

بررسی تاثیر تغییرات فشار بر شاخص‌های عملکرد نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری

ضیاءالدین ایدی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه صنعتی شریف، aidi@civil.sharif.edu

محمدرضا جلیلی قاضی زاده

عضو هیات علمی دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

ابوالفضل شمسایی

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

نشت آب در شبکه‌های توزیع سهم قابل توجهی از آب بدون درآمد را به خود اختصاص می‌دهد. بسیاری از شبکه‌های آبرسانی کشور با مشکل نشت آب مواجه هستند. با توجه به محدودیت جدی در منابع آب شرب و هزینه‌های تامین آب، اقدام در جهت کاهش نشت در شبکه بسیار با اهمیت است. اولین قدم در مدیریت نشت، ارزیابی و برآورد شرایط موجود نشت شبکه و امکان مقایسه کمی و کیفی آن با دیگر شبکه‌های توزیع آب می‌باشد. به منظور ارزیابی و دستیابی به ابزاری مناسب جهت مدیریت نشت در شبکه‌های توزیع، شاخص‌های عملکرد نشت در شبکه‌های توزیع آب تعریف شده است. علی‌رغم اهمیت موضوع نشت در شبکه‌های آبرسانی، به علت مشکلات تعیین میزان نشت و عدم امکان اندازه‌گیری مستقیم آن، مطالعات انجام شده کافی به نظر نمی‌رسد و مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. هدف از ارائه مقاله حاضر تعیین شاخص‌های عملکرد نشت در شبکه‌های آبرسانی و بررسی تاثیر تغییرات فشار شبکه بر آنها می‌باشد. در مطالعه حاضر یکی از مناطق شمالی شهر تهران به عنوان پایلوت انتخاب شده و پس از اندازه‌گیری پارامترهای جریان، مقادیر شاخص‌های نشت برای آن محاسبه گردیده است. با نصب شیرهای فشار شکن دارای کنترلر، میزان فشار شبکه در ساعت‌ها و شرایط مختلف تنظیم گردیده است. در هر مرحله میزان نشت برآورد و تاثیر تغییرات فشار بر شاخص‌های عملکرد نشت از جمله UBRL، TIRL و ILI مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده با مقادیر شاخص‌های عملکرد نشت چند کشور مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آب بدون درآمد، مدیریت فشار، شاخص عملکرد نشت، مدیریت نشت

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و افزایش سرانه مصرفی و هزینه‌های تامین و توزیع آب، استفاده بهینه از منابع آب موجود حیاتی می‌باشد. این مهم در کشورهای در حال توسعه که دارای محدودیت منابع آب می‌باشند، اهمیت بیشتری دارد. بنابراین لزوم صرفه جویی و کنترل مصرف از منابع آب با استفاده از ابزارهای گوناگون باید مورد توجه قرار گیرد [۱].

به منظور کاهش نشت در شبکه، به دلایلی از جمله دخالت مسائل اقتصادی جهت اولویت بندی فعالیت‌ها، مدیریت نشت و شناخت پارامترهای موثر بر آن ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل شاخص‌های عملکرد^۱

^۱ Performance Index



نشت در شبکه تعریف شده است. با بیان نشت به صورت درصد، در اثر تغییر در مصرف، مقدار این شاخص ثابت باقی نمی‌ماند، لذا این شاخص که در کشور رایج است نمی‌تواند بیانگر وضعیت نشت و بحران در شبکه باشد.

طبق تحقیقات IWA چهار فاکتور زیر بیشترین تاثیر را روی نشت سیستم دارند [۲]:

(الف) سرعت و کیفیت تعمیرات، (ب) مدیریت، انتخاب، نصب، نگهداری و بهره‌برداری سیستم، (ج) نوسازی و بازسازی لوله‌ها و تاسیسات شبکه، (د) کنترل فعال نشت و مدیریت فشار.

شاخص‌های عملکرد برای ارزیابی شبکه، مقایسه عملکرد شبکه‌ها با یکدیگر و یا تعیین یک هدف اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در زمینه کاهش نشت بکار می‌روند. یکی از اهداف در مقوله تعریف شاخص‌ها رسیدن به یک شاخص عملکرد مناسب برای انجام مقایسات بین‌المللی نشت در شبکه‌هاست. شش فاکتور محلی که بر روی تلفات حقیقی آب و به تبع آن روی شاخص عملکرد نشت در یک سیستم اثرگذار می‌باشند به صورت زیر می‌باشند، شاخص عملکرد خوب، شاخصی است که بتواند تعداد بیشتری از این عوامل را در خود جای دهد [۳]:

(الف) تداوم تامین آب (w.s.p.^۲)، (ب) طول خطوط اصلی (انتقال و شبکه)، (ج) تعداد انشعابات سرویس، (د) موقعیت کنتور مشترکین، (ه) فشار عملکرد متوسط سیستم، (ی) نوع خاک و زمین منطقه.

