشت‌یابی با استفاده از شبکه‌ی عصبی پرداختند. شبکه‌ی مورد مطالعاتی آن‌ها، شبکه‌ی پولاکیس بود (عطاری و همکاران، ۱۳۹۷). مغربی و همکاران، مقدار و موقعیت نشت را در گره‌های شبکه با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و کلونی‌مورچه‌ها یافتند. در آن مقاله، داده‌های میدانی از شبکه به‌صورت فشار و دبی بود. هم‌چنین در پژوهش نامبرده به این نتیجه رسیده‌شد که الگوریتم کلونی مورچه‌ها عملکرد بهتری از الگوریتم ژنتیک در یافتن نشت‌های شبکه دارد (مغربی و همکاران، ۱۳۹۲). رحمانشاهی و همکاران نیز به نشت‌یابی در خطوط لوله ویسکوالاستیک با استفاده از حل معکوس جریان گذرا پرداختند. برای این منظور در ابتدا یک مدل حل معکوس جریان گذرا با استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور کالیبراسیون و تشخصیص نشت توسعه داده‌شد و سپس برای ارزیابی این مدل، یک مدل آزمایشگاهی برای برداشت داده‌های مورد نیاز نشت‌های شبیه‌سازی شده ساخته‌شد و مجموعه‌ای از داده‌های نشت در دو مکان و با اندازه‌های مختلف برای ارزیابی روش حل معکوس مورد استفاده قرار گرفت (رحمانشاهی و همکاران، ۱۳۹۶). عطاری و همکاران، عمل تعیین موقعیت و مقدار نشت در شبکه‌های آبرسانی را با استفاده از ترکیب فشارسنجی و دبی‌سنجی به روش شبکه‌های عصبی انجام دادند. در این روش با تولید داده‌های آموزشی و اعمال آن به شبکه‌ی عصبی، شبکه قادر خواهد بود که با دریافت فشارگرهی یا مقدار دبی لوله‌ها و یا ترکیب فشارسنجی و دبی برخی از لوله‌ها موقعیت و مقدار دقیق نشت گرهی را تعیین کند (عطاری و همکاران، ۱۳۹۴).

روش‌های پیشنهادی براساس شبکه‌ی عصبی نمی‌تواند نشت‌های کوچک را شناسایی کند (عطاری و همکاران، ۱۳۹۴) زیرا شناسایی نشت‌های کوچک مستلزم استفاده از داده‌های فراوان در مرحله‌ی آموزش شبکه‌ی عصبی بوده و این عمل باعث بالابردن مدت زمان آموزش آن خواهد شد. همچنین در روش شبکه‌ی عصبی تعداد برداشت‌های میدانی (فشار و دبی سنج‌ها) از ابتدا معلوم نیست و در روند نشت‌یابی مشخص می‌شود. هم‌چنین چنانچه در مرحله‌ی آموزش شبکه‌ی عصبی، داده‌ها به مقدار و دقت کافی نباشند، باعث ایجاد نتیجه‌ی اشتباه در پاسخ خروجی خواهد شد. استفاده از مدل حل معکوس جریان گذرا به منظور نشت‌یابی، در عمل بسیار کارسخت و دارای مشکلات اجرایی است. به صورت-کلی علیرغم فعالیت‌های انجام شده در رابطه با نشت‌یابی تحلیلی، به نظر می‌رسد تا رسیدن به یک روش عملی و اجرایی برای یافتن محل و مقدار نشت، مطالعات بیشتری لازم است.

در مقاله‌ی حاضر روش جدیدی برای تعیین مقدار و محل نشت استفاده شده‌است. روش پیشنهادی می‌تواند تا ۲ نشت را در شبکه‌های آبرسانی تشخیص دهد. در این روش در مرحله‌ی اول، الگوریتم به کار گرفته شده محل نشت را تعیین می‌کند (با الگوریتم پله‌ای). درمرحله‌ی دوم برای تعیین مقدار نشت‌ها (که در مرحله‌ی قبل محل آن‌ها تعیین

شد) از الگوریتم کرم شب‌تاب (Firefly Algorithm) استفاده می‌شود. الگوریتم‌های پیشنهادی بر روی شبکه‌ی پولاکیس (Poulakis et al.,2003) به کار گرفته شده است. در ادامه بعد از توضیح روش انجام کار، نتایج به کارگیری روش پیشنهادی برای شبکه‌ی پولاکیس در حالت‌های مختلف ارائه شده‌است.

