مدیریت هوشمند فشار به‌منظور کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد

محمد سلطانی‌اصل[1] محمود فغفور مغربی[2]

(دریافت ۸۶/۵/۳۱ پذیرش ۸۷/۱۰/۷)

چکیده

وجود نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری امری اجتناب ناپذیر است. امروزه کاهش نشت با استفاده از مدیریت پارامترهای هیدرولیکی نظیر فشار در کنار پروژه‌های نشت‌یابی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کنترل هوشمند فشار، روشی مناسب برای کنترل نشت و کاهش صدمات ناشی از فشارهای زیاد در شبکه به‌نظر می‌رسد. بهره‌گیری از نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه به‌کمک تجهیزات نوین ضروری است. هدف اساسی این تحقیق تعیین میزان اثر کاهش فشار بر نشت در یک شبکه به‌ویژه در زمان کم مصرف (شب) بود. شبکه منطقه سرافرازان مشهد به‌عنوان پایلوت در نظر گرفته شد. روش استفاده شده در این پژوهش، مدل‌سازی شبکه در محیط EPANET 2.10 با در نظر گرفتن جریان نشت در گره‌ها بود. بر این اساس، ابتدا شبکه مورد نظر با بهره‌گیری از تلفیق روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و تحلیل هیدرولیکی با استفاده از قابلیت نرم‌افزار، مدل‌سازی شد. سپس با استفاده از نتایج مدل، در شیر فشار شکن ورودی شبکه، یک برنامه زمانی تغییرات هد فشار خروجی در طول ساعات روز و بر مبنای تأمین حداقل فشار در کم فشارترین نقطه، تعیین و اعمال گردید. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از این روش مدیریت فشار، ضمن کاهش نشت شبانه به حدود ۳۵ درصد، توزیع فشار را در شبکه یکنواخت‌تر نمود. پیاده کردن الگوی زمانی اعمال فشار توسط شیرهای فشارشکن با قابلیت کنترل زمانی در یک شبکه شهری عملی بوده و نقش مؤثری در کاهش تلفات خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: نشت، آب بدون درآمد، فشار، تحلیل هیدرولیکی، مدل‌سازی، شبکه‌های توزیع آب شهری، EPANET.

Intelligent Pressure Management to Reduce Leakage in Urban Water Supply Networks, A Case Study of Sarafrazan District, Mashhad

Mohammad Soltani Asl[1] *Mahmoud Faghfour Maghrebi[2]*

(Received Aug. 22, 2007 Accepted Dec. 28, 2008)

Abstract

Water losses are inevitable in urban water distribution systems. The two approaches adopted nowadays to combat this problem include management of hydraulic parameters such as pressure and leakage detection in the network. Intellitgent pressure management is a suitable technique for controlling leakage and reducing damages due to high operating pressures in a network. This paper aims to investigate the effects of pressure reduction on leakage. The EPANET 2.10 software is used to simulate the water distribution network in the Sarafrazan District, Mashhad, assuming leakage from network nodes. The results are then used to develop a pressure variation program based on the patterns obtained from the simulation, which is applied to the pressure reducing valve. The results show that pressure management can reduce nightly leakage by up to 35% while maintaining a more uniform pressure distribution. Implementation of the time-dependent pressure pattern by applying programmable pressure reducing valves in a real urban water distribution network is feasible and plays a key role in reducing water losses to leakage.

Keywords: Leakage, Non-Revenue Water, Pressure, Hydraulic Analysis, Simulation, Water Supply Networks, EPANET.

