مدیریت پویای شبکه‌های آبرسانی شهری با استفاده از ارزیابی عملکرد هیدرولیکی آنها

علیرضا ضیاء*، دکتر مسعود تابش**

چکیده

مدیریت فنی کار آمد و پویا در شبکه‌های آبرسانی مستلزم شناخت رفتار واقعی شبکه، تحت شرایط مختلف بهره برداری می‌باشد که در این میان ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبرسانی می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی برای این منظور مطرح شود. عملکرد یک شبکه آبرسانی را می‌توان بر حسب چگونگی سرویس دهی آن به محدوده مورد نظر در طول عمر مفید شبکه تحت شرایط مختلف بهره‌برداری ارزیابی کرد.

در این میان ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ها از نقطه نظر فشار در نقاط مصرف، دارای اهمیت زیادی است. فشار زیاد در شبکه باعث افزایش نشت و تلفات آب شده و همچنین خطر ترکیدن لوله در نقاط پست و گود شهر در نیمه شب‌ها که جریان آب در شبکه ناچیز و در نتیجه افت فشار به حداقل و فشار به حداکثر مقدار خود می‌رسد، بیشتر می‌شود.

در این مقاله روشی برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی از نقطه نظر فشار نقاط مصرف به منظور مدیریت صحیح آنها ارائه می‌شود که می‌تواند به عنوان مکملی در کنار برنامه‌های مدل سازی شبکه‌های آبرسانی مورد استفاده قرار گیرد. چهار چوب روش ارائه شده از ۲ مرحله اصلی تشکیل شده است.

مرحله اول شبیه سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه ها با روش مبتنی بر فشار موسوم به HDSM (Head Driven Simulation Method) می باشد که در این روش دبی خروجی از نقاط مصرف برخلاف روش‌های رایج تحلیل شبکه‌ها، ثابت نبوده و تابعی از فشار است. در مرحله دوم با استفاده از نتایج بدست آمده از مرحله اول و به کمک توابع ریاضی تعریف شده برای این منظور، عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ها به صورت کمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که مقادیر کمّی بدست آمده دارای مفاهیم تعریف شده و مشخص خواهند بود. در پایان به کمک یک مثال توانایی‌ها و نتایج مدل ارائه شده است.

---

* – دانشجوی کارشناسی ارشد

** – استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

مقدمه

مدیریت پویا در شبکه‌های آبرسانی نیازمند تکنیک و فناوریهای نو و ابزار مناسب می‌باشد. آگاهی از چگونگی عملکرد فنی شبکه‌های آبرسانی تحت شرایط مختلف بهره‌برداری که می‌تواند شبکه را با بحران مواجه سازد، از ابزار مناسب و سودمند در این زمینه خواهد بود که با دست‌یابی به آن می‌توان با پیش بینی رفتار فنی شبکه و ارائه تمهیدات مناسب و اعمال مدیریت فنی کارا از بروز بحران احتمالی جلوگیری و سرویس دهی مطلوبی ارائه کرد. هدف از این مقاله ارائه روشی جهت ارزیابی عملکرد هیدولیکی شبکه‌های آبرسانی است که می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت نیل به مدیریت پویای شبکه‌های آبرسانی باشد.

عملکرد یک شبکه آبرسانی را می‌توان چگونگی سرویس دهی آن به محدوده مورد نظر در طول عمر مفید شبکه و تحت شرایط مختلف بهره‌برداری و اتفاقات گسترده دانست. با رشد روزافزون و سریع جوامع شهری، دسترسی به ابزاری که مهندسان و طراحان به کمک آن بتوانند عملکرد فنی شبکه‌های آبرسانی را به منظور تشخیص آسان مسائل و مشکلات احتمالی آنها و تصمیم‌گیری سریع بدون، کمک گرفتن و استناد به تجربه‌های قبلی و حدس و گمان‌ها ارزیابی کنند، از نیازهای ضروری به شمار می‌رود.