پیشرفت‌های اصلی در برآورد و تعیین نشت‌های واقعی از حدود ۱۵ سال پیش شروع شد. بیشتر پیشرفت‌ها بر اساس اصول BABE^۳ می‌باشد که اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط موسسه صنعت آب انگلیس معرفی شد. بعد از توسعه این اصول برخی ابزارهای دیگر چون شاخص نشت زیرساخت (ILI^۴) و شاخص نشت سالانه اجتناب ناپذیر (UARL^۵) و اصول FAVAD^۶ معرفی شدند [۳].

شاخص‌های جدید نشت، فاکتور مناسبی برای بررسی نشت در کشورهای در حال توسعه می‌باشد، اما در بسیاری از این کشورها، کمبود و نبود داده و وجود فشارهای پایین بهره‌برداری، باعث شده که از شاخص‌های عملکرد نشت جدید کمتر استفاده بعمل آید و اکثراً از بیان نشت به صورت درصد استفاده می‌شود [۴]. شبکه بدون نشت از لحاظ فنی و اقتصادی غیر قابل توجیه می‌باشد و همواره مقدار کمی نشت در سیستم وجود خواهد داشت. با توجه به افزایش بین‌المللی رویکرد به ثبات و بازدهی اقتصادی و حفاظت از محیط زیست، مسئله نشت از شبکه دارای اهمیت جهانی شده است [۵].

محاسبه شاخص‌های عملکرد نشت در شهرهای ایران، با توجه به وضعیت کمبود منابع آب کشور، و مقایسه نتایج با سایر نقاط برای مدیریت صحیح نشت و تعیین اهداف اقتصادی در جهت کاهش نشت بسیار با اهمیت می‌باشد. در ادامه بعد از معرفی شاخص‌های کنونی (مرسوم) بیان نشت و عیوب آنها، شاخص‌های جدید نشت و مزایای آنها مورد بحث قرار خواهد گرفت و در نهایت مقادیر این شاخص‌ها برای یک پایلوت مطالعاتی در شهر تهران تعیین و با مقادیر شاخص‌های عملکرد نشت بعضی از شهرهای دنیا مقایسه شده است.

شاخص‌های پایه عملکرد موجود نشت^۷

موسسه IWA شاخص‌های عملکرد نشت را به سه دسته به شرح صفحه بعد تقسیم می‌کند [۲]:

^۲ When System Pressurized

^۳ Burst And Background Estimate

^۴ Infrastructure Leakage Index

^۵ Unavoidable Annual Real Losses

^۶ Fixed Area Variable Area Discharge

^۷ The Basic Traditional Performance Indicator



الف) سطح (L_1) : این سطح اولین رده از شاخص‌ها را شامل می‌شود و یک دید کلی از کارآمدی و سودمندی کنترل نشت می‌باشد. به این سطح، سطح پایه نیز گفته می‌شود.

ب) سطح (L_2) : مربوط به شاخص‌های اضافی است که دید بیشتری نسبت به شاخص‌های سطح ۱ فراهم می‌کند و برای بهره‌بردارانی که احتیاج به شناخت بیشتری از شبکه دارند، مناسب می‌باشد.

ت) سطح (L_3) : شاخص‌هایی که یک ارزیابی جامع از وضعیت شبکه را نشان می‌دهند. همه شاخص‌های این رده مربوط به سطوح عالی مدیریتی می‌شوند. این شاخص‌ها فاکتورهای محلی بیشتری را در خود می‌گنجانند و از این لحاظ دقیق‌تر می‌باشند.