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)
magrebi@yahoo.com (۰۵۱۱) ۸۸۱۵۱۰۰

1. Graduate Student, Civil Eng. Dept., Ferdowsi University of Mashhad
2. Assoc. Prof., Civil Eng. Dept., Ferdowsi University of Mashhad
(Corresponding Author) (+98 511) 8815100 magrebi@yahoo.com

۱- مقدمه

فشار یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان آب بدون درآمد در شبکه‌های توزیع آب شهری بوده و دارای بیشترین و سریع‌ترین اثر هیدرولیکی بر روی مقدار نشت است. پایش مقدار دبی ورودی به شبکه‌ها نشان دهنده کاهش مصرف در ساعات نیمه شب و افزایش هم‌زمان فشار در شبکه است که به‌ترتیب حداقل جریان و حداکثر فشار شبانه نامیده می‌شوند. از طرفی طبق تعاریف موجود حداقل جریان شبانه از دو مؤلفه مصرف (خانگی و غیر خانگی) و نشت (تلفات زمینه و شکستگی‌ها) تشکیل شده است. تحقیقات نشان داده است در تداومهای بیش از یک ساعت، دبی مصرفی در شب، تابعی از فشار نبوده و تنها نشت‌های زمینه و شکستگی‌ها با فشار تغییر می‌کنند[۱]. در تحقیقاتی که از سوی انجمن بین المللی آب [1] در زمینه مدیریت نشت انجام گرفته، مدیریت فشار ساده‌ترین، سریع‌ترین و احتمالاً ارزان‌ترین راه ممکن جهت کاهش نشت تعیین شده است[۲]. در تحقیقات گذشته تکنیک‌هایی به منظور بهینه‌سازی فشار با توجه به ضرایب و پارامترهای نشت در شبکه ارائه شده است [۳]. همچنین روشهایی را که در آنها عوامل مؤثر در میزان فشار خروجی از شیرهای کاهنده فشار [2] نقش دارند مورد بررسی قرار گرفته است. آراجو و همکاران [3] اهمیت محل، تعداد و مقدار بهینه بازشدگی شیرآلات کنترل جریان [4] در یک شبکه را به منظور کاهش نشت نشان دادند [۴]. سیستم‌های سنتی کنترل فشار عمدتاً به شیرهای فشارشکن با خروجی فشار ثابت متکی می‌باشند. دامنه زیاد نوسانات فشار بین سطح حداقل و سطح حداکثر در این شرایط باعث خستگی شبکه و افزایش احتمال شکست در آن می‌گردد. کارشناسان بر این باورند که می‌توان با تعدیل جریان و تغییر مداوم تنظیمات فشار خروجی شیرهای فشارشکن، ضمن پایین آوردن فشار در ساعات کاهش مصرف، فشار شبکه را در زمان‌های اوج مصرف در حداکثر لازم، حفظ نمود. ایده کنترل هوشمند فشار، مدتها است که در قالب طرحهای اجرایی در برخی از کشورها به اجرا گذاشته شده و نتایج آماری صحت آن را به اثبات رسانده است [۵]. در کشور ما نیز تحقیقاتی در این زمینه توسط محققان انجام گرفته است. تابش و همکاران مدیریت نشت در شبکه‌های آبرسانی به‌وسیله بهینه سازی تنظیم شیرهای فشارشکن با استفاده از الگوریتم ژنتیک را مورد بررسی قرار داده‌اند [۶]. همچنین مدل مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب شهری توسط کارآموز و همکاران مورد توجه قرار گرفته است [۷]. در برخی تحقیقات نیز، رابطه فشار و نشت در شبکه‌های آبرسانی مورد بررسی قرار گرفته است [۸ و ۹].

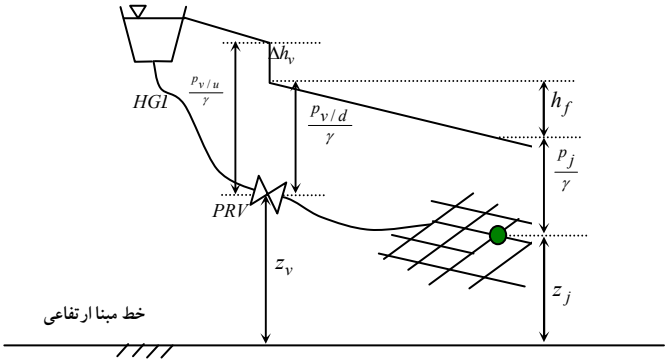
۲- معادلات حاکم

در شبکه‌هایی که ابتدای ورودی آنها، شیر فشار شکن نصب می‌گردد به‌طور ساده می‌توان با استفاده از معادله انرژی بین محل نصب شیر و یک نقطه دلخواه (گره) معادله زیر را فرض نمود (شکل ۱).