این مسأله در دهه‌های اخیر مورد توجه زیاد محققین و کارشناسان مرتبط با شبکه‌های آبرسانی شهری قرارگرفته است.از جمله عناوین سنجش میزان سرویس دهی شبکه (Level of Service)، Germano Polous, Jowitt، قابلیت عملکرد (Coelho 1996) و قابلیت اطمینان (Tabesh 1998) را می‌توان ذکر کرد. نکته مهم برای یک مدیر یا کارشناس شبکه‌های آبرسانی جهت بهره‌برداری مناسب و بهینه از شبکه، ارائه روشی جهت سنجش کمی عملکرد و معرفی شاخصی برای قضاوت در مورد سطح قابل قبول و یا غیر قابل قبول می‌باشد. برای سنجش عملکرد شبکه؛ پارامترهای مختلفی از جمله فشار، سرعت و کیفیت آب می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند که در این میان ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ها از نقطه نظر پارامتر فشار، دارای اهمیت زیادی است. فشار زیاد در شبکه باعث افزایش نشت و تلفات آب شده و همچنین خطر ترکیدن لوله در نقاط پست وگود شهر در نیمه شبها که جریان آب در شبکه ناچیز و در نتیجه افت فشار به حداقل و فشار به حداکثر مقدار خود می‌رسد، بیشتر می‌شود.

در این مقاله روشی برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی از نقطه نظر فشار شبکه‌های

آبرسانی به منظور مدیریت فنی صحیح آنها پیشنهاد می‌شود که از دو مرحله تشکیل شده است:

الف) شبیه‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه با روش مبتنی بر فشار

ب) ارزیابی کمّی عملکرد هیدرولیکی شبکه با استفاده از توابع ریاضی

شبیه‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی با روش مبتنی بر فشار

مدل‌های رایج شبیه‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی مبتنی بر فرض دبی خروجی ثابت (تقاضا) در گره‌های مصرف می‌باشد.

در این مدل‌ها دبی خروجی از گره‌های مصرف تحت هر فشاری برابر با مقدار دبی مورد تقاضا خواهد بود که این مطابق با واقعیت نیست زیرا دبی خروجی تابعی از فشار است. این روش اصطلاحاً به نام DDSM (Demand Driven Simulation Method) خوانده می‌شود. در روش دیگر شبیه‌سازی شبکه‌ها را با در نظر گرفتن اصل تناسب میزان دبی خروجی با فشار در نظر می‌گیرند که در دهه‌های اخیر مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. این روش نیز اصطلاحاً HDSM (Head Driven Simulation Method) نامیده می‌شود.

برای آشنایی بیشتر با هر دو روش و درک کامل تفاوت آنها لازم است ابتدا معادلات کلی حاکم بر شبیه‌سازی توضیح داده شود.

۲ ـ ۱ـ معادلات حاکم بر شبیه سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی

دو معادله مشهور مکانیک سیالات حاکم بر پدیده شبیه‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی می‌باشند که عبارتند از:

۱ـ معادله پیوستگی

۲ـ معادله انرژی. بیان ریاضی معادله پیوستگی به صورت زیر می‌باشد:

$$\left(\sum_{ij\in LJi} - Qij\right)_{out} - \left(\sum_{ij\in LJi} Qij\right)_{in} = Qj \qquad \forall j = 1,\ldots,Nj \qquad (1)$$

که در آن: Qij دبی در لوله‌ای از شبکه که بین دو گره i و j قرار دارد،

Qj: مقدار جریان خارجی که به گره j وارد یا از آن خارج می‌شود،

NJ: تعداد گره‌های شبکه و

|Ij| تعداد اجزاء متصل به گره j می‌باشد.

