

ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن تقاضای وابسته به فشار (ناحیه یک آب شهر ایلام)

شکوفه شارونی زاده^۱، جعفر مامی زاده^۲، جواد سروریان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۸

چکیده

مدل‌های مرسوم تحلیل شبکه‌های توزیع آب شهری که آنالیز تقاضا محور نامیده می‌شوند، معمولاً با این فرض آنالیز می‌شوند که تقاضای آب در گره‌ها معلوم است و همیشه برآورده می‌گردند. یعنی بدون توجه به فشار در گره‌ها مساوی جریان خروجی گره هستند. این آنالیز در شرایط عادی طراحی، معتبر است. با این حال، در بسیاری از مواقع بحرانی مانند ترکیدگی یا شکستگی لوله و نیاز آتش‌نشانی در گره‌های مصرف، جریان خروجی گره تحت تأثیر فشار کم، کاهش خواهد یافت. بنابراین، شبیه‌سازی شبکه در شرایط کمبود فشار با استفاده از روش تقاضا محور می‌تواند باعث انحراف زیاد از وضعیت واقعی گردد. در این تحقیق از ترکیب سه روش تقاضای وابسته به فشار (PDD) با نرم‌افزار WaterGems برای شبیه‌سازی عملکرد شبکه‌های دارای کمبود فشار استفاده گردید. ارزیابی عملکرد سه روش پیشنهادی با یک شبکه مبنا و بخشی از شبکه توزیع آب شهر ایلام (ناحیه ۱) انجام گرفت. نتایج نشان داد که روش PDD و روش استفاده از شیر یکطرفه، شیر کنترل جریان و یک قطره‌چکان فرضی در هر گره تقاضا، نتایج نزدیک به هم دارند و نسبت به روابط مختلف ارائه شده توسط محققین که بسیار طولانی و زمان‌بر است ارجحیت داشته و تنها با یک مرحله شبیه‌سازی به جواب می‌رسند. این روش‌ها در زمان شکستگی یکی از لوله‌های شبکه توزیع آب ایلام و با در نظر گرفتن فشار مطلوب ۱۵ متر، به ترتیب ۸۲/۸۳ و ۸۲/۰۷ درصد از کل نیاز شبکه را تأمین می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: آنالیز تقاضا محور، تقاضای وابسته به فشار، شبکه توزیع آب، WaterGems.

^۱ کارشناسی ارشد دانشگاه ایلام، خوزستان، اهواز، پادادشهر، ۰۹۱۶۳۴۷۸۳۱۱ .shsharooni@gmail.com

^۲ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ایلام، ۰۹۱۸۳۴۱۸۲۱۴ .jafarmami@gmail.com (مسئول مکاتبه)

^۳ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ایلام، ۰۹۱۲۴۰۸۶۵۷۸ .j.sarvarian@gmail.com

مقدمه

مدل‌های هیدرولیکی شبکه بطور گسترده به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی سیستم توزیع آب (WDS) استفاده می‌شوند. مدل‌های زیادی مانند Pipe Flow Expert, MikeNet, WaterCad, Loop Epanet و WaterGems وجود دارد که برای آنالیز عملکرد سیستم‌های توزیع آب توسعه داده شده‌اند. بیشتر این مدل‌های هیدرولیکی فرض می‌کنند که تقاضای گره‌ها یک مقدار معلوم و ثابتی است و به تبع آن فشار گره و جریان در لوله محاسبه می‌گردد. این روش تحلیل شبکه، آنالیز تقاضا محور (DDA) نامیده می‌شود. آنالیز تقاضا محور در شرایط نرمال شبکه و نیز در برخی از شرایط بهره‌برداری مانند شناسایی گره‌های دارای کمبود در یک سیستم معتبر می‌باشد. این آنالیز معمولاً نمی‌تواند رفتار شبکه را در شرایط بحرانی (شکستگی یا ترکیدگی لوله، نیاز آتش‌نشانی، قطع برق در ایستگاه پمپاژ و تأمین ناکافی آب از منابع آبی) به علت فشار کم بدست آمده در گره‌ها شبیه‌سازی کند. در شرایط واقعی، تقاضای وابسته به فشار (PDD) واقع بینانه‌تر است. زمانی که فشار گره تا حدی مشخص معروف به «فشار مطلوب» افت می‌کند، تنها می‌توان بخشی از تقاضای گره را تأمین کرد. زمانی که فشار گره تا سطحی به نام «فشار حداقل» افت می‌کند، تقاضای گره صفر خواهد بود. بسیاری از مطالعات موردی بر نحوه فرمول‌بندی رابطه بین ارتفاع فشار گره و دبی یا تقاضای موجود متمرکز می‌باشند. (Bhave 1981; Germanopoulos 1985; Wagner et al. 1988; Fujiwara et al. 1998; Tucciarelli et al. 1999; Tanyimboh et al. 2010). واسطی و لطفی زاده (۱۳۸۶) یک برنامه تحلیل مبتنی بر فشار شبکه ارائه نمودند که علاوه بر تحلیل هیدرولیکی شبکه، توانایی در نظر گرفتن پارامتر نشت و لحاظ کردن شکست به صورت پیوسته در تک تک لوله‌های شبکه را دارد تا بهره‌بردار، بحرانی‌ترین لوله از نظر شکست را شناسایی نماید. تابش و سلطانی (۱۳۸۷) پنج فرمول دبی-فشار ارائه شده توسط