$$\frac{p_j}{\gamma} + z_j = \frac{p_{v/u}}{\gamma} - \Delta h_v + z_v - h_f \qquad (۱)$$

که در این رابطه :

$p_{v/u}$ فشار در ورودی شیر فشارشکن، z_v ارتفاع محل نصب آن، Δh_v مقدار کاهش هد استاتیکی [5] فشار در شیر، p_j فشار گره j و z_j ارتفاع گره j، h_f افت دینامیکی و γ وزن مخصوص آب می‌باشند. واحدها در طرفین معادله بر حسب متر آب است.



شکل ۱- کاربرد شیر فشار شکن در یک شبکه توزیع آب شهری

معمولاً شبکه‌های آبرسانی به‌صورت تک زمانی [6] طراحی شده‌اند و پارامترهای فشار و سرعت برای زمان‌های حداقل و حداکثر مصرف و شرایط آتش‌نشانی کنترل می‌شود. فشار در نقاط مختلف تابعی از زمان و مکان بوده و برای محاسبه آن می‌توان رابطه ۱ را به صورت زیر اصلاح نمود

$$\frac{(p_a)_j}{\gamma} = \frac{p_{v/u}}{\gamma} - \Delta h_v + z_v - z_j - h_f \qquad (۲)$$

که در این رابطه :

$(p_a)_j$ فشار گره j در زمان t و با موقعیت مکانی (x,y,z) است که به کمک نرم افزار قابل محاسبه خواهد بود.

سیستم‌های کنترل فشار در شبکه‌های آبرسانی به سه گونه است[۵]:

۱- کنترل فشار با استفاده از فشارشکن با خروجی ثابت؛

۲- کنترل هوشمند فشار با استفاده از تنظیم زمانی فشار؛

[1] International Water Association (IWA)
[2] Pressure Relief Valves (PRV)
[3] Araujo et al.
[4] Throttle Control Valves (TCV)

[5] Static Reduction
[6] Single Time

۳- کنترل هوشمند فشار با استفاده از تنظیم جریان.

در سیستم تنظیم فشار با خروجی ثابت، مقدار کاهش فشار (Δh_v) به‌گونه‌ای انتخاب می‌گردد که فشار در پایین‌ترین قسمت شبکه بیشتر از حداکثر مجاز نبوده و در دورترین نقاط مشکلی به لحاظ تأمین حداقل مورد نیاز ایجاد نگردد. فشار شبکه در ساعات مختلف و متناسب با تغییرات مصرف تغییر می‌کند که نتیجه آن افزایش فشار در نیمه‌های شب و کاهش آن در ساعات پر مصرف است. اساس روش کنترل هوشمند فشار با استفاده از تنظیم زمانی، بر مبنای کاهش فشار در زمان‌های غیر ضروری است. به‌طوری‌که در زمان حداقل مصرف، فشار در حداقل مورد نیاز باشد نه در حداکثر ممکن. در این سیستم، فشار شبکه متناسب با زمان مصرف و بدون کاهش سطح سرویس دهی، تغییر می‌نماید. در سیستم کنترل هوشمند فشار با استفاده از تنظیم جریان، فشار بر اساس تغییرات مصرف شبکه تغییر می‌نماید. این سیستم دقت و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به دو روش قبلی دارد ولی به‌علت پیچیدگی، نیاز به تجهیزات پیشرفته و آماده سازی شبکه، با مقبولیت کمتری روبروست[۵]. در این تحقیق، با ارائه تعریفی از مبانی تئوری کنترل هوشمند فشار با استفاده از تنظیم زمانی و پس از بحث در مورد اجزای آن و تهیه اطلاعات اولیه، با استفاده از قابلیتهای هیدرولیکی EPANET 2.10 ، یک الگوی مدیریت فشار، در یک شبکه واقعی مدل‌سازی گردد و نتایج گزارش شد. همان‌طور که بیان گردید هدف نهایی اعمال روش کنترل هوشمند فشار با استفاده از تنظیم زمانی، کاهش نشت در شبکه می‌باشد. لذا برنامه تغییرات زمانی فشار می‌تواند بر اساس فرضیات مختلفی انجام شود. در یک روش ساده پس از مشخص کردن گره‌ای که در زمان اوج مصرف کمترین فشار در آن ثبت گردیده (گره بحرانی[1])، برنامه تغییر زمانی فشار در شیر به نحوی تنظیم می‌گردد که فشار در گره مذکور ثابت بماند. برای تعیین این گره در شبکه می‌توان از نتایج پایش فشار و مدل‌سازی شبکه به کمک نرم‌افزار، بهره جست. غالباً گره مذکور در دورترین یا بلندترین و یا در نقطه‌ای شامل هر دو مشخصه قرار دارد. مقادیر فشارهای ساعتی و حداقل فشار ثبت شده در زمان اوج مصرف در این گره، به کمک نرم افزار تعیین می‌گردد. تفاضل فشارهای ساعتی از فشار حداقل ثبت شده در گره فوق طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta h(t) = \frac{p_m(t)}{\gamma} - \frac{(p_m)_{min}}{\gamma} \qquad (۳)$$