شاخص‌های عملکرد پایه که برای مقایسه حجم سالانه تلفات فیزیکی (نشت) بیشترین استفاده در قسمت‌های مختلف جهان را دارند عبارتند از [۶]:

- حجم تلفات بر حسب درصد حجم آب ورودی به سیستم
- حجم تلفات بر طول خطوط اصلی بر واحد زمان
- حجم تلفات بر تعداد اشتراک بر واحد زمان
- حجم تلفات تعداد انشعابات سرویس بر واحد زمان
- حجم تلفات بر طول سیستم بر واحد زمان (طول سیستم = طول خطوط اصلی + طول انشعابات سرویس تا کنترلر)

بیان نشت به صورت درصدی از حجم آب ورودی به سیستم، هیچکدام از فاکتورهای محلی موثر در نشت را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. استفاده از این شاخص‌ها تنها می‌تواند در تعریف جنبه‌های مالی و اقتصادی نشت مناسب باشد و کاملاً روشن است که این شاخص‌ها برای ارزیابی کارایی مدیریت نشت در سیستم‌های توزیع آب بدلیل اینکه عوامل زیر را در نظر نمی‌گیرند مناسب نیست [۷]:

- تفاوت در سطوح مصرف و تغییرات مصرف آب (برای مثال تغییر مصرف با افزایش تعرفه‌ها).
 - اینکه مشترکان دارای تانک‌های ذخیره باشند یا فشار توسط سیستم، به طور مستقیم تامین شود.
 - زمان متوسط تامین آب در سیستم‌های با تامین آب متناوب (که یکی از قوانین بسیاری از کشورهای با درآمد پایین می‌باشد).
 - فشار متوسط سیستم (تغییرات گسترده بین سیستم‌های بدون کنترل فشار در کشورهای صنعتی از یک طرف و فشارهای پایین در کشورهای با درآمد پایین و متوسط از طرف دیگر).
- از آنجا که قسمت عمده نشت و شکستگی‌ها در یک شبکه (به غیر از شبکه‌هایی با تراکم انشعابات سرویس کمتر از ۲۰ انشعاب در هر km طول خط اصلی) در انشعابات سرویس رخ می‌دهند و نه در خط اصلی، IWA شاخص عملکرد سطح ۱ نشت را که به عنوان شاخص تکنیکی نشت شناخته می‌شود به صورت زیر پیشنهاد می‌دهد [۲]:

$$\text{Lit/service connections/day w.s.p.}$$

در واقع این شاخص مقدار نشت هر انشعاب را در واحد زمان نشان می‌دهد. منظور از w.s.p. در این فرمول مقداری از زمان (روز) است که سیستم تحت فشار قرار دارد (زمان تداوم تامین آب) زیرا در برخی کشورهای دارای کمبود منابع آب، توزیع آب در تمام طول روز انجام نمی‌گیرد. برای شبکه‌های با تراکم کمتر از ۲۰ انشعاب در هر km خط اصلی که به عنوان شبکه‌های روستایی مطرحند، بهترین شاخص عملکرد سطح ۱ به صورتی که در صفحه بعد آمده پیشنهاد شده است:



$$m^3/km \text{ mains/day w.s.p.}$$

شاخص عملکرد تکنیکی تلفات واقعی^۸ (TIRL)، مدت زمانی که سیستم تحت فشار می‌باشد را در نظر می‌گیرد و به این ترتیب هم می‌تواند برای سیستم‌های با تامین آب مداوم و هم برای سیستم‌های با تامین آب متناوب به کار رود. این شاخص هنوز نتوانسته است تعدادی از فاکتورهای محلی با اهمیت از جمله موقعیت کنتور مشترکین (فاصله کنتور تا مرز مشترک) و فشار متوسط شبکه را در خود بگنجاند که این موضوع نقطه ضعف شاخص مذکور می‌باشد.

نشت سالانه اجتناب ناپذیر (UARL)

نشت اجتناب ناپذیر مقداری است که به لحاظ فنی، بدون در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و مالی قابل دست یافتن است. تحقیقات نشان داده است که حذف تمام نشت از شبکه‌های توزیع بزرگ عملاً غیر ممکن است و حتی در یک سیستم با شرایط زیربنایی خوب و مدیریت کارآمد نشت، مقداری تلفات سالانه غیر قابل اجتناب وجود خواهد داشت که به فاکتورهای محلی بستگی دارد [۲].

به طور خلاصه نشت سالانه اجتناب ناپذیر را می‌توان با معادله زیر نمایش داد که در آنها روابط بین فشار و نشت به صورت خطی در نظر گرفته شده است [۸]:

$$UARL(lit/day) = (18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P \quad (1)$$

$$UARL(lit/conn./day) = (18 \times L_m / N_c + 0.8 + 25 \times L_p / N_c) \times P \quad (2)$$

در این رابطه L_m طول خط اصلی بر حسب km، L_p طول لوله موجود از مرز اشتراک تا کنتور مشترک بر حسب km و P فشار متوسط سیستم بر حسب متر می‌باشند. در این رابطه با تقسیم مقدار UARL به تعداد مشترکین، مقدار نشت بر حسب لیتر در روز در هر انشعاب بدست می‌آید.

