



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

10910-NWWCE

تحلیل و ارزیابی عملکرد شبکه‌های توزیع آب با استفاده از معیارهای عملکرد و شاخص پایداری قطعی و فازی

شیوا بختیاری^۱، حمیدرضا صفوی^۲، محمد حسین گل محمدی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مدیریت منابع آب

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

s.bakhtyari@cv.iut.ac.ir

خلاصه

شبکه‌های توزیع آب به‌عنوان بخشی از تأسیسات توزیع آب، یکی از اصلی‌ترین قسمت‌های پروژه‌های آبرسانی می‌باشند. در این تحقیق تحلیل شبکه‌ها بر اساس تحلیل مبتنی بر تقاضا صورت گرفته و روشی با استفاده از منطق فازی جهت محاسبه معیارهای عملکرد شامل قابلیت اطمینان در زمان، قابلیت اطمینان ترکیبی (قابلیت ارتجاع، سن آب و آنتروپی)، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری ارائه شده که در آن شاخص پایداری شبکه آبرسانی با استفاده از قابلیت‌های تابع عضویت در منطق فازی توسعه یافته است. کارایی روش جدید در شبکه‌های پر کاربرد دوحلقه‌ای و انی تاون مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که عملکرد شاخص پایداری فازی توسعه‌داده شده در این تحقیق در مقایسه با روش قطعی، نسبت به واقعیت شبکه از نظر کارشناسی به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، معیارهای عملکرد، شاخص پایداری، منطق فازی.

۱. مقدمه

شبکه‌های توزیع آب شهری گسترده‌ترین بخش از تأسیسات زیربنای شهری است که در بقاء و چرخه معمول زندگی شهرها از ضروریات بی چون و چرای دنیای امروز است. وظیفه شبکه‌های توزیع آب، رساندن آب تأمین‌شده از منابع آب و تصفیه‌شده در تصفیه‌خانه‌ها با کمیت کافی، کیفیت مناسب و فشار استاندارد به هر یک از مشترکین است [۱]. از حدود چهار دهه پیش استفاده از روش‌های مختلف بهینه‌سازی در طراحی شبکه‌ها، یکی از زمینه‌های مورد علاقه دانشمندان بوده است که علاوه بر داشتن بهترین شرایط از لحاظ سرمایه‌گذاری و هزینه، بهترین شرایط بهره‌برداری را نیز برای مصرف‌کننده تأمین کند. به عبارتی در بهره‌برداری چند هدفه شبکه‌های توزیع آب، علاوه بر حداقل سازی هزینه‌ها، حداکثرسازی قابلیت اطمینان شبکه از جمله قابلیت اطمینان مکانیکی، هیدرولیکی و کیفی نیز، به‌عنوان اهداف بهینه‌سازی مطرح است و مجموع آن‌ها در جهت توسعه پایدار امری بسیار مهم و اجتناب‌ناپذیر است [۲].

در طراحی شبکه‌ی توزیع آب ترکیب‌های مختلف از اندازه قطر لوله‌ها، ارتفاع مخازن و نوع پمپ‌ها را می‌توان انتخاب نمود اما مهندس طراح باید شبکه‌ای را ارائه دهد که در بدترین شرایط موجود جوابگوی نیاز آبی مردم باشد و علاوه بر این باید گسترش شهرها و نیازهای اضطراری را در نظر بگیرد. همچنین شبکه باید طوری عمل کند تا قوانین هیدرولیکی نیز در آن کاملاً صدق کنند. این اهداف به‌عنوان شاخص پایداری ارائه شده است که امکان ارزیابی و مقایسه گزینه‌های سیاست‌های مدیریتی برای سیستم‌های آبرسانی را ممکن می‌سازد.

تمایل تصمیم‌گیرندگان به احداث شبکه‌های کم‌هزینه‌تر در گذشته، محققان را به سمت طراحی شبکه‌ها با هدف کمینه‌کردن هزینه‌ها سوق داده، اما تمرکز بیش از حد مدل‌های طراحی به کمینه‌کردن هزینه‌های ساخت، بدون توجه به وضعیت فاکتورهای کارایی و پایداری شبکه، اصلی‌ترین دلیل

ناکارآمدی مدل‌های مزبور در طی سال‌های اخیر بوده است [۳]. از این رو مفاهیم معیارهای عملکرد و شاخص پایداری و کاربرد آن‌ها در تحلیل شبکه‌های آب در یک دهه اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