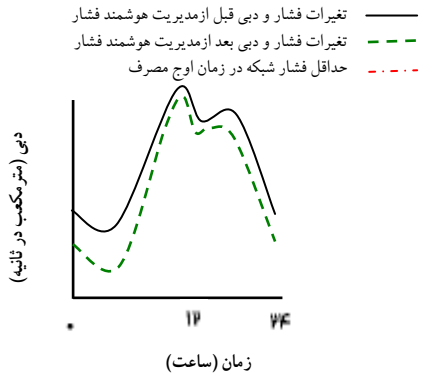
در این رابطه :

$p_m(t)$ و $(p_m)_{min}$ به‌ترتیب فشار لحظه‌ای و حداقل در گره مورد نظر و $\Delta h(t)$ مقادیر کاهش فشار ساعتی است که باید از خروجی شیر فشارشکن کاسته گردد تا فشار گره مذکور در حداقل مقدار خود ثابت بماند. با ترکیب روابط ۲ و ۳ مقدار فشار در شبکه پس از انجام مدیریت هوشمند به‌کمک نرم‌افزار از رابطه زیر به دست می‌آید:

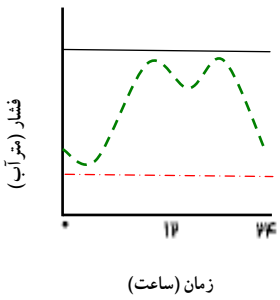
$$\frac{(p_a)_j}{\gamma} = \frac{p_{v/u}}{\gamma} - \Delta h_v + z_v - z_j - h_f - \Delta h(t) \qquad (۴)$$

برای توضیح بهتر، با استفاده از شکلهای شماتیک زیر می‌توان تغییرات دبی و فشار در یک شبکه نمونه را در زمان‌های قبل و بعد از اجرای مدیریت هوشمند فشار نشان داد. بر این اساس، شکل ۲ نشان دهنده تغییرات زمانی دبی ورودی به شبکه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با اجرای طرح، دبی ورودی در ساعات نیمه شب تقلیل پیدا کرده است. در شکل ۳، تغییرات زمانی فشار در پایین دست شیر دیده می‌شود. با اجرای طرح، فشار خروجی تنظیمی، تابعی از زمان بوده و در ساعات نیمه شب در حداقل مورد نیاز قرار گرفته است. تغییرات فشار بین سطح حداقل و حداکثر به گونه‌ای تنظیم شده است تا در تامین فشار لازم در زمان اوج مصرف خللی وارد نشود. شکل ۴، نشان دهنده تغییرات زمانی فشار