محققین مختلف، برای یک شبکه نمونه را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که دقت فرمول واگنر بیشتر است. شیرزاد و تابش (۱۳۹۰) به اندازه‌گیری آزمایشگاهی دبی قابل برداشت در فشارهای مختلف نسبت به بررسی روابط فشار-دبی ارائه شده پرداختند. نتایج نشان داد که رابطه Fujiwara & Ganeshraja دارای پایین‌ترین دقت می‌باشد و روابط اوریفیس و Wagner نیز دارای بالاترین دقت بوده و نسبت به روابط دیگر عملکرد بهتری دارند. (Gupta and Bhave, 1996). فرمول‌بندی ارتفاع فشار-دبی توسعه داده شده توسط محققان مختلف را مقایسه کردند. (Rossman, 2007) آنالیز کمبود فشار در هر یک از گره‌های شبکه را با در نظر گرفتن یک قطره چکان در آن گره که ارتباط بین دبی خروجی و فشار در آن گره را مشخص می‌کند، در نرم افزار EPANET مدل‌سازی نمود. (Liu et al., 2011) به مقایسه بین عملکرد چهار تابع تقاضای مختلف وابسته به فشار در شبکه‌ها پرداختند. همچنین ترکیدگی لوله با استفاده از منتشرکننده در ارتباط با آنالیز PDD را شبیه‌سازی کردند. (Jun and Guoping, 2013) الگوریتم EPANET-MNO را جهت تحلیل شبکه‌ها در شرایط غیر نرمال مانند شکست لوله‌ها و نیاز آتش‌نشانی توسعه دادند و آن را با فرمول‌های مختلف ارائه شده توسط محققین مقایسه نمودند. همچنین کارایی مناسب الگوریتم توسعه داده شده را جهت آنالیز دوره زمانی گسترش یافته در یک شبکه بزرگ مقیاس واقعی را نشان دادند. (Abdy Sayyed and Gupta, 2013) به مقایسه فرمول‌بندی ارتفاع فشار-دبی توسط محققان مختلف پرداختند و روش‌های به کارگیری آن‌ها را به دو روش مستقیم و غیر مستقیم طبقه‌بندی کردند. (Abdy Sayyed et al., 2014) یک روش غیر تکراری ساده را برای مدل کردن کمبود فشار در شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن شیر یک‌طرفه، شیر کنترل جریان و یک قطره چکان فرضی در هر گره تقاضا توسعه

دادند. الگوریتم مذکور با مدل هیدرولیکی EPANET تلفیق گردید و نتایج تحقیق نشان دهنده عملکرد مناسب مدل بود.

الگوریتم Muranho et al. (2014) EPANET-WaterNetGen را به منظور تحلیل شبکه‌ها در حالت فشار نرمال و کمبود فشار در گره‌ها توسعه دادند. شرایط کمبود فشار در گره‌ها را با استفاده از رابطه هیدرولیکی بین ارتفاع فشار-دبی و در نظر گرفتن نشت از لوله مربوطه مدل‌سازی نمودند. در این تحقیق برای تخمین جریان خروجی واقعی بسته به ارتفاع فشار موجود، از ترکیب مدل هیدرولیکی WaterGems با روابط و روش‌های پیشنهادی مختلف استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق یک شبکه توزیع آب مینا و بخشی از شبکه توزیع آب شهر ایلام (ناحیه ۱) در حالت‌های مختلف بهره‌برداری اعم از شرایط نرمال کاری و یا در شرایط بحرانی مانند شکستگی و ترکیدگی لوله مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا شبکه‌ها با نرم‌افزار WaterGems مدل‌سازی می‌شود و پارامترهای مختلف جریان مانند ارتفاع هیدرولیکی و میزان تقاضا در گره‌های مصرف بررسی می‌شود. در صورتی که پارامترهای مذکور در کلیه نقاط شبکه بالاتر از حد مجاز بود، مدل WaterGems به تنهایی پاسخگو بوده و نیازی به استفاده از سایر روش‌ها نمی‌باشد. این حالت بهره‌برداری به عنوان حالت نرمال در نظر گرفته می‌شود. اگر مقدار پارامترها در برخی نقاط شبکه کمتر از محدوده‌ی مجاز بودند، دیگر نرم‌افزار مربوطه به تنهایی جوابگو نیست و از ترکیب روش‌های مختلف، برای تخمین جریان خروجی واقعی بسته به ارتفاع فشار موجود، با نرم‌افزار WaterGems استفاده می‌شود. این حالت بهره‌برداری به عنوان حالت بحرانی (شبکه دارای کمبود فشار در گره‌ها) در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه سه روش متفاوت برای ترکیب با نرم‌افزار WaterGems در شرایط بحرانی ارائه شده است.

روش اول: استفاده از روابط ارائه شده توسط محققین مختلف

محققان زیادی تابع تقاضای وابسته به فشار متفاوتی را برای تخمین جریان خروجی واقعی بسته به ارتفاع فشار موجود پیشنهاد کرده‌اند. فرمول عمومی این توابع به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$\begin{aligned} H_i^{avl} \leq H_i^{\min} &\Rightarrow Q_i^{avl} = 0 \\ H_i^{\min} \leq H_i^{avl} \leq H_i^{des} &\Rightarrow Q_i^{avl} = Q_i^{req} \times DSR \\ H_i^{avl} \geq H_i^{des} &\Rightarrow Q_i^{avl} = Q_i^{req} \end{aligned} \quad (1)$$