کمی کردن مفاهیمی چون قابلیت اطمینان، برگشت پذیری، آسیب پذیری و پایداری یکی از دغدغه‌های مهم دانشمندان و محققان در چند دهه اخیر بوده است. لاکس در سال ۱۹۹۷ شاخص پایداری (SI) را با استفاده از تمام معیارهای عملکرد شامل قابلیت اطمینان، برگشت پذیری و آسیب پذیری را توسعه داد و بیان کرد که قابلیت اطمینان، برگشت پذیری و آسیب پذیری با هم ابزاری برای تعیین کمیت و نظارت بر پایداری در طول زمان است [۴]. برای تأمین نیازمندی‌های آب برای بشر یا محیط زیست در زمان حال و آینده لازم است که عملکرد و شاخص‌ها اندازه گیری شود تا بتوان سناریوهای مختلف سیستم‌های منابع آب را با یکدیگر مقایسه و ارزیابی نمود. این هدف در مقاله سندووال سولیس در سال ۲۰۱۱ به عنوان شاخص‌های پایداری منابع آب ارائه شده است که امکان ارزیابی و مقایسه گزینه‌های سیاست‌های مدیریتی برای سیستم‌های منابع آب را ممکن می‌سازد [۵].

قابلیت اطمینان یا اعتماد پذیری شبکه‌های آبرسانی در سال‌های اخیر به دلیل افزایش عمر زیرساخت‌ها و تغییرات آب و هوایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این قابلیت‌ها در دو دسته گرهی یا نقطه‌ای و شبکه قابل دسته بندی است که با دو الگوریتم اصلی براساس تقاضای آب در گره‌ها و کل شبکه بدون در نظر گرفتن فشار در گره‌ها و دیگری رویکرد بر پایه فشار در گره‌ها بدون در نظر گرفتن تغییرات نیاز در گره‌ها بیان می‌گردد [۶]. قابلیت اطمینان احتمال موفقیت یک سامانه در یک دوره زمانی مشخص و معیار ارزیابی معین را ارائه می‌دهد [۷]. در شبکه‌های توزیع آب، قابلیت اطمینان را می‌توان توانایی شبکه در فراهم کردن آب کافی در فشار مناسب برای مصرف کنندگان بیان کرد [۸]. به طور کلی در شبکه‌های توزیع آب، قابلیت اطمینان از سه جنبه هیدرولیکی، مکانیکی و کیفیت آب بررسی می‌شود. هاشیموتو در سال ۱۹۸۲ فرمولی برای قابلیت اطمینان بر اساس تعریف لاکس به صورت زیر ارائه نمود [۹]:

$$Rel = \frac{\text{تعداد گامهای زمانی که در آن موفقیت رخ داده است}}{\text{تعداد کل گامهای زمانی}} \quad (1)$$

معیار برگشت پذیری توانایی سیستم در بازگرداندن آن به حالت ایده آل و مطلوب پس از وقوع یک شکست در سیستم را بیان می‌کند [۹]. تودینی در سال ۲۰۰۰ مفهوم قابلیت ارتجاع را شدیداً مرتبط با توانایی ذاتی سیستم در غلبه بر شکست دانست آن را معیاری برای معرفی محدودیت‌های قابلیت اطمینان بیان نمود [۱۰]. موی و همکاران در سال ۱۹۸۶ از حداکثر تعداد دوره‌های کمبود متوالی قبل از ترمیم به عنوان تعریفی از برگشت پذیری استفاده نمودند [۱۱].

$$Res = \frac{\text{تعداد گامهای زمانی که در آن موفقیت بلافاصله بعد از یک شکست رخ داده است}}{\text{تعداد کل گامهای زمانی همراه با شکست}} \quad (2)$$

آسیب پذیری میزان شکست سیستم را بیان می‌کند که می‌تواند به صورت (۱) میانگین شکست‌ها (۲) میانگین حداکثر شکست‌ها در طول یک دوره مداوم شکست (۳) احتمال بیشتر شدن شکست در یک یا چند دوره از یک مقدار مشخص کمی شود به عقیده هاشیموتو، می‌توان آسیب پذیری را از تقسیم مجموع مقادیر عدم رضایت به مجموع تمام مقادیر در گام‌های زمانی شبیه سازی شده بدست آورد [۹]. این روش ارزیابی به وسیله هائزار و همکارانش در سال ۲۰۱۱ به منظور ایجاد سیستم‌های حمایت تصمیم گیری برای پایداری منابع آب نیز استفاده شده است [۱۲].