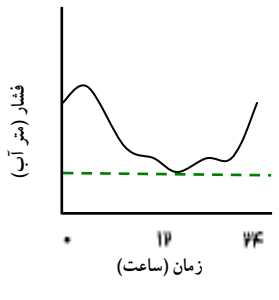
[1] Critical Node



شکل ۲ – تغییرات زمانی دبی ورودی به شبکه



شکل ۳- تغییرات زمانی فشار در پایین دست شیر کنترل فشار



شکل ۴- تغییرات زمانی فشار در گره‌ای که در زمان اوج مصرف کمترین فشار در آن ثبت گردیده است

در گره‌ای است که در زمان اوج مصرف کمترین فشار در آن ثبت گردیده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد قبل از اجرای طرح، نوسانات فشار در گره بین حداقل فشار ثبت شده در ساعات اوج مصرف و فشار تنظیمی شیر، متغیر است. به‌عبارتی فشار غیر ضروری در ساعات نیمه شب به حداکثر ممکن رسیده و موجب تلفات آب از شبکه می‌گردد. در صورتی که پس از اجرای طرح، فشار گره ثابت مانده و تلفات آب به حداقل ممکن می‌رسد. در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی شیر فشارشکن با قابلیت تغییر زمانی فشار در محیط EPANET از یک مخزن با قابلیت تغییر در سطح آب به جای شیر کاهنده فشار، استفاده شد؛ به‌طوری که در هر ساعت، فشار شبکه با توجه به تغییرات هد مخزن مدل شده، تغییر می‌نمود. لذا بهره‌گیری از این روش، هدف تحقیق را در تغییرات ساعتی فشار در ابتدای شبکه برآورده ساخت. ضرایب الگوی ساعتی[1] سطح مخزن به‌گونه‌ای که فشار در گره بحرانی در تمام ساعات شبانه روز در حداقل ثبت شده ثابت بماند، تعریف گردید.

۳- مطالعهٔ موردی

با توجه به وجود تپه‌های نسبتاً بلند در قسمتهای جنوب غربی شهر مشهد که منطقه مورد مطالعه در آن واقع است، مشکلات ناشی از فشارهای زیاد و غیر یکنواخت، غالباً وجود دارد. شبکه مورد بررسی دارای عمر متوسط بهره برداری ۸ سال می‌باشد. جمعیت تحت پوشش شبکه ۱۴۸۶۰ نفر بوده و تراکم متوسط منطقه ۱۶۰ نفر در هکتار و متوسط مصرف سرانه ۲۰۰ لیتر بر روز برآورد گردیده است. برای کنترل فشار، در ورودی شبکه یک عدد شیر فشارشکن تعبیه شده است. فشار ورودی و خروجی تنظیمی در شیر به ترتیب ۷۲ و ۳۸ متر می‌باشد. با توجه به دبی‌سنجی انجام شده در ورودی شبکه (بعد از محل شیر فشارشکن)، مقدار حداقل جریان شبانه ۷/۳۷ لیتر بر ثانیه به‌دست آمد. برای تخمین مقدار مصرف شبانه مشترکان، مطالعه خاصی در شبکه طرح و نواحی مجاور انجام نشده بود. از طرفی تحقیقات نشان می‌دهد جمعیت فعال شبانه در حدود ۶ درصد کل جمعیت بوده و مصرف آنها در حدود ۱۰ لیتر بر ساعت به ازای هر نفر است [۱۰]. لذا به‌علت عدم وجود اطلاعات کافی با استناد به نتایج تحقیق مذکور، مقدار مصرف معقول شبانه مشترکان ۲/۴۸ لیتر بر ثانیه تعیین گردید.