که Q_i^{avl} جریان خروجی واقعی، Q_i^{req} تقاضا، H_i^{\min} حداقل ارتفاع فشار پیژومتریک که کمتر از آن $Q_i^{avl} = 0$ است، H_i^{avl} ارتفاع فشار واقعی، H_i^{des} ارتفاع فشار مطلوب پیژومتریک که بیشتر از آن $Q_i^{avl} = Q_i^{req}$ است، DSR نسبت برآورده شدن تقاضا است که نشانگر درصد تقاضای برآورده شده می‌باشد. فرمول فوق نشان می‌دهد زمانی که فشار گره کمتر از حداقل فشار معینی است، جریان خروجی گره صفر می‌شود و اگر فشار گره بیشتر از فشار مطلوب باشد، جریان خروجی گره مساوی تقاضای گره است. در حالتی که فشار بین مقدار حداقل و فشار مطلوب باشد، نسبتی از تقاضای واقعی گره مصرف تأمین می‌شود. در این تحقیق، شش تابع تقاضای وابسته به فشار مطابق با جدول (۱) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول (۱): نواع مختلف تقاضای وابسته به فشار

محقق	تابع تقاضای وابسته به فشار
(Germanopoulos;1985)	$Q_i^{avl} = Q_i^{req} * DSR = Q_i^{req} [1 - \alpha^{(-\beta)}], \beta = C_i \left[\frac{H_i^{avl} - H_i^{min}}{H_i^{des} - H_i^{min}} \right]$
Wagner et al; 1988 and Chandapillai;1991	$Q_i^{avl} = Q_i^{req} * DSR = Q_i^{req} ((H_i^{avl} - H_i^{min}) / (H_i^{des} - H_i^{min}))^{(1/n)}$
Fujiwara et al; 1998	$Q_i^{avl} = Q_i^{req} * DSR = Q_i^{req} (H_i^{avl} - H_i^{min})^2 (3H_i^{des} - 2H_i^{avl} - H_i^{min}) / (H_i^{des} - H_i^{min})^3$
Tucciarelli et al;1999	$Q_i^{avl} = Q_i^{req} * DSR = Q_i^{req} \sin^2(\pi(H_i^{avl} - H_i^{min}) / 2(H_i^{des} - H_i^{min}))$
Tanyimboh et al; 2010	$Q_i^{avl} = Q_i^{req} * DSR = Q_i^{req} (exp(\alpha_i + \beta_i H_i^{avl}) / 1 + exp(\alpha_i + \beta_i H_i^{avl}))$ $\alpha_i = (-4.595H_i^{des} - 6.907H_i^{min}) / (H_i^{des} - H_i^{min}), \beta_i = (11.502) / (H_i^{des} - H_i^{min})$
Reddy and Elango;1989 and Chandapillai;2012	$Q_i^{avl} = k (H_i^{avl} - H_i^{min})^\gamma, k = Q_i^{req} / (H_i^{des} - H_i^{min})^\gamma$

فشار (PDD) توسعه یافته و در چارچوب مدل سازی WaterGEMS v8 گنجانده شده است (رابطه ۲).

$$\frac{Q_i^s}{Q_{ni}} = \begin{cases} 0 & H_i \leq 0 \\ \left(\frac{H_i}{H_{ni}}\right)^\alpha & 0 < H_i < H_t \\ \left(\frac{H_t}{H_{ni}}\right)^\alpha & H_i \geq H_t \end{cases} \quad (2)$$

که H_i نشانگر فشار محاسبه شده در گره i ، Q_{ni} تقاضای درخواست شده یا تقاضای مرجع در گره i ، Q_i^s تقاضای محاسبه شده در گره i ، H_{ni} فشار مرجعی است که برای تأمین تقاضای کامل درخواستی یا مرجع مفروض است، H_t آستانه فشاری است که بالای آن، تقاضا مستقل از فشار گره می باشد و α توان رابطه تقاضای فشار است. در روش PDD زمانی که فشار در گره مصرف از مقدار فشار آستانه بالاتر قرار گرفت، تقاضای گره تحت تأثیر فشار نبوده و نیاز گره به طور کامل تأمین می شود. تقاضای گره زمانی که فشار از حد فشار مرجع کمتر شود، از حد نرمال پایین تر خواهد آمد و زمانی که فشار از فشار مرجع بیشتر ولی از آستانه کمتر باشد میزان مصرف بیشتر از میزان تقاضای گره می باشد.

در رابطه Germanopoulos C_i و α (ثابت گره) به ترتیب برابر ۵ و ۱۰ و γ در رابطه Chandapillai برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می شود. در ابتدا پس از خواندن اطلاعات شبکه توسط نرم افزار، مدل هیدرولیکی شبکه اجرا می شود. یکی از اطلاعات خروجی نرم افزار در گره های مصرف، ارتفاع فشار واقعی H_i^{avl} می باشد که با ارتفاع فشار مطلوب H_i^{des} و حداقل ارتفاع فشار H_i^{min} مورد مقایسه قرار می گیرد. جریان خروجی گره بر این اساس با استفاده از تابع تقاضای وابسته به فشار تنظیم می شود و این روش تا زمانی اجرا می شود که اختلاف بین تقاضا در گره های مصرف، نیازمندی همگرایی را تأمین کند.