در این فرمول تعداد انشعابات سرویس بجای تعداد اشتراک در نظر گرفته شده است زیرا استاندارد بین‌المللی مشخصی برای تعریف مشترک وجود ندارد. بنابراین نشت را فقط تا محل کنتور انشعاب در نظر می‌گیرند و بعد از انشعاب تعداد مشترکان اهمیتی ندارد. بر اساس گزارش مراجع مختلف تعداد انشعاب در هر km طول شبکه، دارای گستره بین ۲۴ تا ۱۱۴ انشعاب با میانگین ۴۷ انشعاب بر کیلومتر می‌باشد. داده‌های خارج از این محدوده باید از محاسبات حذف شوند زیرا این عامل اثر زیادی روی برآورد نشت دارد. میزان متوسط فشار در سیستم نیز باید بین ۲۰ تا ۱۰۰ متر باشد [۶].

پارامترهای مورد استفاده جهت محاسبه UARL با استفاده از داده‌های منتشر شده بین‌المللی مربوط به مقدار حداقل نرخ نشت زمینه، نرخ شکستگی‌ها و تعداد شکستگی‌ها در حالات بهره‌برداری مطلوب می‌باشند. به عبارت دیگر این شاخص یک پیش‌بینی از نشت واقعی سیستم در حالت بهره‌برداری ایده‌آل و برخوردار از تکنیک‌های نوین کنترل نشت می‌باشد.

از لحاظ اقتصادی و تکنیکی رسیدن به سطح نشت UARL لزوماً کاری منطقی نیست. مقدار $UARL(lit/conn./day \text{ w.s.p.})$ در کشورهای مختلف، از ۳۲ تا ۱۵۳ گزارش شده است.

با توجه به تجربیات بدست آمده، برای محاسبه UARL می‌بایست محدودیت‌های زیر را در نظر گرفت [۸]:

- شبکه باید دارای بیش از ۵۰۰۰ انشعاب سرویس باشد.

^۸ Technical Indicator Real Losses



- تراکم انشعابات در طول خط اصلی باید بیش از ۲۰ عدد در هر کیلومتر باشد.
 - مقدار متوسط فشار باید بیش از ۲۵ متر باشد.
- در تحقیقات جدید، محدودیت حداقل تعداد انشعاب از ۵۰۰۰ انشعاب به ۳۰۰۰ انشعاب رسیده و قید حداقل تراکم انشعاب نیز حذف گردیده است [۴].
- برای سیستم‌های کوچکتر، باید از شاخص نشت زمینه اجتناب ناپذیر (UBRL^۹) که از آنالیز جریان شبانه بدست می‌آید استفاده شود. بنابراین استفاده از UARL برای سیستم‌های از متوسط تا بزرگ و UBRL برای نواحی محدود شده (DMA^{۱۰}) می‌باشد.
- چنانچه فشار شبکه برابر با فشار فرضی نباشد می‌توان با نرمال سازی مقدار UBRL را بدست آورد به عنوان مثال برای فشار ۵۰ متر رابطه زیر نرمال سازی شده است [۹]:

$$UBRL = (20 \times L_m + (1.25 + 0.0333 \times L_p + 0.25) \times N_c) \times (AZNP / 50)^{1.5} \quad (3)$$

در این رابطه L_m طول خطوط اصلی (km)، L_p طول خطوط زیرزمینی (m)، N_c تعداد انشعاب سرویس و $AZNP^{11}$ فشار متوسط ناحیه در شب (m) می‌باشند.

اما این رابطه پارامتر فاصله کنتور انشعاب تا خط اصلی را در نظر نمی‌گیرد. به همین دلیل در محاسبات انجام گرفته در تحقیق حاضر از رابطه کامل‌تر زیر استفاده بعمل آمد. نتایج استفاده از این رابطه در برخی کشورها صحت آنرا به اثبات رسانده است [۱۰]:

$$UBRL(lit / conn. / day) = (9.6 / DC + 0.6 + 16L_p / N_c) \times P \quad (4)$$

در این رابطه DC تراکم انشعابات برکیلومتر از خط اصلی، L_p مجموع فاصله خط از کنتور انشعاب بر حسب کیلومتر، N_c تعداد انشعابات و P فشار متوسط ناحیه بر حسب متر می‌باشند. مقدار شاخص UBRL برای شبکه‌ای ایده‌آل با وضعیت بهره‌برداری خوب می‌باشد. مناطق با خطوط کهنه و بخصوص انشعابات فرسوده دارای UBRL بالاتری می‌باشند.