تحقیقات محققان و نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی فشار نشان داده است که تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی بدون در نظر گرفتن تغییرات دبی- فشار در گره‌ها و نادیده گرفتن جریان نشت در شبکه از دقت کافی برخوردار نیست[۱۱]. در شبکه‌های توزیع توزیع آب شهری، بین فشار و نشت رابطه توانی زیر برقرار است

$$Q_l = cp^n \qquad (۵)$$

که در این رابطه:

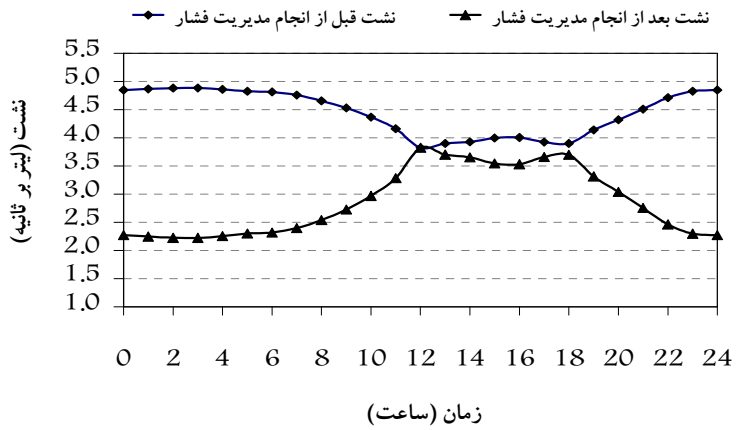
Q_l نشت، P فشار، c ضریب نشت و n توان ثابت فشار می‌باشند.

یکی از روشهای رایج و متداول در مدل‌سازی نشت که منجر به تعیین مقادیر ضریب نشت c در گره‌های شبکه می‌گردد، استفاده از تلفیق روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و تحلیل هیدرولیکی شبکه با استفاده از نرم‌افزار EPANET است[۱۲]. با توجه به اینکه شبکه فاقد مصرف کننده خاص شبانه غیر خانگی است، با استفاده از مبانی روش ذکر شده در مرجع [۱۲] میزان نشت شبانه ۴/۸۹ لیتر بر ثانیه خواهد بود. به‌عبارتی مقدار نشت شبانه حدود ۶۷ درصد حداقل جریان شبانه و حدود ۱۳/۶درصد کل آب ورودی به شبکه است. با توجه به قضاوت مهندسی و شواهد موجود، عدد مذکور برای نشت شبکه توجیه پذیر است.

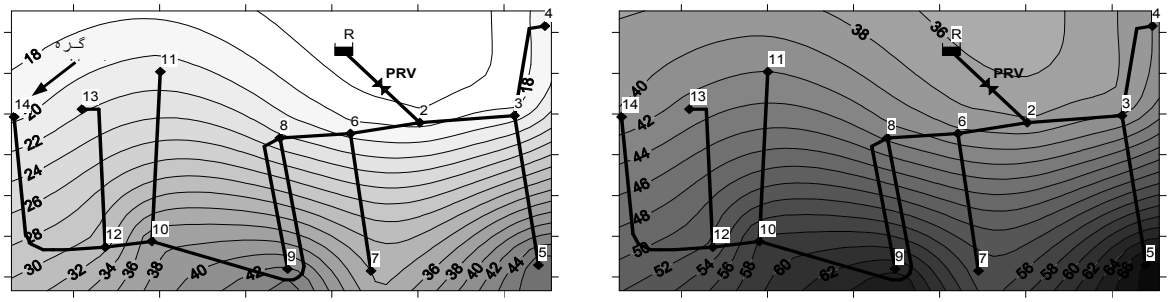
تحقیقات نشان داده است که مقدار ثابت n در رابطه توانی نشت- فشار در شبکه‌های آبرسانی بیش از ۰/۵ بوده و به عواملی چون جنس لوله‌ها، تغییرات فشار در شبکه بستگی دارد. معروف‌ترین روش در تعیین مقدار n، نظریه FAVAD می‌باشد[۱۳]. جنس لوله‌های اصلی شبکه از نوع فولادی و آزبست بوده و جنس لوله‌های انشعابات نیز غالباً از نوع پلیکا و پلی‌اتیلن است. بررسی‌ها در اداره اتفاقات شبکه، نشان داد حدود ۹۰ درصد حوادث در انشعابات و غالباً به‌صورت ترکهای طولی گزارش گردیده است. لذا با استفاده از نمودار FAVAD مقدار n برابر ۱/۱۷ انتخاب شد. براساس نتایج تحلیل هیدرولیکی شبکه در EPANET، کمترین فشار در زمان اوج مصرف برابر ۱۸/۷۱متر در گره شماره ۱۴ به‌دست آمد. همچنین بیشترین و کمترین فشار در گره‌ها به‌ترتیب ساعت ۳ بامداد و ۱۲ اتفاق افتاد. برای حفظ فشار ۱۸/۷۱ متری در گره مذکور در طول ۲۴ ساعت، یک مخزن به‌جای شیر فشارشکن با قابلیت تغییر فشار تعریف شد. ضرایب تغییر سطح مخزن در طول ساعات مختلف به‌گونه‌ای انتخاب گردید تا فشار در این گره بر روی مقدار ۱۸/۷۱ متر ثابت بماند. کنترل فشار گره‌های دیگر نشان داد که مشکلی به لحاظ تامین فشار در ساعات اوج مصرف وجود نخواهد داشت.

در شکل ۵ مقادیر نشت شبکه در ساعات مختلف، قبل و بعد از انجام مدیریت هوشمند فشار ارائه شده است. همان‌طورکه در شکل ملاحظه می‌شود، پس از اجرای طرح، مقدار نشت شبکه در ساعات کاهش مصرف، کمتر از ساعات پرمصرف شده است. این مسئله می‌تواند نشان دهنده اثرپذیری طرح در کاهش تلفات بوده و با

[1] Time Pattern

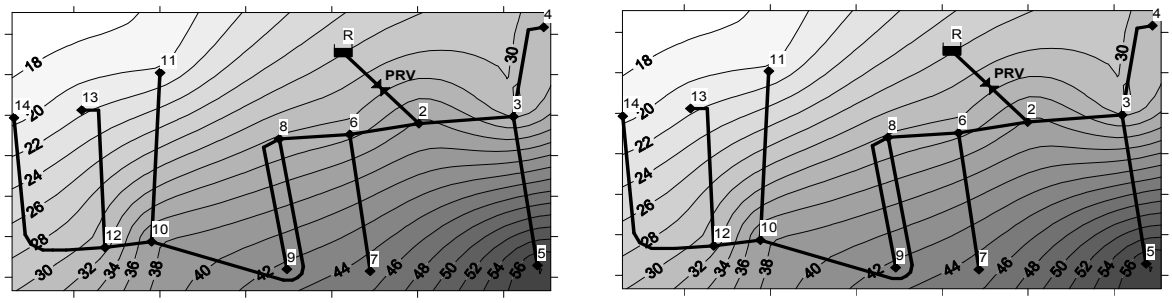


شکل ۵- مقدار نشت ساعتی در شبکه



(الف) قبل از انجام مدیریت هوشمند فشار (ب) بعد از انجام مدیریت هوشمند فشار

شکل ۶- توزیع فشار ساعتی شبکه (ساعت۳ بامداد)



(الف) قبل از انجام مدیریت هوشمند فشار (ب) بعد از انجام مدیریت هوشمند فشار

شکل ۷- توزیع فشار ساعتی شبکه (ساعت۱۲)

توجه به ارتباط نشت و فشار مبین تغییرات زمانی فشار شبکه نیز باشد.

در شکلهای ۶ و ۷ توزیع فشار در شبکه قبل و بعد از انجام مدیریت هوشمند فشار و در دو زمان حداقل و حداکثر مصرف دیده می‌شود. چنانکه از این شکلها مشخص است، پس از انجام طرح، فشار شبکه در ساعات نیمه شب (ساعت ۳ بامداد) تقلیل یافته و دامنه نوسانات زمانی فشار در شبکه کم شده است. به‌طوری که پس از اجرای طرح، توزیع فشار و مقدار آن در زمان‌های مختلف تقریباً یکسان شده است. اما در زمان اوج مصرف (ساعت ۱۲) تغییری در فشار شبکه به وجود نیامده است. این مسئله حاکی از توجه به تامین حداقل فشار لازم شبکه در زمان اوج مصرف است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از اعمال یک روش کنترل فشار موسوم به کنترل هوشمند، نتایج به دست آمده نشان از کاهش ۳۵/۷۳ درصدی نشت (معادل ۱/۶ لیتر بر ثانیه) برای جمعیت شبکه محدوده مطالعاتی در طول شبانه روز و بیش از ۵۰ درصد طی ساعات کم مصرف بود که بر این اساس حجم آب صرفه جویی شده سالانه مصرفی در این شبکه بیش از ۵۰۰۰۰ متر مکعب خواهد بود. از طرفی با اجرای این الگو، توزیع زمانی فشار در شبکه نیز یکنواخت‌تر از حالت عادی گردید.

۵- مراجع

1- Lambert, A. (1997). "Managing leakage strategist for quantifying, controlling and reducing water losses, based on analysis of components using BABE concepts." *Water Pipelines and Network Management*, *IIR Conference, London*, UK, 1561-1569.

2- Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M. and Weimer, D. (2000). *A review of performance indicators for real losses from water supply systems*, International Water Data Comparisons Ltd, AWWA neckarwerke Stuttgart AG, Germany.

3- Ulanicka, K., Bounds P., Ulanicki, B., and Rance, J. (2001). "Pressure control of a large scale water distribution network with interacting water sources." *A Case Study. Water Software Systems: Theory and Applications*, Volume 2, Research Studies Press Ltd., Baldock, Hertfordshire,England.

4- Araujo L. S., Ramos H., and Coelho S. T. (2006). "Pressure control for leakage minimization in water distribution systems management." *J. Water Resour. Manage*., 133(20), 133-149.

5- McKenzie, R. D. and Wegelin, W. A. (2002). "Leakage reduction through pressure management in south Africa." *WRP,* Colorado.

٦- تابش، م.، هومهر، س. (۱۳۸۵). "مدیریت نشت در شبکه‌های آبرسانی به وسیله بهینه سازی تنظیم شیرهای فشارشکن با استفاده از الگوریتم ژنتیک." *چکیده مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب*، ۱۳۷.

۷- کارآموز، م.، تابش، م.، نظیف، س.، و مریدی، ع. (۱۳۸۵)."مدل مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب شهری." *مجموعه مقالات هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران*، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۴-۲۱۰.

۸- تائبی، ا. (۱۳۷۸)." ارتباط بین فشار و نشت در شبکه توزیع آب." *دومین کنفرانس هیدرولیک ایران*، صفحه ۲۵۲-۲۵۵.

۹- اردکانیان، ر.، غزلی، ع.ا. (۱۳۸۳). " رابطه فشار و نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری." *اولین کنگره ملی مهندسی عمران*، صفحه ۴۷۶-۴۷۹.

10- McKenzie, R. D. (1999). *SANFLOW, User Guide*, South Africa Water Research Commission, WRC Report TT 109/99.

۱۱- صفر پور عرفانی، ا.ر. (۱۳۷۹). " تهیه بسته نرم افزاری تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی شهری با در نظر گرفتن رابطه جریانات خروجی (مصرف و نشت) با فشار." *پایان نامه کارشناسی ارشد*، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

۱۲- تابش م.، اسدیانی، ا. (۱۳۸۳). "مدل‌سازی نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از تلفیق روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و مدل تحلیل هیدرولیکی EPANET 2.10." *پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران*، ۱۳۳۹-۱۳۴۵.

۱۳- کارآموز، م.، تابش، م. نظیف، س.، و مریدی، ع. (۱۳۸٤). "پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی." *م. آب و فاضلاب*، ۵۳، ۳-۱٤.