روش دوم: استفاده از تابع (PDD) Pressure Dependent Demand در نرم افزار WaterGems

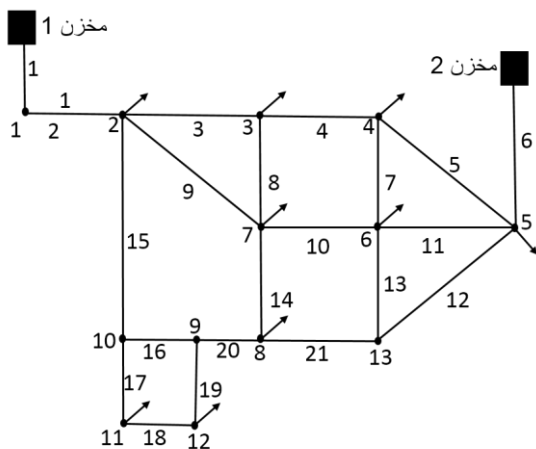
برخلاف مدل های مرسوم توزیع آب که در آن تقاضای گره مقداری معلوم است، روش مدل سازی تقاضای وابسته به فشار تصریح می کند که هم تقاضای گره و هم فشار مجهول هستند. حل این مدل هیدرولیکی نیازمند فرمول بندی مجدد روش حل می باشد. برای مدل سازی مؤثر تقاضای گره به صورت تابعی از فشار گره، روش قدرتمند تقاضای وابسته به

نتایج و بحث

در این تحقیق، کاربرد سه روش ارائه شده از طریق یک شبکه مبنا که توسط محققین مختلف بررسی شده، مورد آزمون قرار گرفت و شکستگی یکی از لوله‌ها در آن مدل‌سازی شد. نتایج بدست آمده با نتایج گزارش شده توسط مطالعات قبلی مقایسه گردید. در نهایت به تحلیل روش‌های مذکور در یک شبکه بزرگ مقیاس (ناحیه یک شبکه توزیع آب شهر ایلام) پرداخته شده است.

شبکه مبنا

شبکه حلقوی به کار گرفته شده توسط محققین مختلف از جمله: (Mallick et al., 2002)، (Ozger and Mays; 2003)، (Jun and Guoping; 2013)، (Yoo et al., 2012)، (Abdy Sayyed et al., 2014) برای تشریح شبکه‌های دارای کمبود فشار به کار گرفته شده است و شامل ۱۳ گره تقاضا و ۲۱ لوله می‌باشد (شکل ۲). ارتفاع هر دو منبع برابر ۶۰/۹۶ متر است. مشخصات کامل گره‌های شبکه در جدول (۲) آورده شده است. فشار مطلوب برای هر گره ۱۵ متر و حداقل فشار صفر می‌باشد. ضریب امیتر برابر با $\gamma = 2/3$ است.



شکل (۲): نمایی از شبکه حلقوی

روش سوم: استفاده از شیر یک‌طرفه، شیر کنترل جریان و یک قطره‌چکان فرضی در هر گره تقاضا (روش (Abdy Sayyed et al., 2014)).

در روش پیشنهاد شده توسط Abdy Sayyed et al. (2014) برای تحلیل شبکه‌ها در شرایط کمبود فشار، ابتدا تقاضای همه گره‌ها برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. سپس به هر یک از گره‌های مصرف مطابق شکل (۱) یک شیر یک‌طرفه (CV)، یک شیر کنترل جریان (FCV) و یک قطره‌چکان فرضی (emitter) اضافه می‌گردد.



شکل (۱): اتصالات مورد نیاز در هر گره تقاضا

شیر یک‌طرفه جهت جریان را از سمت گره تقاضا به سمت امیتر محدود می‌سازد. شیر کنترل جریان، حداکثر دبی خروجی از لوله را به مقدار تقاضای گره محدود می‌کند. قطره‌چکان فرضی نیز جریان وابسته به فشار در گره تقاضا را مطابق با رابطه (۳) شبیه‌سازی می‌کند.

$$q_i^{avl} = C_d (H_i^{avl} - H_i^{\min})^\gamma \quad (3)$$

$$C_d = q_i^{req} / (H_i^{des} - H_i^{\min})^\gamma$$

که در آن C_d و γ به ترتیب ضریب امیتر و توان هستند. برای گره تقاضای i ، q_i^{avl} ، q_i^{req} ، H_i^{des} ، H_i^{\min} و H_i^{avl} به ترتیب عبارتند از: میزان تقاضا در گره‌های مصرف، دبی در دسترس، ارتفاع مورد نیاز، ارتفاع در دسترس و ارتفاعی که کمتر از آن جریان گره صفر است. برای استفاده از این روش باید تغییرات ذکر شده را در گره‌های شبکه اعمال نموده و سپس با نرم‌افزار WaterGems ترکیب شود.

جدول (۲): مشخصات گره‌های شبکه

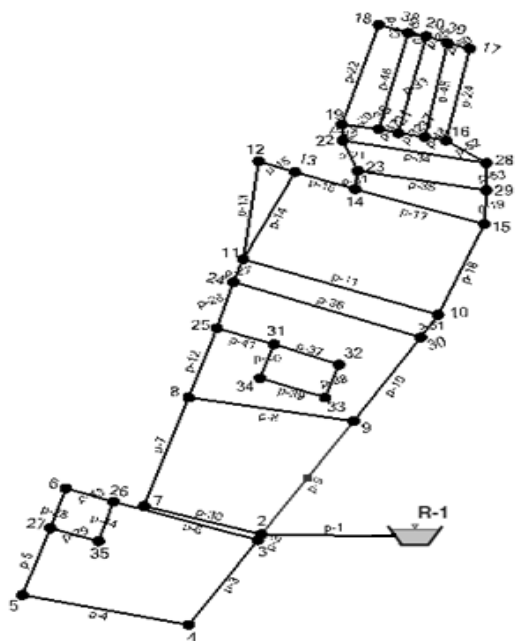
شماره گره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
ارتفاع (m)	۲۷/۴۳	۳۳/۵۳	۲۸/۹۶	۳۲	۳۰/۴۸	۳۱/۳۹	۲۹/۵۶	۳۱/۳۹	۳۲/۶۱	۳۴/۱۴	۳۵/۰۵	۳۶/۵۸	۳۳/۵۳
تقاضا (m ³ /h)	۰	۲۱۲/۴	۲۱۲/۴	۶۴۰/۸	۲۱۲/۴	۶۸۴	۶۴۰/۸	۳۲۷/۶	۰	۰	۱۰۸	۱۰۸	۰

و همچنین گره‌های ۱۱ تا ۱۳ کمتر از حداقل فشار مورد نیاز می‌باشد و سیستم در شرایط کمبود فشار است. پس باید از تلفیق روش‌ها با نرم‌افزار هیدرولیکی استفاده کرد. میزان دبی در دسترس و گرادیان هیدرولیکی در هر یک از گره‌های مصرف با روش‌های مختلف در جدول (۳) ارائه شده است.