$$Vul = \frac{\text{مجموع کل مقادیر نامطلوب}}{\text{مجموع کل مقادیر مورد نیاز هدف}} \quad (3)$$

شاخص پایداری توسعه یافته توسط لاکس در سال ۱۹۹۷، در سال ۲۰۱۱ توسط سندووال سالیس با استفاده از توان هندسی ضرب معیارهای عملکرد به صورت رابطه زیر اصلاح گردید [۴]. که در آن C_m^i معیار عملکرد M ام مربوط به مصرف کننده یا گره i ام می باشد.

$$SI^i = \left[\prod_{m=1}^M C_m^i \right]^{1/M} \quad (4)$$

طاهری در سال ۱۳۹۴ شاخص پایداری با استفاده از قابلیت اطمینان ترکیبی به صورت زیر ارائه نمود [۱۳].

$$SI^i = \left[Rel_C^i \times Res^i \times (1 - Vul^i) \right]^{1/3} \quad (5)$$

که در آن Rel_C^i قابلیت اطمینان ترکیبی است و به صورت رابطه (۶) می‌باشد. در این رابطه I_n برگشت پذیری، IWA شاخص سن آب و ε_F آنتروپی می‌باشد و روابط و توضیحات مربوط به آن‌ها در مرجع [۱۳] به طور کامل ارائه شده است.

$$Rel_C^i = 0.3 \times I_n(i, t) + 0.3 \times r_{WA}(i, t) + 0.4 \times \varepsilon_F(i, t) \quad (6)$$

آنچه در روابط فوق از اهمیت زیادی برخوردار است نحوه شمارش گام‌های زمانی یا تعداد دفعات شکست یا پیروزی در محاسبه معیارهای عملکرد می‌باشد. در روابط فوق برای شمارش شکست‌ها یا موفقیت‌ها در هر گام از منطق کلاسیک استفاده می‌شود. از معایب این منطق آن است که در مقادیر آستانه نمی‌تواند واقعیت شکست یا پیروزی سیستم را به صورت عددی بیان کند چرا که محدوده جواب آن صفر یا یک است.

$$\text{منطق کلاسیک} \begin{cases} \text{if } x \in \tilde{A} \rightarrow \mu(x) = 1 \\ \text{if } x \notin \tilde{A} \rightarrow \mu(x) = 0 \end{cases}$$

در مقابل منطق کلاسیک، منطق فازی اولین بار توسط زاده در سال ۱۹۶۵ مطرح شد. زاده به ناتوانی منطق کلاسیک برای پرداختن به مسائل نادقیق دنیای واقعی اشاره کرد و چارچوب جدیدی به نام تئوری فازی را پایه‌ریزی کرد و مبانی آن را معرفی نمود [۱۴]. این تئوری تعمیم یافته منطق کلاسیک است که در آن دسترسی گزاره‌ها می‌تواند در محدوده صفر و یک تغییر کند و بدین ترتیب امکان استدلال تقریبی فراهم می‌گردد.

$$\text{منطق فازی} \begin{cases} \text{if } x \in \tilde{A} \rightarrow 0 < \mu(x) \leq 1 \\ \text{if } x \notin \tilde{A} \rightarrow \mu(x) = 0 \end{cases}$$

در این تحقیق با استفاده از مفهوم تابع عضویت در منطق فازی برای محاسبه معیارهای عملکرد، ضمن توسعه یک شاخص پایداری حاصل از ترکیب چهار معیار قابلیت اطمینان فازی در زمان، قابلیت اطمینان ترکیبی (قابلیت ارتجاع، سن آب و آنتروپی)، برگشت پذیری فازی و آسیب پذیری فازی برای ارزیابی شبکه‌های توزیع آب، کارایی آن‌ها با استفاده از نتایج فشار حاصل از شبیه‌سازی شبکه‌های دوحلقه‌ای و انی‌تاون با معیارها و شاخص پایداری در منطق کلاسیک مورد مقایسه، ارزیابی و بحث قرار گرفته‌است.