۲- مواد و روش بررسی

در این پژوهش، یک روش دومرحله‌ای در نرم افزار Matlab برای یافتن محل و مقدار نشت‌ها کدنویسی شده‌است که در آن نشت به عنوان مصرف اضافی گره‌ای تلقی می‌گردد. الگوریتم مرحله‌ی اول که الگوریتم پله‌ای نامیده می‌شود، برای تعیین محل نشت‌ها به کارگرفته می‌شود. در ادامه با استفاده از الگوریتم مرحله‌ی دوم (الگوریتم کرم شب‌تاب) مقدار نشت‌ها تعیین می‌شود. برای انجام این روش، نیاز به داده‌های میدانی از محل پروژه (فشار و دبی) می‌باشد. روش انجام کار بدین گونه است که نتایج فشارسنجی یا دبی‌سنجی میدانی در نقاط مختلف شبکه با نتایج آن در مدل کامپیوتری در نتیجه‌ی تولید سناریوهای مختلف نشت، مقایسه شده و سناریویی که دارای کم‌ترین خطا با نتایج میدانی باشد، مقدار و محل نشت‌ها را گزارش می‌دهد. روش کلی انجام کار در شکل ۱، آورده شده‌است. لازم به ذکر است که در این روش باید مدل هیدرولیکی شبکه‌ی موجود کالیبره باشد.

۲- ۱ الگوریتم پله‌ای

شبکه‌ای را درنظر بگیرید که در آن حداکثر دو نشت وجود دارد که مقدار کل آن معلوم اما محل وقوع هر کدام از نشت‌ها، نامعلوم است. هدف از الگوریتم پله‌ای تعیین محل وقوع نشت‌ها است. ابتدا مقدار نشت بین هر گره و هر دو گره ممکن توزیع می‌شود. تعداد حالات ممکن برای یک نشت در شبکه برابر N و برای هر دو گره برابر $\frac{N!}{(N-2)!}$ می باشد که در آن N تعداد گره‌های شبکه است. در ارتباط با مقدار توزیع دبی نشت اختصاص داده شده به هر دو گره بدین صورت عمل می شود که ابتدا مقادیر $Q_1 = Q_L , Q_2 = 0$ اختصاص داده می شود. که در آن Q_1 و Q_2 به ترتیب مقدار نشت در گره اول و گره دوم شبکه و Q_L برابر مقدار نشت کل می‌باشد. حالت بعد توزیع دبی‌های نشت به صورت $Q_1 = Q_L - \Delta Q , Q_2 = \Delta Q$ خواهد بود که ΔQ مقدار گام انتخاب شده برای دبی نشت است. به همین ترتیب در حالت کلی توزیع دبی بین هر دو گره پیشنهادی به صورت $Q_1 = Q_L - n\Delta Q , Q_2 = n\Delta Q$ خواهد بود که مقدار n مرحله‌ی تکرار را نشان می‌دهد ($n=0,1,\ldots,\frac{Q_L}{\Delta Q}$ و n عدد صحیح مثبت است). طبق این روش هر حالت تولید شده یک سناریو نشت نامیده می‌شود. لذا تعداد کل سناریوهای تولید شده برابر خواهد بود با: $\frac{N!}{(N-2)!}\left[\frac{Q_L}{\Delta Q}-\frac{1}{2}\right]+N$.

هر سناریوی تولیدی در نرم افزار EPANET شبیه سازی هیدرولیکی شده و مقادیر فشارگره‌ها و دبی لوله‌ها برای این سناریو محاسبه می‌شود. بدین منظور برنامه‌ی کامپیوتری به منظور ارتباط پویا بین الگوریتم پیشنهادی و نرم افزار شبیه سازی EPANET با استفاده از کدنویسی در محیط Matlab تهیه شده است. بدین ترتیب که برای هر سناریو اطلاعات بارگذاری گره‌ها شامل نشت و مصارف گرهی به نرم‌افزار EPANET منتقل شده و برای هر سناریو تحلیل هیدرولیکی انجام و نتایج به الگوریتم اصلی باز گردانده می‌شود. در این مرحله تابع هدف زیر محاسبه می‌شود:

$$F(x) = a\sum_{k=1}^{n}\left|\left(\frac{P}{\gamma}\right)_{k,Sim} - \left(\frac{P}{\gamma}\right)_{k,obs}\right| + b\sum_{l=1}^{m}\left|(Q)_{l,Sim} - (Q)_{l,obs}\right| \qquad (1)$$

که در آن:

$F(x)$: تابع هدف

a و b : پارامترهایی هستند که نوع برداشت داده‌ی میدانی از شبکه را مشخص می‌کنند (a=1 و b=0 به معنای فقط فشار سنجی، a=0 و b=1 به معنای فقط دبی سنجی و a=1 و b=1 به معنای ترکیب فشار سنجی و دبی سنجی و واحد آن‌ها به ترتیب معکوس واحد فشار و معکوس واحد دبی می‌باشد)

n,m : به ترتیب تعداد کل فشار و دبی‌سنج‌های شبکه

k و l: به ترتیب شمارنده‌ی فشار و دبی‌سنج‌های شبکه

γ: وزن مخصوص آب

$(\frac{P}{\gamma})_{k,Sim}$:هد فشار محاسبه شده‌ی گره‌ای که فشارسنج k ام در آن نصب شده‌است (نتایج شبیه‌سازی)

$(Q)_{l,Sim}$: دبی محاسبه شده‌ی لوله‌ای که دبی‌سنج l ام در آن نصب شده‌است (نتایج شبیه‌سازی)

$(\frac{P}{\gamma})_{k,obs}$: هد فشار اندازه‌گیری شده‌ی گره‌ای که فشارسنج k ام در آن نصب شده‌است (نتایج برداشت میدانی)

$(Q)_{l,obs}$: دبی اندازه‌گیری شده‌ی لوله‌ای که دبی‌سنج l ام در آن نصب شده‌است (نتایج برداشت میدانی)

می‌باشد. کلیه‌ی واحدهای کمیت‌های ذکر شده براساس سیستم بین المللی SI هستند.

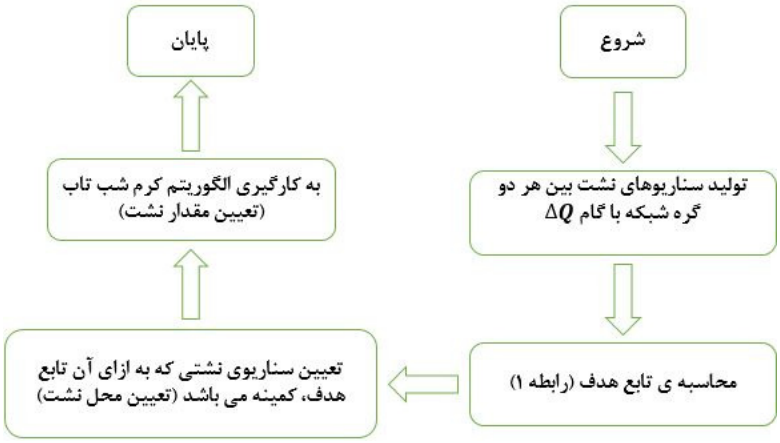
در انتهای این مرحله، سناریویی (از انتخاب حداکثر ۲ محل برای نشت) که مقدار تابع شماره (۱) به ازای آن حداقل باشد، به عنوان سناریوی محل نشت در شبکه، تعیین می‌شود. لذا در این مرحله محل‌های حداکثر دو نشت در شبکه مشخص شده‌است. از آن جایی که به علت حجم زیاد محاسبات مقدار ΔQ نمی‌تواند بسیار کوچک باشد. لذا در این مرحله مقدار توزیع نشت بین دو گره مشخص شده، به صورت تقریبی به دست آمده است. اما برای تشخیص دقیق‌تر توزیع مقدار نشت بین دو گره مذکور، از الگوریتم مرحله‌ی دوم (کرم شب‌تاب) استفاده خواهد شد.

۲-۲ الگوریتم کرم شب‌تاب (Firefly Algorithm)

در مرحله‌ی دوم الگوریتم دو مرحله‌ای، مقدار نشت در سناریوی انتخاب شده از مرحله‌ی قبل، با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب، به دست آورده می‌شود. نحوه استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب، به صورت زیر است (Yang,2010).

۱- تولید کرم‌های شب‌تاب اولیه و ارزیابی آن‌ها

۲- به ازای هر کرم شب‌تاب مانند i و j اگر شدت نور کرم شب‌تاب i (I_i) از شدت نور کرم شب‌تاب j (I_j) بیشتر باشد، طبق رابطه‌ی ۱ (فرمول جذب) کرم شب‌تابی با شدت I'_i تولید می‌گردد.



شکل ۱- روند پیشنهادی تعیین محل و مقدار نشت با استفاده از الگوریتم دو مرحله‌ای پیشنهادی

۳- ارزیابی کرم‌های شب‌تاب جدید
۴- تعیین بهترین پاسخ یافته شده
۵- تکرار از مرحله‌ی ۲ در صورت برآورده نشدن شرایط خاتمه.

فرمول جذب در این الگوریتم به صورت زیر می‌باشد (Yang,2010):

$$x_i' = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^m}(x_j - x_i) + \alpha\varepsilon_i \qquad (2)$$

که در آن:
x_i' : کرم شب‌تاب اصلاح شده x_i
x_j : کرم شب‌تاب برتر نسبت به x_i
β_0 : جذابیت (attractiveness) اولیه
r :فاصله‌ی بین دو کرم شب‌تاب
γ:ضریب جذب نور (light absorption coefficient)
m: عدد بیان کننده نوع نور ساطع شده (بزرگتر مساوی یک)
ε_i: بردار تصادفی (توزیع گوسی یا توزیع نرمال)
α : ضریب جهش(رابطه شماره ۳).

در مطالعه‌ی حاضر از این الگوریتم برای تعیین مقدار نشت در شبکه‌های آبرسانی استفاده شده‌است، به گونه‌ای که هر جمعیت کرم‌های شب‌تاب، مقدارهای مختلف برای هر گره نشت‌دار گزارش شده در سناریو منتخب نشت، می‌باشند و کرم شب‌تابی (مقدار نشت گرهی) نسبت به بقیه برتری دارد که به ازای آن، مقدار تابع هدف حداقل شود و سایر جمعیت‌ها براساس رابطه‌ی ۲ به سمت آن‌ها متمایل می‌شوند. این عمل تا ارضاشدن یک عامل توقف مانند تعداد مشخصی تکرار یا رسیدن مقدار تابع هدف به مقدار حداقل تعریف شده، ادامه خواهد داشت.

۳-۲ مطالعه‌ی موردی

شبکه‌ی مورد مطالعه که در شکل ۲ آورده شده‌است، شبکه‌ی معروف پولاکیس می‌باشد که اولین بار در سال ۲۰۰۳ معرفی شد (Poulakis et al.,2003). در این شبکه طول لوله‌های افقی و عمودی به ترتیب برابر ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ متر، متوسط زبری‌مطلق هرلوله ۰/۲۶ میلی‌متر ، دارای ۲۰ حلقه، ۳۰ گره ، ۵۰ لوله و یک مخزن (با ارتفاع سطح آب برابر ۵۰ متر) می‌باشد. قطرهای در نظر گرفته شده برای هر لوله در شکل نشان داده شده‌است. دبی مصرف در کلیه‌ی گره‌های این شبکه در این شبکه برابر ۳۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده‌است.

براساس روش پیشنهادی در الگوریتم پله‌ای ، میزان Q اولیه و گام‌های ΔQ به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۲۵ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده و پارامترهای الگوریتم کرم شب‌تاب در این پژوهش به صورت زیر تعریف شده‌است:

$$\beta_0 = 2\,,\alpha_\infty = 0\,,\alpha_0 = 0.2\,,\gamma = 1, m = 2, \max\ iteration = 100$$

این الگوریتم برای شبکه‌ی مورد مطالعه، در ۳ مثال به کار گرفته شده‌است که نتایج آن در ادامه آورده شده‌است. در مثال‌های ذکر شده نسبت‌های نشت در حالت دو نشت همزمان کمتر از ۱به ۲/۵ بوده‌است.

۳- نتایج و بحث

در این قسمت نتایج ۳ سناریوی مختلف، شامل یک سناریوی تک‌نشت و دو سناریوی دو نشت همزمان در دو گره مختلف شبکه آورده شده‌است.

۳-۱ نشت در گره ۲۱ به مقدار ۲/۵ لیتر بر ثانیه

در این سناریو، ۲/۵ لیتر بر ثانیه به تقاضای دبی گره شماره‌ی ۲۱ اضافه شد و شبیه سازی هیدرولیکی انجام گردید. برای انجام عملیات نشت‌یابی با استفاده از الگوریتم دو مرحله‌ای، در مرحله‌ی اول با الگوریتم پله‌ای محل نشت و در مرحله‌ی دوم با الگوریتم کرم شب‌تاب مقدار نشت به دست آمد.

۳-۱-۱ مرحله‌ی اول (تعیین محل نشت)

در این مرحله براساس الگوریتم ذکر شده، باید محل نشت تعیین شود. برای انتخاب نوع برداشت داده‌های میدانی از شبکه (با فشارسنجی یا دبی‌سنجی) حالت‌های زیر در نظر گرفته شده‌است:

- ✓ **فقط فشارسنجی**

برداشت داده‌های فشار در گره‌های شبکه کم‌هزینه‌تر از دبی‌سنجی درلوله‌ها می‌باشد. بدین منظور بعد از شبیه سازی شبکه، با فرآیند سعی و خطا مشخص گردید که نیاز به ۱۷ فشارسنجی برای رسیدن به محل دقیق محل

نشت می‌باشد. فشارگره‌هایی که بدین منظور باید اندازه‌گیری شود، در سطر دوم جدول ۱، آورده شده‌است. بعد از اجرای الگوریتم (تابع هدف رابطه شماره ۱ با میزان b=0 و a=1 می‌باشد)، مرحله‌ی اول یعنی تعیین محل نشت، با موفقیت تعیین شد.

✓ فقط دبی سنجی

اگر داده‌های میدانی فقط به صورت دبی باشد، با فرآیند سعی و خطا مشخص گردید که نیاز به ۴ دبی سنجی می‌باشد. دبی لوله‌هایی که بدین منظور باید اندازه‌گیری شود، در سطر سوم جدول ۱، آورده شده‌است. بعد از اجرای الگوریتم (تابع هدف رابطه شماره ۱ با میزان b=1 و a=0 می‌باشد) مرحله‌ی اول یعنی تعیین محل نشت، با موفقیت انجام شد.

✓ ترکیب دبی‌سنجی و فشارسنجی

همانطور که در دو قسمت قبل اشاره شد، اگر داده‌های میدانی به صورت فقط فشار در نظر گرفته شود نیاز به ۱۷ فشار سنج می‌باشد که این تعداد فشار سنج برای یک شبکه ۳۰ گرهی موجود، نسبتا زیاد و پرهزینه است و اگر داده‌های میدانی فقط به صورت دبی باشد، نیاز به ۴ دبی‌سنجی می باشد که نصب این تعداد دبی‌سنجی در یک شبکه ۳۰ گرهی نیز، کاری سخت و پرهزینه است لذا در ادامه سعی گردید برداشت میدانی از نوع ترکیب فشارسنجی و دبی سنجی با شد. دبی لوله‌ها و فشارگره‌هایی که بدین منظور باید اندازه‌گیری شود، در سطر چهارم جدول ۱، آورده شده‌است. بعد از انجام محاسبات (تابع هدف رابطه شماره ۱ با میزان b=1 و a=1 می‌باشد) مرحله‌ی اول یعنی تعیین محل نشت، با موفقیت تعیین شد.

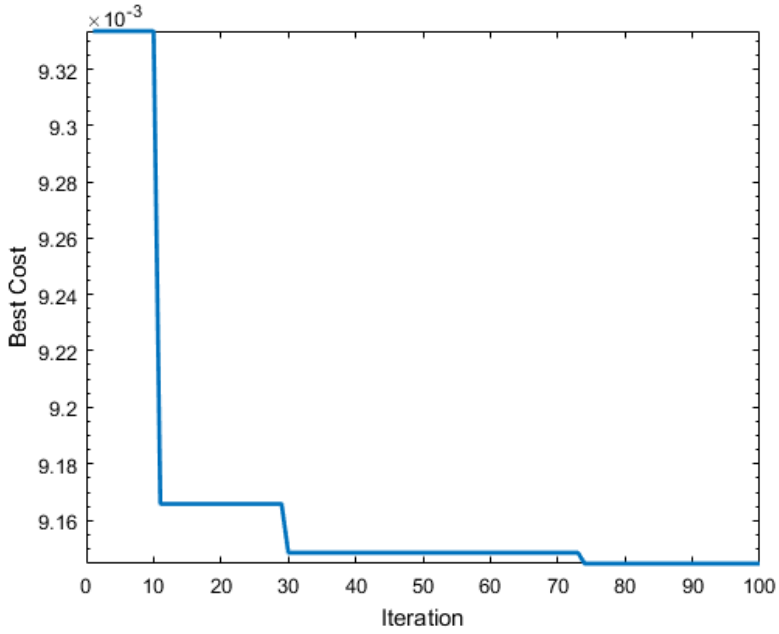
در ادامه برای تمامی مثال‌هایی که ارائه خواهد شد، برداشت میدانی از شبکه، به صورت فشار و دبی سنجی در نظر گرفته شده‌است (فشار گره‌های با شماره‌ی ۳۰، ۲۸، ۱۵، ۱۱ و دبی لوله با شماره‌ی ۴۶).

۳-۱-۲ مرحله‌ی دوم (تعیین مقدار نشت)

در نتیجه‌ی اجرای الگوریتم مرحله‌ی دوم (الگوریتم کرم شب‌تاب)، نرم افزار مقدار نشت گره ۲۱ را ۲/۵ لیتر بر ثانیه گزارش داد که نشان دهنده‌ی عملکرد صحیح نرم‌افزار تهیه شده می‌باشد. در نمودار ۱، خروجی الگوریتم کرم شب‌تاب برای یافتن بهترین مقدار تابع هدف در مقابل تعداد تکرار انجام شده، نشان داده شده‌است.

جدول ۱- حالات مختلف داده‌های میدانی از شبکه در مثال قسمت ۳-۱ (وجود یک نشت در گره ۲۱ به میزان ۲/۵ لیتر بر ثانیه)

پارامتر اندازه‌گیری میدانی	شماره‌ی گره‌های شبکه جهت فشارسنجی یا لوله‌های منتخب شبکه جهت دبی‌سنجی	فشار یا دبی میدانی اندازه‌گیری شده متناظر با ستون دوم
فقط فشار	۳۰،۲۹،۲۸،۲۷،۲۶،۲۴،۲۳،۲۲،۱۶،۱۵،۱۲،۱۱،۱۰،۹،۶،۵،۴	۲۳/۸۶، ۲۱/۳۳، ۱۸/۳۱، ۲۷/۱۱، ۲۳/۸۶، ۱۹/۷۸، ۱۸/۱۰، ۲۶/۹۲، ۲۱/۷۲، ۲۰/۵۱، ۱۸/۳۰، ۱۷/۵۷، ۲۵/۹۷، ۲۳/۱۹، ۲۰/۱۸، ۱۸/۱۶، ۱۷/۵۰ متر
فقط دبی	۴۶،۳۴،۵،۱۸	۱۱۴/۱۱، ۴۶/۳۴، ۶۷/۳۴، ۴۴/۳۸ لیتر بر ثانیه
ترکیب فشار و دبی	فشار گره‌های ۳۰، ۲۸، ۱۵ ،۱۱ و دبی لوله ۴۶	۱۷/۵۰، ۲۰/۱۸، ۲۶/۹۲ و ۱۹/۷۸ متر و ۴۴/۳۸ لیتر بر ثانیه