با اجرای مدل هیدرولیکی WaterGems برای تحلیل شبکه در شرایط نرمال مشاهده می‌شود که فشار در همه گره‌ها بالاتر از حداقل فشار لازم (ارتفاع گره‌ها) است. بنابراین مدل هیدرولیکی تحت این شرایط قابل کاربرد است. شرایط کمبود فشار با اعمال شکستگی در یکی از لوله‌های شبکه (لوله ۳) ایجاد شده است. شکستگی در لوله، معادل با حذف لوله مربوطه در شبیه‌سازی هیدرولیکی است. آنالیز تقاضا محور نشان می‌دهد که فشار موجود در گره‌های ۳ تا ۸

جدول (۳): میزان دبی در دسترس و گرادیان هیدرولیکی با روش‌های مختلف برای شبکه حلقوی (شکستگی لوله ۳)

دبی (متر مکعب در ساعت)									
گرادیان هیدرولیکی (متر)									
روش	گره ۲	گره ۳	گره ۴	گره ۵	گره ۶	گره ۷	گره ۸	گره ۱۱	گره ۱۲
نرمال	۲۱۲/۴	۲۱۲/۴	۶۴۰/۸	۲/۴۲	۶۸۴	۶۴۰/۸	۳۲۷	۱۰۸	۱۰۸
	۵۹/۱۹۹	۵۶/۰۷۷	۵۴/۹۹۷	۵۵/۰۸۳	۴۹/۸۵۱	۴۹/۹۵۴	۴۸/۹۵۹	۴۸/۹۸۲	۴۸/۷۵۹
DDA	۲۱۲/۴	۲۱۲/۴	۶۴۰/۸	۲۱۲/۴	۶۸۴	۶۴۰/۸	۳۲۷	۱۰۸	۱۰۸
	۶۰/۱۵۱	۳۴/۷۴۲	۳۴/۷۷۳	۴۲/۳۲	۳۴/۷۹۷	۳۶/۲۳۹	۳۶/۱۷	۴۶/۴۵۱	۴۵/۹۳۴
Emitter	۲۱۲/۴	۱۹۳/۱۶	۴۸۹/۳۷	۲۱۲/۴	۵۴۳/۴۹	۵۸۷/۳۸	۳۷۱/۴۲	۱۰۳/۷۲	۹۴/۹۱
	۶۰/۳۲۶	۴۱/۹۹۵	۴۲/۰۳۱	۴۷/۲۶۲	۴۲/۰۳۶	۴۲/۷۵۱	۴۲/۷۲۵	۴۹/۱۹۶	۴۸/۹۶۳
PDD	۲۱۲/۴	۱۹۳/۱۷	۵۰۷/۱۴	۲۱۲/۴	۵۵۸/۸۴	۵۸۸/۳۸	۲۷۷/۱۹	۱۰۳/۹۴	۹۶/۹۵
	۶۰/۳۱	۴۱/۳۴۲	۴۱/۳۷۶	۴۶/۸۱۶	۴۱/۳۸۳	۴۲/۱۸۱	۴۲/۱۴۷	۴۸/۹۱۵	۴۸/۶۴۴
Wagner	۲۱۲/۴	۱۹۳/۱	۵۰۷	۲۱۲/۴	۵۵۸/۷	۵۸۸/۱	۲۷۷/۱	۱۰۳/۹	۹۷
	۶۰/۳۱	۴۱/۳۵۴	۴۱/۳۸۸	۴۶/۸۲۴	۴۱/۳۹۴	۴۲/۱۹۲	۴۲/۱۵۸	۴۸/۹۲۵	۴۸/۶۵۴
Fujiwara	۲۱۲/۴	۱۹۹/۹	۴۶۴/۸	۲۱۲/۴	۵۳۲/۴	۶۰۵/۲	۲۷۰/۳	۱۰۵/۹	۹۶/۸
	۶۰/۳۲۵	۴۲/۲۲۸	۴۲/۲۷۱	۴۷/۴۱۴	۴۲/۲۷۱	۴۲/۸۴۸	۴۲/۸۲۸	۴۸/۹۵۴	۴۸/۷۲۹
Tucciarelli	۲۱۲/۴	۲۰۰	۴۶۴	۲۱۲/۴	۵۳۲/۶	۶۰۵/۵	۲۷۰/۸	۱۰۶	۹۷/۲
	۶۰/۳۲۵	۴۲/۲۲۲	۴۲/۲۶۶	۴۷/۴۱	۴۲/۲۶۶	۴۲/۸۳۸	۴۲/۸۱۷	۴۸/۹۲۲	۴۸/۹۶۲
Tanyimboh	۲۱۲/۴	۲۰۶/۱	۴۹۵/۶	۲۱۲/۲	۵۷۶/۹	۶۲۴/۹	۲۹۵/۳	۱۰۷/۳	۱۰۵/۲
	۶۰/۲۴۹	۳۹/۲۷۲	۳۹/۳۱۳	۴۵/۳۸۲	۳۹/۳۱	۴۰/۱۱۹	۴۰/۰۵۵	۴۷/۶۲۵	۴۷/۲۲۸
Germanopoulos	۲۱۲/۴	۲۱۲/۴	۶۰۸/۹	۲۱۲/۴	۶۶۲/۹	۶۳۹	۹/۳۲۲	۱۰۸	۱۰۷/۹
	۶۰/۱۷۴	۳۵/۸۸	۳۵/۹۱۴	۴۳/۰۸۱	۳۵/۹۲۲	۳۷/۱۷۷	۳۷/۰۹۹	۴۶/۶۸۴	۴۶/۱۸۸
Reddy and Elango	۲۱۲/۴	۱۹۳/۱	۵۰۷	۲۱۲/۴	۵۵۸/۶	۵۸۸	۲۷۷/۱	۱۰۳/۹	۹۶/۹
	۶۰/۳۱	۴۱/۳۵۵	۴۱/۳۸۸	۴۶/۸۲۵	۴۱/۳۹۵	۴۲/۱۹۳	۴۲/۱۵۹	۴۸/۹۲۵	۴۸/۶۵۴



شکل (۳): نمایی از شبکه توزیع آب ایلام

شبکه شامل یک مخزن، ۳۸ گره مصرف و ۵۳ لوله است. ارتفاع هیدرولیکی موجود در مخزن، ۱۱۱۵ متر می‌باشد. ارتفاع و متوسط تقاضای روزانه گره‌های مصرف به ترتیب از ۱۰۵۵/۱ تا ۱۱۰۲/۴ متر و از ۰/۰۹۳ تا ۱/۳۲۲ لیتر در ثانیه متغیر است. تقاضای کل سیستم ۱۷/۱۵۹ لیتر در ثانیه است. طول و قطر لوله‌ها به ترتیب از ۱۱ تا ۳۲۵/۶ متر و از ۷۳/۶ تا ۳۰۰ میلی متر تغییر می‌کند. همچنین ضریب هیزن ویلیامز برای همه لوله‌ها از ۱۱۰ تا ۱۴۰ متغیر است. (مهندسیین مشاور ری آب، ۱۳۸۰). فشار مطلوب‌های ۱۵ و ۳۰ متر و حداقل فشار برابر صفر، برای این شبکه در نظر گرفته شد. با اجرای مدل هیدرولیکی WaterGems برای تحلیل شبکه در شرایط نرمال مشاهده می‌شود که فشار در همه گره‌ها بالاتر از حداقل فشار لازم است. بنابراین مدل هیدرولیکی تحت این شرایط قابل کاربرد است. شرایط کمبود فشار با شکستگی در لوله شماره ۹ که یکی از لوله‌های اصلی شبکه می‌باشد، مدل‌سازی شده است. نتایج نرم‌افزار هیدرولیکی برای فشار مطلوب ۱۵ متر نشان می‌دهد که گره‌های ۹، ۱۰، ۱۵، ۱۶ و گره‌های ۲۸ الی ۳۰ فشار منفی و گره‌های ۲۱، ۲۳، ۲۱، ۱۷، ۳۹، ۱۴ و

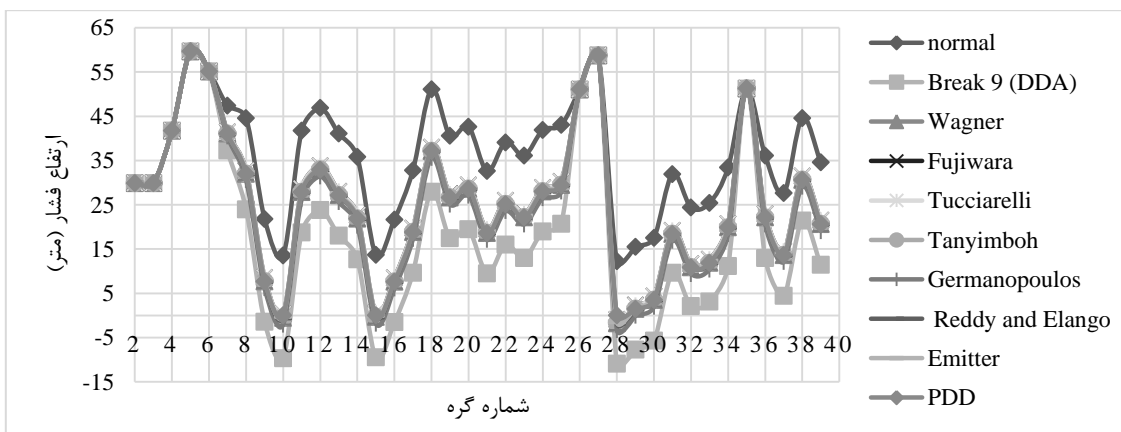
آنالیز نتایج حاصل از به کار گیری روش اول (فرمول‌های مختلف)، پس از ۱۰ تکرار، نشان می‌دهد که طبق روابط Tucciarelli, Fujiwara, Wagner و Reddy and Elango تقاضای گره‌های ۲ و ۵ به طور کامل و بخشی از تقاضای گره‌های ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۱ و ۱۲ تأمین می‌شود. نتایج رابطه Tanyimboh با چهار رابطه مذکور به خاطر استفاده از ضرایب ثابت، کمی اختلاف دارد و طبق این رابطه فقط تقاضای گره ۲ به طور کامل تأمین می‌شود که نشان می‌دهد این رابطه نسبت به سایر روابط سرعت همگرایی کمتری دارد. نتایج رابطه Germanopoulos نیز به علت وابسته بودن به ضرایب تجربی و ثابت موجود در فرمول، اختلاف زیادی با نتایج سایر فرمول‌ها دارد و نتیجه‌ای شبیه به نتایج آنالیز تقاضا محور ارائه می‌کند. نتایج بدست آمده از روابط Fujiwara, Wagner, Reddy and Elango و Tucciarelli نزدیک به نتایج روش‌های دوم و سوم می‌باشند و با نتایج Abdy Sayyed et al. (2014) هم‌خوانی دارند.