۲. مواد و روش‌ها

تئوری مجموعه‌های فازی که در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده ارائه شد به گفته ایشان اساساً نوع جدیدی از ریاضیات است که مقادیر مبهم یا فازی که توسط توزیع‌های احتمالاتی قابل توصیف نیستند، را بیان می‌کند [۱۴]. بیان میزان «فازیت» نسبت به میزان احتمالات بسیار راحت‌تر و کاربردی‌تر است. در تئوری کلاسیک تعلق یک عضو به یک مجموعه به صورت صریح بوده و یک عضو می‌تواند به یک مجموعه تعلق داشته باشد و یا به آن تعلق نداشته باشد یعنی تابع تعلق به صورت یک مجموعه دودویی حاوی صفر و یک است؛ درحالی که در تئوری فازی، تابع تعلق به صورت یک تابع پیوسته در محدوده صفر و یک می‌باشد. تابع عضویت در تئوری مجموعه‌های فازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا تمام اطلاعات مربوط به یک مجموعه فازی به وسیله تابع عضویت آن توصیف می‌شود. تابع عضویت، مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را نشان می‌دهد. در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد، تابع عضویت گفته می‌شود. توابع عضویت مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی، زنگوله‌ای و سیگموئید از جمله معروف‌ترین توابع عضویت استاندارد می‌باشند.

تابع عضویت زنگوله‌ای از مهم‌ترین و پرکاربردترین توابع عضویت فازی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu(x) = \text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (7)$$

پارامترهای a, b, c می‌توانند در شرایط مختلف و بر اساس نظرات کارشناسان خبره تعیین می‌شوند.

صفوی و گل محمدی (۲۰۱۶) با استفاده از مفهوم تابع عضویت در تئوری فازی و مفاهیم مطلوبیت و عدم مطلوبیت قابل استنتاج از تابع عضویت، روابط مربوط به معیارهای عملکرد اعم از قابلیت اطمینان، برگشت پذیری و آسیب پذیری را برای تحلیل عملکرد سیستم‌های منابع آب مورد بازبینی قرار داده و روابط زیر را برای محاسبه این معیارها پیشنهاد دادند [۱۵]:

$$Rel_{time}^i = \frac{\sum \mu^i(x_t)}{N} \times 100\%; \quad 0 \leq Rel_{time}^i \leq 100\% \quad (8)$$

$$Res^i = \frac{\sum_t \left(\mu^i(x_t) - \mu^i(x_{t-1}) \mid \mu^i(x_t) > \mu^i(x_{t-1}) \right)}{\sum_t (1 - \mu^i(x_t))} \times 100\%; \quad 0 \leq Res^i \leq 100\% \quad (9)$$

در این تحقیق معیار آسیب‌پذیری فازی برای شبکه‌های آب با استفاده از مفهوم رابطه (۳) و مقدار مطلوبیت حاصل از تابع عضویت فازی به صورت زیر پیشنهاد می‌گردد:

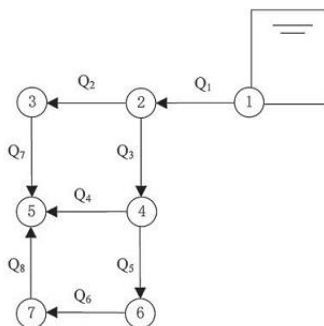
$$Vul^i = \frac{\sum_t x_t \times (1 - \mu^i(x_t))}{\sum_t x_t} \quad (10)$$

همچنین جهت محاسبه پایداری شبکه‌های آب، رابطه زیر براساس رابطه (۴) و روابط (۶) تا (۹) پیشنهاد می‌گردد:

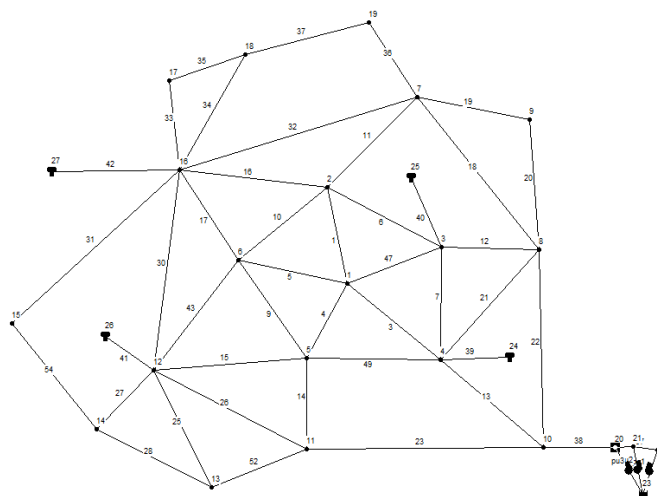
$$SI^i = \left[Rel_{time}^i \times Rel_C^i \times Res^i \times (1 - Vul^i) \right]^{1/4} \quad (11)$$

جهت بررسی و ارزیابی شاخص پایداری پیشنهادی، از شبکه‌های دو حلقه‌ای و انی‌تاون به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. شکل‌های (۱) و (۲)، شماتیک شبکه‌های مذکور را نمایش می‌دهد [۱۶].