شاخص عملکرد نشت زیرساخت (ILI)

شاخص‌های عملکرد سطوح ۱ و ۲ به عنوان یک معیار اولیه برای تعیین کارایی سیستم بکار می‌روند و به شدت تحت تاثیر تراکم انشعابات، موقعیت کنتور مشترک و فشار متوسط سیستم می‌باشند. شاخص عملکرد سطح ۳، شاخص نشت زیر ساخت (ILI) می‌باشد که کمبودهای شاخص‌های سطح ۱ و ۲ را مرتفع کرده است [۲]. جهت تعیین ILI ابتدا میزان نرخ نشت موجود سالانه (CARL^{۱۲}) را بر حسب $m^3/year$ محاسبه می‌شود، سپس به صورت m^3/day در زمان‌هایی که سیستم تحت فشار است بیان می‌شود و در نهایت به صورت شاخص TIRL تعریف می‌گردد (lit/service conn./day w.s.p.). میزان UARL در سیستم مورد نظر نیز محاسبه می‌شود (برحسب فاصله کنتور تا خط اصلی) و نهایتاً از رابطه زیر مقدار شاخص ILI بدست می‌آید [۶]:

$$ILI = TIRL / UARL \quad (5)$$

^۹ Unavoidable Background Real Losses

^{۱۰} District Metered Area

^{۱۱} Average Zone Night Pressure

^{۱۲} Current Annual Real Losses



زمانی که به خاطر کوچک بودن ناحیه، شروط محاسبه شاخص UARL برآورده نشود باید از شاخص UBRL در محاسبات استفاده نمود و در نتیجه [۱۰]:

$$ILI = TIRL / UBRL \quad (۶)$$

ILI شاخص عملکرد بدون بعد سیستم در حالت کنونی می باشد. طبق تعریف میزان ILI معمولاً باید بیش از ۱ باشد. در سال های اولیه معرفی شاخص ILI، مقادیر ILI کمتر از ۵ را سیستم ضعیف می دانستند ولی بعد از اندازه گیری این شاخص در سایر نقاط جهان مشخص شد که حتی مقادیر بالای ۳۰ نیز نباید تعجب برانگیز باشند [۱۱]. در برخی از سیستم ها مقدار ILI بیش از ۱۰۰ می باشد [۱۲]. هم اکنون در مدیریت نشت و تلفات آب بدون درآمد، به صورت گسترده ای از شاخص های مرسوم استفاده می شود. دلایلی که از شاخص های عملکرد سطح ۳ استفاده کمتری بعمل می آید را می توان به صورت زیر خلاصه کرد [۴]:

- داده های مورد نیاز برای محاسبه UARL در دسترس نیست.
 - کمتر کسی از ILI و مزایای آن شناخت دارد.
 - عدم احساس نیاز به ILI (راحتی و سادگی استفاده از شاخص های مرسوم نشت).
 - دقت فرمول محاسبه UARL سوال برانگیز است.
- علاوه بر این در کشورهای در حال توسعه که کمبود منابع در وضعیت جدی تری می باشد از شاخص ILI به صورت مناسبی استفاده نمی شود تعیین این شاخص در این کشورها دارای مشکلات زیر می باشد [۴]:
- عدم وجود داده های صحیح از طول شبکه و اینکه نقشه های موجود فقط بخشی از شبکه را نشان می دهند (مقدار UARL کمتر از واقعیت و در نتیجه ILI بیش از مقدار حقیقی)
 - چون تعداد انشعابات نامشخص است از تعداد مشترک استفاده می کنند (مقدار UARL بیشتر از واقعیت و در نتیجه ILI کمتر از مقدار حقیقی).
 - کمبود داده مربوط به فشار، معمولاً فشار سیستم را با برآوردهای بالایی حدس می زنند (مقدار UARL بیشتر از واقعیت و در نتیجه ILI کمتر از مقدار حقیقی).
 - سطوح بالای نشت های ظاهری (برآورد مشکل) و در نتیجه مقادیر نشت واقعی غیر دقیق و غیر قابل اعتماد بدست می آیند.
- هم اکنون مشخص شده که مقدار واقعی ILI در فشارهای پایین سیستم همواره بزرگتر از مقادیر محاسبه شده می باشد و این بدان معناست که مسئله نشت در کشورهای در حال توسعه که عمدتاً دارای سیستم های با فشار پایین می باشند جدی تر است [۴].