دو معادله فوق معادلات اساسی برای تحلیل شبکه‌ها با هر دو روش HDSM و DDSM می‌باشند، تنها تفاوت دو روش تحلیل مربوط به عبارت Q_j معادله پیوستگی است. در روش DDSM عبارت فوق همواره برابر مقدار ثابتی خواهد بود در حالیکه در روش HDSM این عبارت تابعی از فشار موجود در گره j در نظر گرفته می‌شود. برای نشان دادن وابستگی دبی و فشار در هر گره رابطه‌های متنوعی توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است که می‌توانند جایگزین عبارت Q_j در معادله پیوستگی شوند. در این مقاله از معادله زیر که توسط Wagner (1988 b) ارائه شده است، استفاده خواهد شد.

$$Q_j^{avl} = \begin{cases} Q_j^{req} & \text{if} \quad H_j \geq H_j^{des} \\ Q_j^{req}\left(\dfrac{H_j - H_j^{min}}{H_j^{des} - H_j^{min}}\right)^{\frac{1}{nj}} & if\ H_j^{min} < H_j < H_j^{des} \\ 0 & \text{if} \quad H_j \leq H_j^{min} \end{cases} \qquad (۲)$$

که در آن Q_j^{avl} میزان جریان خروجی (در دسترس) از گره j

Q_j^{req}: میزان جریان مورد تقاضا، H_j: هد موجود در گره

H_j^{min} :حداقل هد مطلق در گره j

H_j^{des}: حداقل هد مورد نیاز در گره j و nj یک ثابت عددی می‌باشد.

مقادیر عددی H_j^{min} و H_j^{des} در این مقاله به ترتیب برابر صفر و ۲۷ متر (مطابق استاندارد طراحی شبکه‌های آبرسانی ایران و برای ساختمان‌های تا ۴ طبقه) و nj = ۲ در نظر گرفته شده است.

به منظور تحلیل شبکه‌های آبرسانی به روش HDSM با جایگذاری معادله (۲) در معادله (۱) به جای عبارت Q_j و همچنین در نظر گرفتن یکی از معادلات بیان کننده افت فشار در لوله‌ها (مثلاً معادله هیزن ـ ویلیامز) برای جایگذاری به جای عبارت Q_{ij} یک معادله بر حسب H (هد یا فشار گره‌ها) بدست می‌آید که با حل آن مقادیر فشار نقاط مختلف شبکه محاسبه خواهد شد. با محاسبه فشار و بار دیگر در نظر گرفتن معادله (۲) و معادله افت فشار، مقادیر دبی در لوله‌ها و دبی خروجی از گره‌های مصرف نیز محاسبه خواهند شد.

چارچوب ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی از نقطه نظر فشار هیدرولیکی

پر واضح است که بررسی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ها باید بر مبنای نتایج تحلیل هیدرولیکی آنها باشد زیرا نتایج تحلیل مستقیماً نشان دهنده رفتار شبکه می‌باشد. با پردازش مناسب این نتایج می‌توان تصویری روشن‌تر از عملکرد هیدرولیکی شبکه مجسم کرد. مراحل پردازش نتایج و اطلاعات حاصله از عملیات شبیه‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه‌ها به منظور دسترسی روشن‌تر به عملکرد هیدرولیکی آنها شامل دو مرحله زیر است:
الف) استفاده از منحنی جریمه (Penalty Curve) که با استفاده از این منحنی عملکرد هیدرولیکی در سطح عناصر (المان‌های) شبکه (گره‌های مصرف) بدست می‌آید.
ب) استفاده از تابع تعمیم که از عملکرد هیدرولیکی عناصر، عملکرد هیدرولیکی کل شبکه حاصل خواهد شد.