شبکه توزیع آب در مقیاس بزرگ

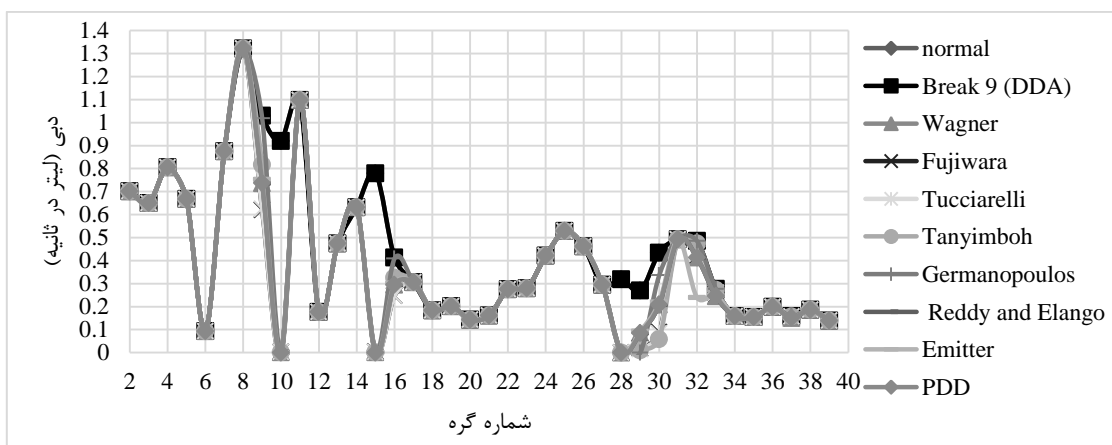
علاوه بر شبکه توزیع مبنا که در بالا به آن اشاره شد، ارزیابی عملکرد سه روش فوق‌الذکر در مقیاس بزرگ و واقعی ضرورت دارد. در این تحقیق، بخشی از شبکه توزیع آب شهر ایلام (ناحیه ۱) واقع در استان ایلام در نظر گرفته شد. نمایی از طرح شبکه در شکل (۳) نشان داده شده است.

استفاده از رابطه Germanopoulos برابر با صفر می‌باشد. در این شبکه سرعت همگرایی رابطه‌های Fujiwara و Tucciarelli نسبت به سایر رابطه‌ها کمتر می‌باشد. همچنین نتایج برای فشار مطلوب ۳۰ متر نیز نشان داد که روش‌های دوم، سوم و روابط Wagner و Elango Reddy and Germanopoulos نیز نشان داد که این روش با سایر روش‌ها اختلاف زیادی دارد و نتایج درستی را ارائه نمی‌کند.

گره‌های ۳۱ الی ۳۷ فشار کمتر از فشار مطلوب دارند و سیستم در شرایط کمبود فشار است. نتایج حاصل از ترکیب روش‌های مختلف با نرم‌افزار WaterGems برای این شبکه در شکل‌های (۴ و ۵) آورده شده است و نشان می‌دهند که بخشی از تقاضای مورد نیاز گره‌های ۳۰، ۳۲، ۳۳، ۲۹، ۱۶، ۹ و ۳۷ تأمین می‌شود و تقاضای گره‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۸ با روش دوم و سوم صفر می‌باشد. در روش اول (فرمول‌های مختلف) پس از ۱۰ تکرار تقاضای گره‌های ۱۰ و ۱۵ نزدیک به صفر و گره ۲۸ برابر با صفر است. تقاضای گره ۲۹ نیز با



شکل (۴): ارتفاع فشار در هر یک از گره‌های مصرف با روش‌های مختلف (فشار مطلوب ۱۵ متر)



شکل (۵): میزان دبی در دسترس در هر یک از گره‌های مصرف با روش‌های مختلف (فشار مطلوب ۱۵ متر)

نتیجه گیری

در این تحقیق یک شبکه توزیع آب مبنا و یک شبکه بزرگ مقیاس و واقعی (ناحیه ۱ آب شهر ایلام) در شرایط نرمال و بحرانی بهره‌برداری با سه روش پیشنهاد شده توسط محققین مختلف مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت. شرایط بحرانی در شبکه‌ها با اعمال شکستگی و ترکیدگی در لوله‌ها انجام گردید. ارزیابی روابط مختلف ارائه شده و روش‌های پیشنهادی به منظور تحلیل شبکه‌ها با در نظر گرفتن تقاضای وابسته به فشار، نشان داد که روش‌های دوم و سوم نتایج نزدیک به هم دارند و نسبت به روش اول که

بسیار طولانی و زمان‌بر است، ارجحیت داشته و تنها با یک مرحله شبیه‌سازی در نرم‌افزار هیدرولیکی به جواب می‌رسند. همچنین روابط Germanopoulos و Tanyimboh در روش اول به علت وابسته بودن به ضرایب تجربی و ثابت موجود در فرمول، اختلاف زیادی با نتایج سایر فرمول‌ها دارد و نتیجه‌ای شبیه به نتایج آنالیز تقاضا محور ارائه می‌کند و از دقت خوبی برخوردار نیستند. با این حال، تنها پس از موجود شدن داده‌های آزمایشی قابل اعتماد در رابطه فشار-جریان، امکان ارزیابی دقت توابع تقاضای وابسته به فشار وجود خواهد داشت.