معرفی پایلوت مورد مطالعه

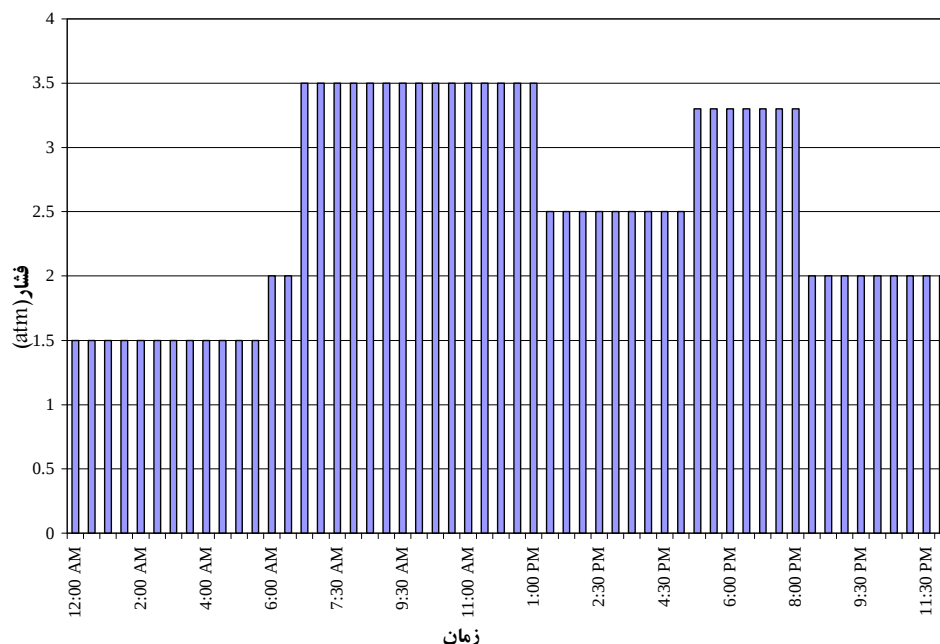
منطقه انتخاب شده جهت انجام مطالعات حاضر، در محدوده آب و فاضلاب منطقه یک (شمیرانات) واقع می شود که توسط مخزن ۲۹ تهران تغذیه می شود. در شکل شماره ۱ محدوده پایلوت مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل-۱: عکس ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، خطوط زرد (شبکه توزیع)، خطوط سفید (محدوده ناحیه)

بعد از جداسازی ناحیه جهت اجرای طرح‌های مطالعاتی، در محل ورود جریان به ایزوله (بالادست خیابان خداوردی)، علاوه بر نصب شیر فشارشکن، یک عدد کنترل گر فشار برای اعمال الگوهای تغییر فشار روی شیر فشارشکن نصب شد. همچنین از دی‌سنج التراسونیک جهت اندازه‌گیری جریان ورودی در محل ورود جریان استفاده بعمل آمد. این دی‌سنج مقادیر دی‌ورودی به ایزوله را در فواصل ۱۰ دقیقه‌ای در مدت سه هفته انجام مطالعات ثبت می‌نمود. شبکه موردنظر دارای ۲۷۱ انشعاب سرویس و ۳۵۹۱ متر طول خط آبرسانی می‌باشد.

تنظیم فشار در محل در فواصل یک هفته‌ای و به مدت سه هفته اجرا گردید. هفته اول فشار جریان ورودی روی ۴۰ متر تنظیم گردید. در هفته دوم فشار باز هم ثابت و این بار روی ۳۳ متر تنظیم گردید. هفته سوم از یک الگوی متغیر فشار جهت اعمال به شیر فشار شکن استفاده شد. الگوی موردنظر با توجه به تغییرات مصرف مشترکین با میانگین فشار ۲۶ متر و حداقل و حداکثر فشار به ترتیب برابر ۱۵ و ۳۵ متر تنظیم شده بود. در نمودار شکل ۲ تغییرات الگوی فشار نشان داده شده است.