شبکه دو حلقه‌ای از ۸ لوله با اندازه‌های یکسان به طول ۱۰۰۰ متر قرار گرفته در دو حلقه تشکیل شده است و همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با یک مخزن ثابت تغذیه می‌شود. در این تحقیق، مشخصات بهینه شبکه‌ی دو حلقه‌ای مورد استفاده قرار گرفته که توسط ژو در سال ۲۰۱۵ بدست آمده است [۱۷]؛ همچنین منبع تأمین آب در شبکه انی‌تاون از رودخانه است که تصفیه آب در تصفیه خانه مرکزی شهر واقع در گره شماره ۱۰ انجام می‌گیرد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود ۳ پمپ یکسان مرتبط به صورت موازی آب را از تصفیه خانه به شبکه پمپاژ می‌کند. مشخصات بهینه این شبکه از مطالعات فرمانی در سال ۲۰۰۵ استخراج و مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸].



شکل ۱- شبکه دو حلقه‌ای



شکل ۲- شبکه انی تاون

پس از توسعه شبکه‌های فوق و اجرای آن در محیط نرم‌افزار EPANET، خروجی‌های مربوط به پارامتر فشار در گره‌ها با استفاده از روابط مربوط به معیارهای عملکرد و شاخص پایداری از دو منطق کلاسیک و فازی محاسبه شده و نتایج جهت ارزیابی روابط توسعه داده شده با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

۳. نتایج و بحث

مدل‌سازی این دو شبکه در ۲۴ ساعت با دوره زمانی ۳ ساعته با ضرایب تقاضای متفاوت در طول روز که مطابق جدول ۱ می‌باشد، مورد تحلیل قرار گرفته‌است. با اجرای مدل در نرم‌افزار EPANET، فشار در گره‌های مختلف در کل شبکه‌ها محاسبه شده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. جهت محاسبه معیارهای عملکرد و شاخص پایداری قطعی برای این دو شبکه، براساس نشریه ۱۱۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری در سال ۱۳۹۲، حداقل فشار برابر ۳۰ مترآب و حداکثر آن برابر ۵۰ مترآب در نظر گرفته شده‌است. در روش فازی، تابع عضویت مربوط به این شبکه‌ها با استفاده از محدوده فشار تعیین شده در نشریه مذکور و نظر ۵ نفر از متخصصین در حوزه شبکه‌های آب به صورت $\mu(x; a, b, c) = \text{bell}(x; 15, 1.8, 40)$ (رابطه ۷) در نظر گرفته شده که نمودار آن در شکل ۳ نمایش داده شده‌است. در نهایت با استفاده از خروجی‌های نرم‌افزار EPANET و تابع عضویت فوق، می‌توان میزان درجه عضویت گره‌ها یا به عبارت دیگر میزان مطلوبیت فشار در هر گره از شبکه‌ها را محاسبه نمود.

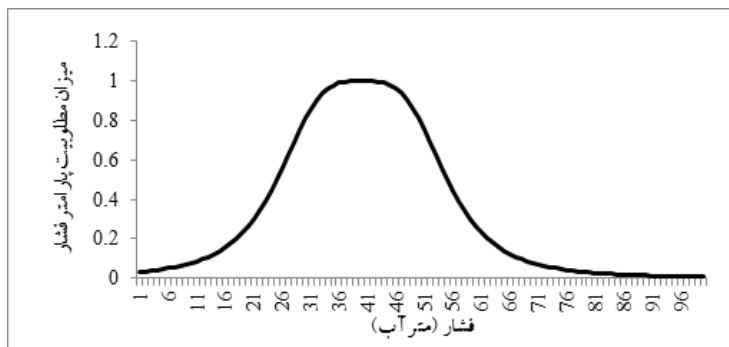
جدول ۱- الگوی زمانی تغییرات تقاضا

دوره زمانی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ضریب	۰/۷	۰/۶	۱/۲	۱/۳	۱/۲	۱/۱	۱	۰/۹