منابع

- تابش، م. و ج. سلطانی. ۱۳۸۷. مقایسه فرمول‌های مختلف ارائه شده جهت مصارف کنترل شده در روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار برای شبکه‌های آبرسانی شهری. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.
- شیرزاد، ا. و م. تابش. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی روابط فشار-دبی مورد استفاده در مدل‌های تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار شبکه‌های توزیع آب. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان.
- واسطی، م. م. و ح. ر. لطفی زاده. ۱۳۸۶. تحلیل جامع شبکه‌های آبرسانی شهری به روش تقاضای مبتنی بر فشار. سومین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه تبریز.
- Abdy Sayyed, M. A. H. and R. Gupta. 2013. Predicting Deficient Condition Performance of Water Distribution Networks. *J. Civil Engineering Infrastructures*, 46(2): 161 – 173.
- Abdy Sayyed, M. A. H. , R. Gupta and T. T. Tanyimboh. 2014. Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET. *Procedia Engineering* 89: 626 – 631.
- Chandapillai, J., K. P. Sudheer and S. Saseendran. 2012. Design of water distribution network for equitable supply. *Water Resour Manage* 26:391–406.
- Fujiwara, O. and J. Li. 1998. Reliability analysis of water distribution networks in consideration of equity, redistribution, and pressure-dependent demand. *J. W. Res. Res.* 34(7): 1843–1850.
- Germanopoulos, G. 1985. A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models. *Civ Eng Syst* 2(3):171–179.
- Gupta, R. and P. R. Bhawe. 1996. Comparison Methods for Predicting Deficient-Network Performance. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 122 (3), 214–217.
- Jowitt, P. W. and C. Xu. 1990. Optimal valve control in water distribution networks. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 116(4), 455–472.
- Jun, L. and Y. Guoping. 2013. Iterative Methodology of Pressure-Dependent Demand Based on EPANET for Pressure-Deficient Water Distribution Analysis. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 139:34-44.
- Liu, J. G. Yu. and D. Savic. 2011. Deficient-network Simulation Considering Pressure-dependent Demand. *ICPTT 2011*:pp.886-900.

- Mallick, K. N., I. Ahmed, K. S. Tickle and K. E. Lansey. (2002). "Determining pipe groupings for water distribution networks." *J. Water Resour. Plann. Manage.* 128(2), 130–139.
- Muranho, J., A. Ferreira, J. Sousa, A. Gomes and A. SaMarques. 2014. Pressure-Dependent Demand and Leakage Modeling with an EPANET Extension – WaterNetGen. *Procedia Engineering* 89: 632 – 639.
- Ozger, S. S. and L. W. Mays. 2003. "A semi-pressure-driven approach to reliability assessment of water distribution networks." *Proc., 30th IAHR Congress, Aristoteleio Panepistimio Thessalonikis, Thessaloniki, Greece*, 345–352.
- Reddy, L. S. and K. Elango. 1989. Analysis of water distribution network with head dependent outlets. *Civ Eng Syst* 6(3):102–110.
- Rossman, L. A. 2007. Discussion of 'Solution for water distribution systems under pressure-deficient conditions' by Ang WK, Jowitt PW. *J Water Resour Plan and Manag* 133(6):566–567.
- Tanyimboh, T. T. and A. B. Templeman. 2010. Seamless Pressure-Deficient Water Distribution System Model. *J. Water Manage.* 163:215-224.
- Tucciarelli, T., A. Criminisi and D. Termini. 1999. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. *J. Hyd. Eng.* 125(3): 277–285.
- Wagner, J. M., U. Shamir and D. H. Marks. 1988. Water distribution reliability: Simulation methods. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 114(3): 276–294.
- Yoo, D., M. Suh, J. Kim. H. Jun and G. Chung. 2012. Subsystem-Based Pressure Dependent Demand Analysis in Water Distribution Systems Using Effective Supply. *KSCE Journal of Civil Engineering* (2012) 16(3):457-464. DOI 10.1007/s12205-012-1448-1.

Assessing the Methods for Analysis of Water Distribution Networks Considering Pressure-Dependent Demand (Ilam Water Distribution-Zone 1)

Sh. Sharoonizadeh¹, J. Mamizadeh², J. Sarvarian³

Abstract

Traditional water distribution system models, which are referred to as demand-driven analysis are normally analyzed under the assumption that water demands at nodes are known and always satisfied, i.e., they are equal to nodal outflows, regardless of the pressure at nodes. Such analysis is valid under normal design conditions. However, in many critical situations such as pipe burst or breakage and fire-fighting demand on demand nodes, the nodal outflows affected by low pressure will decrease. Therefore, network simulation under deficient pressure conditions using conventional demand-driven analysis can cause large deviation from actual situations. In this study, the combination of three pressure-dependent demand (PDD) methods with WaterGems hydraulic model has been used to simulate deficient-network performance. Assessing the performance of three methods proposed was done using two base network and part of the Ilam water distribution network. The results showed that the results of PDD and Abdy Sayyed et al. (2014) methods are close and preferred to very long and Time-consuming relations proposed by researchers, and they yield results just by one-step simulation. These methods respectively provide 82.83 and 82.07 percent of total network demand at the time of breakage in one of the pipes in Ilam water distribution network considering desired pressure equal to 15meters.

Keywords: Demand Driven Analysis, Pressure-Dependent Demand, water distribution networks, WaterGems.

¹ Ms.C. Water structure, University of Ilam; shsharooni@gmail.com

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Ilam; jafarmami@gmail.com

³ Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Ilam; j.sarvarian@gmail.com