شکل-۲: الگوی تنظیم فشار در هفته سوم

جهت محاسبه تلفات، در ابتدا و انتهای هر هفته با قرائت کنتور مشترکین، میزان مصرف تعیین می‌شود. مقدار حجم آب ورودی به ایزوله توسط دبی‌سنج قرائت و از تفاوت ایندو میزان تلفات تعیین می‌شود. داده‌های جمع‌آوری شده در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول-۱: داده‌های جمع‌آوری شده

تلفات (m ^۳ /week)	فشار اعمالی	زمان
۳۱۱۱/۴۷	ثابت ۴۰ متر	هفته اول
۱۶۷۱/۲۳	ثابت ۳۳ متر	هفته دوم
۹۷۵/۹۹	الگو تنظیم فشار (متوسط فشار ۲۶ متر)	هفته سوم

در پایلوت مورد نظر فاصله کنتور انشعاب تا محل خط اصلی به طور متوسط ۱۰ متر در نظر گرفته شد، بنابراین مجموعاً ۲۷۱۰ متر میزان فاصله کنتور انشعاب تا خط اصلی می‌باشد. بر اساس داده‌های موجود تراکم انشعاب برابر است با:

$$DC = 271 / 3.591 = 76 \text{ conn. / km}$$

مقادیر شاخص‌های عملکرد تکنیکی تلفات (TIRL)، نشت زمینه اجتناب ناپذیر (UBRL) و شاخص نشت زیرساخت (ILI) به ترتیب بر اساس روابط شماره ۴ و ۶ محاسبه شده‌اند. جهت نمایش نحوه محاسبه این شاخص‌ها، محاسبات مربوط به تعیین شاخص‌ها برای هفته اول در زیر آمده است:

$$TIRL = \frac{3111.47 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ lit}}{7 \text{ day} \times 280 \text{ conn.}} = 1587 \text{ lit / conn. / day}$$

$$UBRL = (9.6 / DC + 0.6 + 16 \times L_p / N_c) \times P$$

$$= (9.6 / 79 + 0.6 + 16 \times 2.8 / 280) \times 40$$

$$= 35 \text{ lit / conn. / day}$$

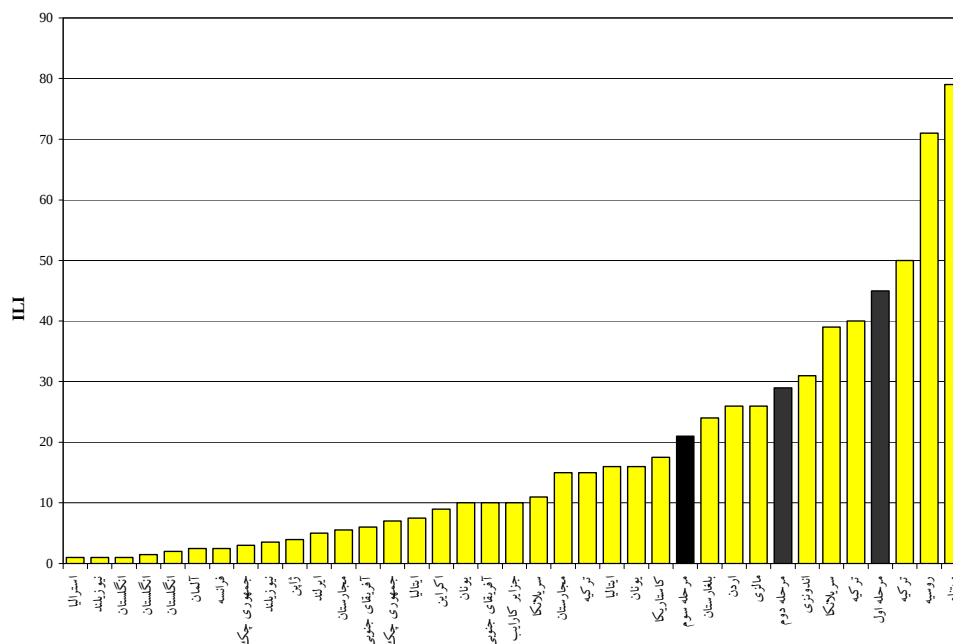
$$ILI = TIRL / UBRL = 1587 / 35 = 45$$

مطابق محاسبات انجام شده سایر نتایج مربوط به هفته‌های دوم و سوم به طور خلاصه در جدول ۲ آمده است.

جدول-۲: نتایج نهایی حاصل شده

زمان	فشار متوسط (m)	TIRL(lit/conn./day)	UBRL(lit/conn./day)	ILI
هفته اول	۴۰	۱۵۸۷	۳۵	۴۵
هفته دوم	۳۳	۸۵۳	۲۹	۲۹
هفته سوم	۲۶	۴۹۸	۲۳	۲۱

حال می‌توان نتایج عددی شاخص‌های محاسبه شده را با کشورهای دیگر مقایسه نمود به عنوان مثال در شکل شماره ۳ میزان شاخص ILI برای ۲۳ کشور جهان [۱۳] ارائه و نتایج آن با شاخص محاسبه شده در پایلوت حاضر مقایسه شده است. همانگونه که در شکل نمایش داده شده است مقادیر شاخص ILI با کاهش فشار متوسط سیستم کاهش قابل توجهی دارند و از عدد ۴۵ در هفته اول به مقدار ۲۱ در هفته سوم کاهش یافته‌اند.