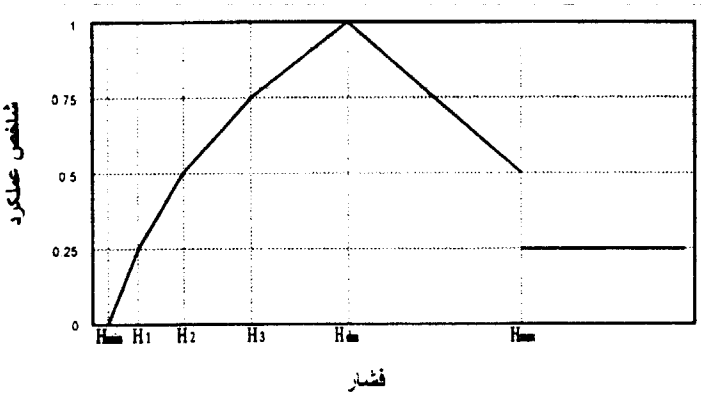
ـ محاسبه عملکرد هیدرولیکی المان‌های شبکه

منحنی شماره (۱) که محور عمودی آن با عنوان شاخص عملکرد از صفر تا یک با گامهای ۰/۲۵ درجه‌بندی شده و محور افقی آن نیز نشان دهنده مقادیر مختلف فشار می‌باشد، منحنی جریمه نامیده شده است. با داشتن مقادیر فشار گره‌ها که از نتایج تحلیل شبکه به روش HDSM حاصل شده‌اند و این منحنی، می‌توان عملکرد هیدرولیکی گره‌های شبکه را بدست آورد. در محور قائم منحنی فوق‌الذکر مقادیر عددی صفر به مفهوم عدم سرویس دهی، ۰/۲۵ به مفهوم سرویس دهی غیر قابل قبول، ۰/۵ به مفهوم سرویس دهی قابل قبول، ۰/۷۵ به مفهوم سرویس‌دهی مناسب و ۱ به مفهوم بهترین حالت سرویس دهی می‌باشد. محور افقی نیز با توجه به استاندارد طراحی شبکه‌های آبرسانی و رابطه (۲) تقسیم بندی شده است.

برای حداقل فشار مجاز (H_j^{des}) شاخص عملکرد یک و برای حداکثر فشار مجاز شاخص ۰/۵ و برای مقادیر فشار بالاتر از حداکثر فشار مجاز، شاخص ۰/۲۵ اختصاص یافته است. برای محدوده فشارهای صفر تا حداقل فشار لازم (H^{des}) بر طبق رابطه (۲) برای فشاری که در آن فشار (H_1) دبی خروجی یک چهارم دبی مورد نیاز باشد ($Q_j^{avl} = \frac{1}{4}Q_j^{req}$)، شاخص عملکرد ۰/۲۵ و برای فشاری که در آن فشار (H_2) دبی خروجی نصف دبی مورد نیاز باشد شاخص ۰/۵ و نهایتاً برای فشاری که در آن فشار (H_3) دبی خروجی سه چهارم

دبی مورد نیاز باشد، شاخص ۰/۷۵ اختصاص یافت. مقادیر عددی H_1، H_2 و H_3 در شکل (۱) آورده شده است.

$$H_1 = \frac{1}{16} H^{des}$$
$$H_2 = \frac{1}{4} H^{des}$$
$$H_3 = \frac{9}{16} H^{des}$$
$$H^{des} = 27(m)$$
$$H_{max} = 62(m)$$



شکل ۱: منحنی جریمه (Penalty Curve)

- *محاسبه عملکرد هیدرولیکی کل شبکه*

مرحله نهایی ارزیابی عملکرد استفاده از تابع تعمیم می‌باشد. با استفاده از این تابع عملکرد هیدرولیکی محاسبه شده برای المان‌های شبکه (گره‌های مصرف) به کل شبکه تعمیم داده می‌شود. تابع تعمیم در نظر گرفته شده عبارت از یک تابع است که میانگین وزنی شاخص عملکرد هیدرولیکی گره‌های شبکه، با ضریب وزنی Q_j^{avl} محاسبه می‌شود و خروجی آن شاخص عملکرد کل شبکه خواهد بود.