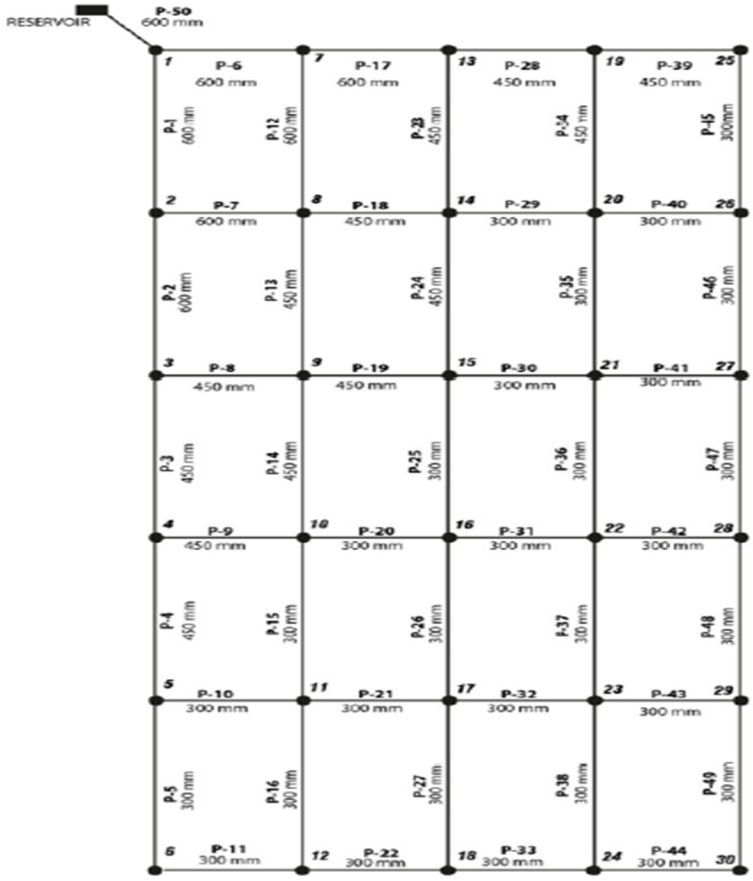


نمودار۱- تغییرات تابع هدف جمعیت بهینه کرم شب‌تاب در برابر تعداد تکرار برای مثال قسمت ۳-۱

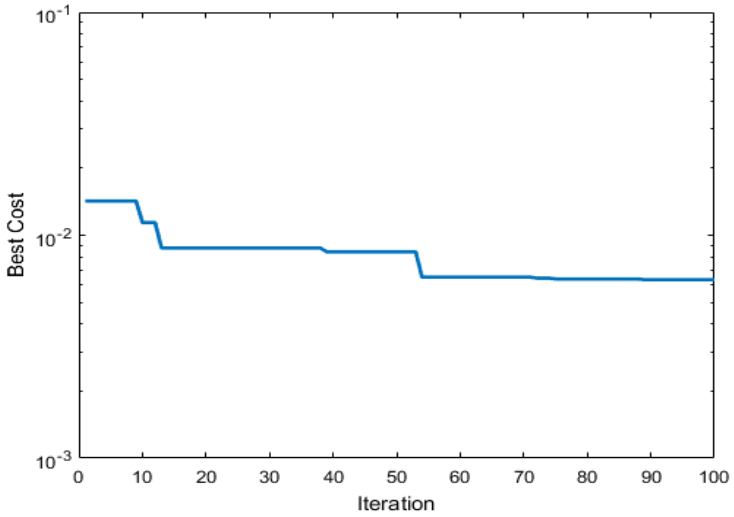
۳-۲ نشت در گره‌های ۱۵ و ۲۳ به ترتیب به مقدار ۱/۳۳ و ۳/۶۷ لیتر بر ثانیه (نشت کل برابر ۵ لیتر بر ثانیه)