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



شکل ۳- تابع عضویت مورد استفاده در محاسبه معیارهای عملکرد شبکه‌های دو حلقه‌ای و انی‌تاون

خروجی‌های شبکه دو حلقه‌ای جهت تحلیل، ارزیابی و مقایسه شاخص‌های توسعه داده شده فازی در این تحقیق با شاخص‌های متداول غیر فازی در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود بعضی از فشارها با اختلاف کمی خارج از محدوده مجاز قرار گرفته است که مقادیر از لحاظ روش قطعی شکست مطلق محسوب می شود در حالی که در روش فازی این مقادیر دارای مطلوبیت بالایی می باشند. برای مثال در گره ۲ در حالت قطعی در تمامی بازه‌های زمانی فشار بالاتر از حد ماکسیمم می باشد در نتیجه از لحاظ روش قطعی دچار شکست شده و میزان مطلوبیت صفر می باشد در حالی که در روش فازی در ساعت ۹ بر اساس نظر کارشناسان میزان مطلوبیت برابر ۸۱٪ می باشد که میزان مطلوبیت نسبتاً بالایی دارد. حال اگر در جدول ۲ فشار گره ۲ در ساعت ۹ مشاهده شود فشار برابر با ۵۰/۱۵ متر آب می باشد که فقط ۰/۱۵ با حداکثر فشار مجاز فاصله دارد و این بدین معنی می باشد که در این ساعت گره دارای فشار مناسبی می باشد و باید میزان مطلوبیت بالایی داشته باشد. حال اگر این حالت برای ما بقیه فشارها نیز بررسی شود نشان می دهد که نتایج حاصل از معیارهای فازی بسیار ملموس تر از نتایج معیارهای قطعی است.

جدول ۲- فشارهای بدست آمده در بازه زمانی ۲۴ ساعته برای شبکه دو حلقه ای

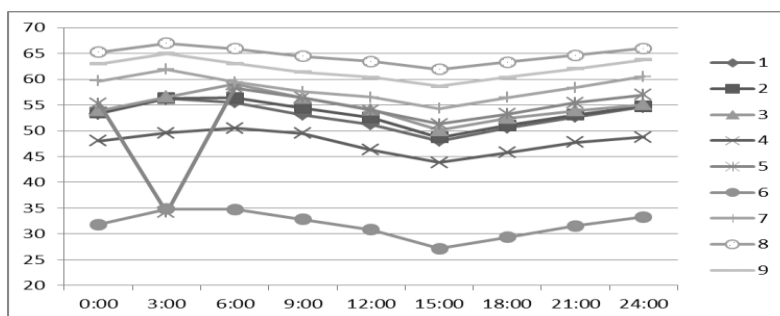
فشار (متر آب)									شماره گره
۰:۰۰	۲۱:۰۰	۱۸:۰۰	۱۵:۰۰	۱۲:۰۰	۹:۰۰	۶:۰۰	۳:۰۰	۰:۰۰	
۵۶/۸۷	۵۵/۰۱	۵۳/۹۴	۵۲/۷۷	۵۱/۵۱	۵۰/۱۵	۵۱/۵۱	۵۷/۶۵	۵۶/۸۷	۲
۴۰/۸۶	۳۵/۴۴	۳۲/۳	۲۸/۸۹	۲۵/۱۹	۲۱/۲۳	۲۵/۱۹	۴۳/۱۳	۴۰/۸۶	۳
۴۹/۸۱	۴۶/۷۳	۴۴/۹۵	۴۳/۰۱	۴۰/۹۱	۳۸/۶۶	۴۰/۹۱	۵۱/۱	۴۹/۸۱	۴
۴۵/۶۹	۳۷/۲۱	۳۲/۳	۲۶/۹۵	۲۱/۱۷	۱۴/۹۷	۲۱/۱۷	۴۹/۲۵	۴۵/۶۹	۵
۳۷/۸۵	۳۳/۶۱	۳۱/۱۶	۲۸/۴۹	۲۵/۶	۲۲/۵	۲۵/۶	۳۹/۶۳	۳۷/۸۵	۶
۴۰/۴۷	۳۴/۸۱	۳۱/۵۴	۲۷/۹۸	۲۴/۱۳	۱۹/۹۹	۲۴/۱۳	۴۲/۸۳	۴۰/۴۷	۷

معیارهای عملکرد و شاخص پایداری محاسبه شده برای کل شبکه به روش‌های قطعی و فازی در جدول ۳ ارائه شده است. مشاهده می شود که براساس روش فازی قابلیت اطمینان فازی بالاتر از حدی است که روش قطعی نمایش می دهد. همچنین برگشت پذیری و آسیب پذیری شبکه نیز کمتر از مقداری است که از روش قطعی محاسبه می کند. بنابراین به طور کلی می توان گفت از دیدگاه کارشناسی و ملموس میدانی پایداری شبکه (۵۷٪) بیش از مقداری است که روش قطعی (۵۰٪) آن را محاسبه می کند. تفاوت بین نتایج زمانی بسیار زیاد و قابل تأمل خواهند بود که مقادیر فشار گره‌ها بسیار نزدیک به محدوده مجاز ولی خارج از آن باشد. در این مواقع به طور حتم روش قطعی محقق را با اشتباهات و نتایج نادرستی روبرو خواهد کرد که طبعاً تصمیمات نادرستی را نیز در پی خواهد داشت؛ این درحالی است که روش فازی به خوبی مقادیر حدی را شناسایی کرده و نتایج ملموس تری را به محقق ارائه می دهد.

جدول ۳- مقایسه مقادیر قطعی و برگشت پذیری در شبکه دو حلقه‌ای

روش	قابلیت اطمینان ترکیبی	قابلیت اطمینان در زمان	برگشت پذیری	آسیب پذیری	شاخص پایداری
قطعی	۶۱	۵۲	۳۳	۴۱	۵۰
فازی		۷۴	۳۰	۲۱	۵۷

بخشی از خروجی‌های شبکه انی تاون در شکل ۴ ارائه شده است. در این شبکه اگر میزان مطلوبیت قطعی و فازی برای فشار گره‌ها محاسبه شود مشاهده می‌شود که اکثر مطلوبیت‌هایی که برای حالات فازی بدست آمده نزدیک به مقادیر قطعی می‌باشد ولی در بعضی گره‌ها مطلوبیت فازی و قطعی تفاوت فاحشی دارند برای مثال اگر گره ۱ در زمان ۱۸:۰۰ مشاهده شود در حالت قطعی مطلوبیتی برابر صفر دارد که در مقابل آن در روش فازی مطلوبیتی برابر ۸۱٪ دارد. حال اگر در شکل ۴ فشار این گره در زمان ۱۸:۰۰ برابر با حدود ۵۰/۵۴ می‌باشد؛ و بنابراین تنها ۵۴٪ از حد مجاز ماکسیمم بیشتر می‌باشد که این مقدار فشار چه از نظر متخصصین و چه از نظر ذینفعان مقداری مطلوب می‌باشد.



شکل ۴- فشارهای بدست آمده در بازه زمانی ۲۴ ساعته برای شبکه انی تاون

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود شاخص پایداری فازی و قطعی با یکدیگر برابر می‌باشد و این موضوع نشان دهنده این می‌باشد که مقادیر فشار یا دقیقاً در فاصله حد مجاز می‌باشد و یا اختلاف زیادی با حد ماکسیمم و مینیمم دارد. فشارهایی مشابه با فشار گره ذکر شده باعث می‌شود میزان قابلیت اطمینان روش فازی بیشتر از روش قطعی باشد. حال اگر میزان مطلوبیت گره ۶ را در زمان ۱۸:۰۰ و ۲۱:۰۰ در نظر گرفته شود مشاهده می‌شود اختلاف مطلوبیت این دو زمان تفاوت زیادی ندارد و برگشت پذیری شبکه در این زمان کم می‌باشد ولی در روش قطعی در زمان ۱۸:۰۰ شبکه شکست خورده و در زمان ۲۱:۰۰ فشار مورد نیاز را تأمین نموده حالتهای مشابه حالت ذکر شده نشان می‌دهد که برگشت پذیری کلی شبکه با استفاده از روش فازی کمتر از روش قطعی بدست می‌آید.