$$PI = W(PEj) = \frac{\sum_{j \in Nj} Q_j^{avl} . PEj}{\sum_{j \in Nj} Q_j^{avl}}$$

PI: شاخص عملکرد هیدرولیکی کل شبکه،

PEj: شاخص عملکرد هیدرولیکی گره j

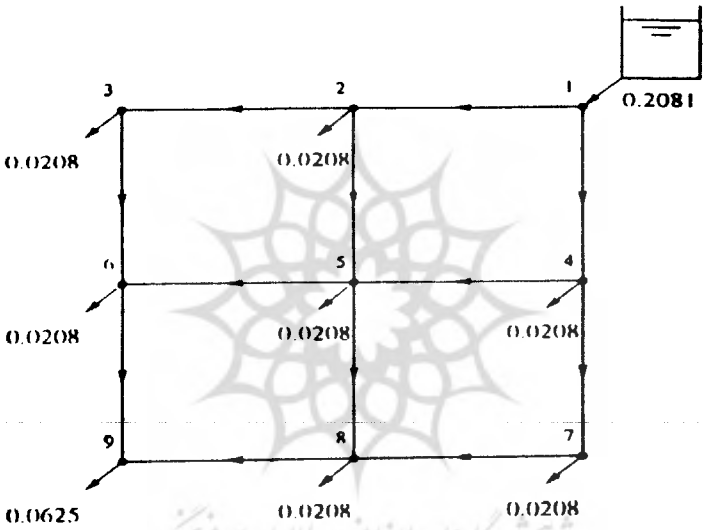
W: تابع تعمیم

ارزیابی روش

به منظور نمایش توانائی روش پیشنهادی در ارائه نتایج مفید برای مدیریت

شبکه‌های آبرسانی مثالی با مشخصات فنی و هیدرولیکی مندرج در شکل (۲) ارائه می‌شود.

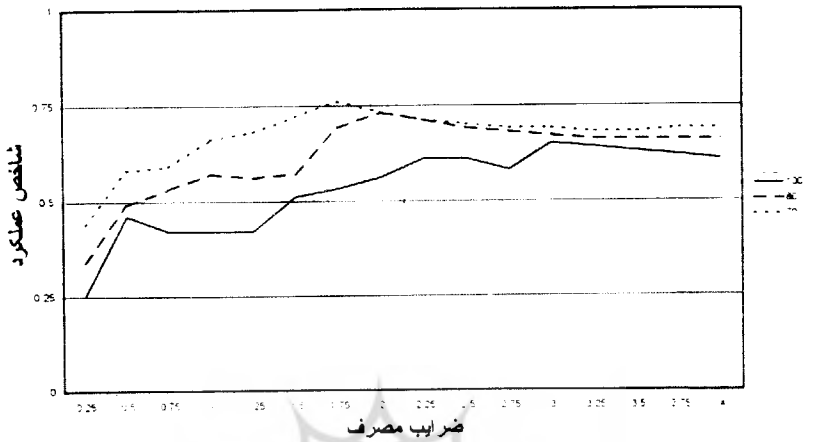
لوله	قطر (mm)
1-2, 1-4	250
2-3, 4-7	175
2-5, 4-5	145
3-6, 7-8	115
5-6, 5-8	100
6-9, 8-9	100



شکل ۲: شبکه نمونه (مصارف به m^3/s و طول لوله‌ها ۱۰۰۰ متر و ضریب هیزن ویلیامز ۱۳۰ می‌باشد).