بدین‌منظور ۱/۳۳ و ۳/۶۷ لیتر بر ثانیه به ترتیب به دبی برداشت گره‌های ۱۵ و ۲۳ اضافه شد و بعد از شبیه‌سازی شبکه، فشار گره‌های با شماره‌ی ۳۰، ۲۸، ۱۵ ،۱۱ (به ترتیب ۱۷/۲۱، ۱۹/۹۶، ۲۶/۷۷، ۱۹/۵۴ متر) به عنوان فشارهای میدانی اندازه‌گیری شده و دبی لوله‌ی ۴۶ به مقدار ۴۴/۴۴ لیتر بر ثانیه، به عنوان دبی میدانی اندازه‌گیری شده، درنظر گرفته شد. بعد از اجرای الگوریتم دو مرحله‌ای، نرم افزار محل نشت‌ها را در گره‌های ۱۵ و ۲۳ و مقدار آن‌ها را به ترتیب ۱/۴۳۵ و ۳/۶۳۵ لیتر بر ثانیه گزارش داد که نشان دهنده‌ی عملکرد صحیح الگوریتم تهیه شده برای یافتن مقدار و محل نشت‌ها می‌باشد. در نمودار ۲، خروجی الگوریتم کرم شب‌تاب برای یافتن بهترین مقدار تابع هدف در مقابل تعداد

تکرار انجام شده، نشان داده شده‌است. همان‌گونه که از نمودار ۲، استنباط می‌شود، میزان تابع هدف با افزایش تکرار بهبود یافته و در نهایت تقریبا میزان تغییراتش ناچیز می‌گردد.



شکل ۲- شبکه‌ی مورد مطالعه (Poulakis et al.,2003)



نمودار۲ - تغییرات تابع هدف جمعیت بهینه کرم شب‌تاب در برابر تعداد تکرار برای مثال قسمت ۳-۲

۳-۳ نشت در گره‌های ۱۱ و ۲۷ به ترتیب به مقدار ۱/۰۳ و ۲/۴۷ لیتر بر ثانیه (نشت کل برابر ۳/۵ لیتر بر ثانیه)

بدین‌منظور ، ۱/۰۳ و ۲/۴۷ لیتر بر ثانیه به ترتیب به دبی برداشت گره‌های۱۱ و ۲۷ اضافه شد و بعد از شبیه‌سازی شبکه، فشار گره‌های ۳۰، ۲۸، ۱۵ ،۱۱ (به ترتیب ۱۷/۴۱ ، ۲۰/۰۹، ۲۶/۸۷ ،۱۹/۶۷ متر) به عنوان فشارهای میدانی اندازه‌گیری شده و دبی لوله‌ی ۴۶ به مقدار ۴۴/۸۰ لیتر بر ثانیه، به عنوان دبی میدانی اندازه‌گیری شده، درنظر گرفته شد. بعد از اجرای الگوریتم دو مرحله‌ای، نرم افزار محل نشت‌ها را در گره‌های ۱۱ و ۲۷ و مقدار آن‌ها را به ترتیب ۰/۹۸۱ و ۲/۴۹۲ لیتر بر ثانیه گزارش داد که نشان دهنده‌ی عملکرد صحیح الگوریتم تهیه شده برای یافتن مقدار و محل نشت‌ها می‌باشد.

۴- جمع‌بندی و نتیجه گیری

در این مقاله یک روش جدید برای تعیین مقدار و محل وقوع یک یا دو نشت همزمان در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از نرم افزار Matlab و Epanet ارائه شد. روش پیشنهادی یک الگوریتم دو مرحله‌ای است که در مرحله‌ی اول آن محل نشت(ها) با استفاده از الگوریتم پله‌ای و در مرحله‌ی دوم آن مقدار نشت(ها) با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب تعیین می‌شود. در این روش، الگوریتم قادر خواهد بود که با دریافت داده‌های میدانی از شبکه، به تعیین مقدار و محل نشت در گره‌های شبکه بپردازد. از جمله مزایای آن می‌توان به دقت بالا در تعیین محل مقدار و محل نشت، نیاز به کم‌ترین داده‌های میدانی از شبکه (با فشارسنجی در گره‌ها یا دبی‌سنجی در لوله‌های شبکه) اشاره کرد. این الگوریتم می‌تواند هم با فشارسنجی، هم با دبی‌سنجی و هم با ترکیب فشارسنجی و دبی‌سنجی، عملیات نشت یابی را انجام دهد. تعداد برداشت‌های میدانی از ابتدا مشخص بوده و مقادیر بسیار کم نشت‌ها را نیز تعیین می‌کند. در مثال‌های مختلف انجام شده در شبکه‌ی پولاکیس، با ترکیب چهار فشارسنجی و یک دبی‌سنجی، محل و موقعیت یک نشت تنها و دو نشت همزمان، با خطای کمتر از ۸ درصد تعیین شد. نتایج کلی نشان می‌دهد که می‌توان از روش توسعه داده‌شده برای یافتن مقدار و محل تا ۲ نشت همزمان در شبکه‌های توزیع آب استفاده کرد. این روش می‌تواند برای بهره‌برداران در یافتن محل و مقدار نشت‌های گزارش نشده مورد استفاده قرار گیرد.