جدول ۴- مقایسه مقادیر قطعی و برگشت پذیری در شبکه انی تاون

روش	قابلیت اطمینان ترکیبی	قابلیت اطمینان در زمان	برگشت پذیری	آسیب پذیری	شاخص پایداری
قطعی	۴۰	۴۴	۴۶	۵۸	۴۳
فازی		۵۹	۲۵	۴۱	۴۳

۴. جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شاخص پایداری و اجزاء آن اعم از معیارهای قابلیت اطمینان، برگشت پذیری و آسیب پذیری در دو منطق فازی و کلاسیک مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. نتایج فشار در گره‌های دو شبکه انی‌تاون و دو حلقه‌ای که در نرم افزار EPANET توسعه داده شدند، به عنوان داده‌های قابل ارزیابی انتخاب و مطالعه موردی تحقیق را تشکیل دادند. نتایج نشان داد که محاسبات پایداری و معیارهای عملکرد با استفاده از منطق فازی نسبت به منطق کلاسیک نسبت به واقعیت شبکه از دیدگاه خبرگان و کارشناسان، منطقی‌تر و ملموس‌تر می‌باشد. نتایج مبین آن است که به طور قطع نمی‌توان قضاوت کرد که شاخص پایداری فازی بیشتر یا کمتر از شاخص پایداری قطعی خواهد بود بلکه مقادیر آن بستگی به محدوده فشار گره دارد. اگر فشار گره‌ها اکثراً در نزدیکی مرز محدوده‌ی مجاز قرار گیرد اختلاف شاخص پایداری فازی با شاخص پایداری قطعی زیاد و اگر مقادیر فشار در نزدیکی مرز محدوده‌ی مجاز و اغلب در داخل محدوده‌ی مجاز قرار گیرند شاخص پایداری فازی بیشتر از شاخص پایداری قطعی خواهد بود؛ و بالعکس چنانچه مقادیر فشار در نزدیکی مرز محدوده‌ی مجاز ولی اکثراً خارج از محدوده مجاز باشند شاخص پایداری فازی کمتر از شاخص پایداری قطعی خواهد بود.

۵. مراجع

۱. منزوی، م. ت. (۱۳۸۷). "آبرسانی شهری"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. تابش، م.، نظیف، س. بابائی، ن. (۱۳۹۲). "بهره‌برداری بهینه از منابع در شبکه‌های توزیع آب در جهت توسعه پایدار"، اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.
3. Walski, T. (2001). The wrong paradigm-why water distribution optimization doesn't work. *Water Resources Planning and Management*, Vol. 127 (4), 203-205.
4. Loucks, D. P. (1997). Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 42, pp. 513-530.
5. Sandoval-Solis, S., McKinney, D. C. Loucks, D. P. (2011). Sustainability Index for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 137, pp. 381-390.
6. Liserra, T., Maglionico, M., Ciriello, V. Di Federico, V., (2014). Evaluation of Reliability Indicators for WDNs with Demand-Driven and Pressure-Driven Models. *Water Resources Management*. Vol. 28, pp. 1201-1217.
7. Bazovsrx, I., Prentice, H., Englewood, C. (1961). Reliability Theory and Practice. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
8. Tabesh, M. (1998). Implications of the pressure dependency of outflows of data management, mathematical modelling and reliability assessment of water distribution systems. Ph.D. Dissertation, University of Liverpool.
9. Hashimoto, T. (1982). Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation. *Water Resources Research*. Vol. 18, No. 1, PP.14-20.
10. Todini, E. (2000). Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. *Urban Water*. Vol. 2, pp. 115-122.
11. Moy, W.S., Cohon, J.L., Revelle, C.S., (1986). A programming model for analysis of reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. *Water Resources Research* 22 (4), 2135–2141.
12. Kang, D., Luis H., Huizar, J., Lansey, K. (2011). A Decision Support System for Sustainable Urban Water Supply. in World Environmental and Water Resources Congress, pp. 3238-3250.
۱۳. طاهری، س. (۱۳۹۴). "ارائه شاخصی ترکیبی قابلیت اطمینان در جهت ارزیابی پایداری شبکه‌های آبرسانی شهری" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان دانشکده عمران.
14. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. Vol. 8, pp. 338-353.
15. Safavi, H. R., Golmohammadi, M. H., Sandoval-Solis, S. (2016). Scenario Analysis for Integrated Water Resources Planning and management under Uncertainty in the Zayandehrud River Basin. *Journal of Hydrology*, Vol. 539, pp. 625-639.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



16. Fujiwara, O. Khang, D. B. (1990). A two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resources Research*. Vol. 26, pp. 539-549.
17. Zhou, X., Gao, D. Y. Simpson, A. R. (2015). Optimal design of water distribution networks by a discrete state transition algorithm. *Engineering Optimization*. Vol. 48, pp. 603-628.
18. Farmani, R., Walters, G. Savic, D. (2005). Trade-off between Total Cost and Reliability for Anytown Water Distribution Network. *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 131, pp. 161-171.