شکل-۳: مقادیر شاخص ILI برای ۲۳ کشور دنیا و مراحل مختلف مدیریت فشار در پایلوت

نتیجه‌گیری

در این مقاله شاخص‌های مختلف عملکرد نشت معرفی و مورد بحث قرار گرفتند و نشان داده شد که با اعمال مدیریت فشار، نشت سیستم کاهش می‌یابد. کاهش نشت شبکه در قالب کاهش مقدار شاخص ILI نمایش داده شد.

نتایج محاسبات نشان می‌دهد که به راحتی و با صرف هزینه خیلی پایین می‌توان تلفات فیزیکی سیستم را تا حد زیادی کاهش داد. ایزوله مورد نظر در زمان‌هایی که تحت فشارهای مطابق با نیاز مشترکان قرار

می‌گرفت (هفته سوم) دارای شاخص ILI پایین‌تری می‌شد. میزان این شاخص در هفته سوم کمتر از نصف هفته اول شده است و این در حالی است که در سرویس رسانی به مشترکان هیچ خللی وارد نیامده است. مقادیر شاخص ILI اندازه‌گیری شده در کشورهای مختلف دارای محدوده گسترده‌ای بین ۱ تا ۷۹ می‌باشد و حتی در برخی مراجع این شاخص مقادیری بالاتر از ۱۰۰ نیز داشته است. مقادیر بدست آمده برای ایزوله در هفته سوم جایگاه خوبی را در بین مقادیر تعیین شده در کشورهای در حال توسعه نشان می‌دهد.

منابع

- [۱] Chowdhury, M.A.I., Ahmed, M.F., Bhuiyan, M.A., Rahman, M.H. (۱۹۹۷). "Uncounted-for water management states in Bangladesh", Journal of water supply-AQUA, October.
- [۲] "دستورالعمل شناخت و نحوه مطالعه عوامل موثر در آب بحساب نیامده و راهکارهای کاهش آن"، (۱۳۸۶). استاندارد مهندسی آب، نشریه شماره ۳۰۸-الف.
- [۳] R. McKenzie, C. Seago. (۲۰۰۵). "Assessment of real losses in potable water distribution systems: some recent developments", Water Science and Technology: Water Supply Vol ۵ No ۱ pp ۳۳-۴۰, IWA Publishing.
- [۴] "Water demand management strategy and implementation for INDOR". (۲۰۰۶). Water for Asian Cities Programe, United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT).
- [۵] "Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures". (۲۰۰۰). The Blue Pages, International Water Association (IWA).
- [۶] A. Lambert, T.G. Brown, M. Takizawa, D. Weimer. (۲۰۰۰). "A review of performance indicators for real losses from water supply systems", IWA/AQUA, Corrected Final version dated ۲۶.۰۱.۲۰۰۰.
- [۷] R. Liemberger, K. Brothers, A. Lambert, R. McKenzie, A. Rizzo, T. Waldron. (۲۰۰۷). "Water loss performance indicators", Water Loss ۲۰۰۷.
- [۸] A. Lambert, R. McKenzie. (۲۰۰۳). "Practical experience in using the infrastructure leakage index", International Water Association Conference.
- [۹] D. Pearson. (۲۰۰۲). "Testing the UARL & ILI approach using a large UK Data Set" (available online).
- [۱۰] S.J. Preston, R. Sturm. (۲۰۰۳). "Use of infrastructure leakage index (ILI) in Malaysia", IWA Conference 'Leakage Management – A Practical Approach', Cyprus.
- [۱۱] R. Liemberger. (۲۰۰۲). "Do you know how misleading the use of wrong performance indicators can be?" Paper presented at the IWA Managing Leakage Conference, Cyprus.
- [۱۲] R. Liemberger, M. Farley. (۲۰۰۴). "Developing a non-revenue water reduction strategy", part ۱, ۲ (available online).
- [۱۳] WB-Easy-Calc. (۲۰۰۶). Water Balance Software, by courtesy Liemberger and Partners, Version ۱.۱۷.