۵-پی‌نوشت ها

1. Non revenue water
2. Real losse
3. Apparent Losse
4. Metaheuristic

۶- مراجع

رحمانشاهی، م.، فتحی مقدم، م. و حقیقی، ع.، (۱۳۹۷)، "نشت‌یابی در خطوط لوله ویسکوالاستیک با استفاده از حل معکوس جریان گذرا"، *مجله‌ی آب و فاضلاب*، doi: 10.22093/wwj.2017.88886.2425

عطاری، م. و فغفور مغربی، م.، (۱۳۹۷)، "روش نوین نشت‌یابی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۹(۱)، ۱۴-۲۶.

عطاری، م.، زکی پور، م. و فغفور مغربی، م.، (۱۳۹۴)، "تعیین موقعیت و مقدار نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده ترکیب فشارسنجی و دبی‌سنجی به روش شبکه‌های عصبی"، *دومین همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه*، شیراز، مرکز همایش‌های علمی همایش نگار.

فغفور مغربی، م. و عطاری، م.، (۱۳۹۲)، "روش نوین نشت‌یابی در شبکه آبرسانی با استفاده از حداقل فشارسنجی در حالت وجود دو نشت همزمان"، *هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان*.

فغفور مغربی، م.، حسن زاده، ی. و یزدانی، س.، (۱۳۹۲)، "کالیبراسیون مدل‌های شبکه توزیع آب شهری با استفاده از روش بهینه‌یابی کلونی مورچه‌ها"، *مجله‌ی آب و فاضلاب*، ۲۴(۱)، ۱۰۱-۱۱۱.

معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی و وزارت نیرو دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا ،۱۳۹۱، راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن. نشریه شماره‌ی ۵۵۶.

Candelieri, A., Conti, D. & Archetti, F. (2014). "A Graph based Analysis of Leak Localization in Urban Water Networks". *Journal of Procedia Engineering*, 70: 228-237.

Faghafur Maghrebi, Mahmood., Aghaebrahimi, Mohammad Reza., Taherian, Hosein. & Attari, Mohammad .(2014). "Determining the Amount and Location of Leakage in Water Supply Networks Using a Neural Network Improved by the Bat Optimization Algorithm". *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 4(3): 322-327.

Poulakis, Z., Valougeorgis, D. & Papadimitriou, C. (2003). "Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework". *Journal of Probabilistic Engineering Mechanics*, 18(4): 315-327.

Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A. & Koppel,T. (2010). "A review of methods for leakage management in pipe networks". *Journal of Urban Water*, 7(1): 25-45.

Samir, Nourhan., Kansoh, Rawya.,Elbarki, Walid. & Fleifle, Amr .(2017). "Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems". *Alexandria Engineering Journal*, 56(4): 601-612.

Sousa, Joaquim., Ribeiro, Luísa.,Muranho, João. & Marques, Alfeu Sá .(2015). "Locating Leaks in Water Distribution Networks with Simulated Annealing and Graph Theory". *Journal of Procedia Engineering*, 119: 63-71.

Xin-She, Yang. (2010). Engineering optimization : an introduction with metaheuristic applications, John Wiley & Sons.

دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی
دانشگاه صنعتی اصفهان
۲۲ الی ۲۴ آبان‌ماه ۱۳۹۷

Identifying Position and Amount of Two Simultaneous Leaks in Water Supply Networks

Mohammadreza Jalili-Ghazizadeh[1*], Reza Moasheri[2]
1- Assistant Professor, Civil, Water, and Environmental Engineering, Department, Shahid Beheshti University, m_Jalili@sbu.ac.ir
2- M. Sc. Student, Civil-Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, re.moasheri@mail.sbu.ac.ir

Abstract

Leakage in water distribution system is a crucial issue because of problems such as water loss, water pollution, and land subsidence. Current leakage detection methods are usually costly and time-consuming, therefore new methods have been developed based on water networks simulation. In this paper, a new method for identifying the location and amount of leakage in water distribution system based on a two-step Algorithm is introduced. The first (Stepped Algorithm) and second (Firefly Algorithm) steps for determination of leak location and amount of leakage are respectively used which is applicable for even two simultaneous leaks. The proposed method is based on the comparison of the network hydraulic simulation results and some field network data (pressure or flow or their combination). The obtained results for three examples in a looped-water network are presented. The results show that the proposed algorithm is able to locate either one leak or two simultaneous leaks and their leakage values with less than 8% error. The proposed method developed in this paper can be utilized by operators of water supply networks for identifying of the position and amount of leaks.

Keywords: leak detection, water supply networks, firefly algorithm, two-stage algorithm.