برای تحت پوشش قرار دادن شرایط مختلف بهره‌برداری که ممکن است در طول عمر

یک شبکه حادث شود، عملکرد هیدرولیکی این شبکه برای ضرایب ۰/۲۵ تا ۴ برابر مصرف با گام‌های ۰/۲۵ که می‌تواند بیانگر عملکرد هیدرولیکی شبکه در محدوده وسیعی از تغییرات مصرف و همچنین در مقابل مصارف استثنائی باشد و سه حالت مختلف ارتفاع مخزن که به ترتیب برابر ۱۰۰، ۸۰ و ۷۰ متر می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج حاصله در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳: نمودار نتایج ارزیابی عملکرد شبکه نمونه

با بررسی مقادیر فشار و همچنین شاخص عملکرد برای ضرایب مختلف مصرف به خصوص تا ضریب ۲ که احتمال وقوع آنها بیشتر است، می‌توان دریافت که کاهش ارتفاع مخزن تأثیر کاملاً محسوسی در بهبود وضعیت فشار شبکه خواهد داشت و باعث سرویس دهی مطلوب همراه با کاهش تلفات ناشی از نشت و جلوگیری از هدر رفتن آب خواهد شد که ممکن است در فشار بالا اتفاق بیفتد و لذا با ارائه تمهیداتی مثلاً کاهش ارتفاع مخزن و یا نصب شیر فشارشکن در محل اتصال مخزن به شبکه می‌تواند این کار صورت گیرد. اگر نتایج عکس مطلب فوق را نشان می‌داد، با افزایش ارتفاع مخزن عملکرد شبکه بهبود یافته و این کار با افزایش ارتفاع مخزن و یا نصب پمپ در نقاط مناسب صورت می‌گرفت.

خلاصه و نتیجه‌گیری

مدیریت صحیح فنی کارامد و پویا مستلزم شناخت رفتار واقعی شبکه تحت شرایط مختلف بهره‌برداری می‌باشد که این شناخت مستلزم دسترسی به ابزار مناسب شناخت است. برای حصول چنین مقصودی که از نیازهای ضروری در شبکه‌های آبرسانی است، روشی ارائه شد که می‌تواند به عنوان مکملی در کنار برنامه‌های مدل سازی شبکه آبرسانی مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه از نقطه نظر فشار هیدرولیکی نقاط مصرف مد نظر قرار گرفت.

چارچوب پیشنهادی برای این منظور از دو مرحله تشکیل یافته است: مرحله نخست شبیه‌سازی و تحلیل شبکه به روش HDSM است که در آن دبی خروجی گره‌ها تابعی از فشار در نظر گرفته می‌شود و مرحله دوم پردازش نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تحلیل شبکه است که خود از دو گام جداگانه تشکیل یافته است. گام نخست آن استفاده از منحنی جریمه که مطابق استاندارد و رابطه دبی فشار و نیز قرارداد پذیرفته شده در این مقاله تعریف شده است و گام نهائی استفاده از تابع تعمیم می‌باشد که عملکرد هیدرولیکی اجزاء شبکه را به کل شبکه تعمیم خواهد داد. در نهایت با ارائه مثالی، توانائی روش پیشنهادی در ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ها نشان داده شد.

با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله ابزار مناسبی جهت کمی‌سازی قابلیت عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی شهری بدست می‌آید که می‌تواند راهنمای خوبی برای متصدیان شرکت‌های آب و فاضلاب باشد.

مراجع

۱- ضیاء، علیرضا، "ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبرسانی شهری،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

2- S.C.M.T. Coelho (1996), "Performance assessment in water supply and distribution," ph. D Thesis, Department of civil Eng., university of Heriotwatt, UK.

3- M. Tabesh (1998) "Implication of the pressure dependency of outflows on data management, mathematical modelling and reliability assessment of water distribution system," ph.D Thesis, Department of civil Engineering, University of Liverpool, UK.

4- Germanopoulos, G.,Jowitt, P.W., and Lumbers, J.P.(1986), "Assessing the reliability of Supply and Level of Services for Water distribution System," Proceeding ICE, Part1, No. 80, pp 413 - 428.

5- Wagner, J.M.Shamir, u., and Marks, D.H., (1998b), "Water distribution reliability simulation method," J. Water Resources planning and Management, ASCE. Vol 114, No.3, pp 276 - 294.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی