نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم وصنعت ایران
ویژه‌نامه مهندسی عمران، جلد ۱۹، شماره ۸-۲، سال ۱۳۸۷، صفحه ۲۷-۱۵

NON REVENUE WATER ANALYSIS IN WATER SUPPLY NETWORKS USING MNF-BABE METHODS AND HYDRAULIC SIMULATION MODELS

M. Tabesh
School of Civil Engineering, University of Tehran, mtabesh@ut.ac.ir

P. Yaraghi
Water & Wastewater Consulting Engineers (Research & Design) Co., Isfahan

A. H. Asadiani Yekta
School of Civil Engineering, University of Tehran,

Abstraact: *In this paper a new methodology for non revenue water (NRW) analysis is proposed. The method is able to analyze components of NRW in water distribution networks. NRW is basically divided into two main real and apparent losses. In the first section based on minimum night flow measurements background and bursts losses are evaluated. In this method a preliminary estimation is made for background losses. Then using analytical procedure, field activities, pressure measurement and hydraulic analysis, an improved and more accurate value is obtained for background losses and unreported bursts. Combination of the Bursts And Background losses Estimation (BABE) and Fixed and Variable Discharge Area (FAVAD) concepts increases the accuracy and applications of the proposed approach. Finally the proposed methodology is applied in a selected district metered area (DMA) in the city of Tabriz and components of NRW are evaluated and capabilities of the model are highlighted.*

مدلی برای برآورد تلفات زمینه و شکستگیهای گزارش نشده در شبکه‌های توزیع آب شهری

مسعود تابش، پیمان یراقی و امیرحسین اسدیانی یکتا

چکیده: در این مقاله روش جدیدی برای تحلیل آب بحساب نیامده ارائه شده که قادر به تجزیه و تحلیل کمی مولفه های آب بحساب نیامده و تلفات واقعی در شبکه‌های توزیع آب شهری است و برآوردی واقعی‌تر از دو مولفه مهم تلفات واقعی یعنی تلفات زمینه و شکستگیهای گزارش نشده ارائه می‌کند. در بخش تحلیل تلفات واقعی ابتدا ارزیابی نشت نامرئی با استفاده از چارچوب عملکردی مبتنی بر حداقل جریان شبانه و تخمین تلفات زمینه و شکستگیهای گزارش نشده انجام می‌شود. روش جدید معرفی شده بعنوان مکمل روش حداقل جریان شبانه عمل می کند. این روش با تخمین اولیه‌ای از تلفات زمینه آغاز شده و با انجام تصحیحات لازم طی یک سلسله عملیات مختلف شامل محاسبات ریاضی و آماری، عملیات صحرایی و فشار سنجی و نیز شبیه سازیهای هیدرولیکی، با برآورد نسبتاً دقیق از تلفات زمینه پایان می‌پذیرد. در گام بعدی با شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه در هنگام حداقل جریان شبانه، نقاط مشکوک به شکستگی و میزان حساسیت آنها جهت عملیات فشارسنجی در شبکه مورد شناسایی قرار گرفته و تلفات ناشی از آنها محاسبه می‌شود. استفاده از مفاهیم تخمین تلفات زمینه و شکستگی‌ها ومنافذ ثابت و متغیر نشت، تاثیر قابل توجهی در افزایش دقت و گسترش دامنه کاربرد این روش دارد. برای نشان دادن توانمندی مدل ارائه شده، میزان آب بحساب نیامده و تلفات شبکه در یک ایزوله

تاریخ وصول: ۸۵/۷/۱۵
تاریخ تصویب:۸۷/۱۱/۱۹

مسعود تابش، دانشیار و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساختها، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، mtabesh@ut.ac.ir
پیمان یراقی، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران،pyaraghi@yahoo.com
امیرحسین اسدیانی یکتا، دانشجوی دکترای مهندسی عمران-آب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران،amiryekta@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

نمونه در شهر تبریز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده بیانگر دقت بیشتر روش معرفی شده در مقایسه با کاربرد منفرد روش حداقل جریان شبانه می باشد.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع آب شهری، آب بحساب نیامده، تلفات واقعی، حداقل جریان شبانه، تحلیل هیدرولیکی، آنالیز مولفه‌ای، تلفات زمینه، شکستگیهای گزارش نشده

۱. مقدمه

آب بحساب نیامده برابر تفاضل حجم کل آب ورودی به شبکه و حجم آب اندازه‌گیری شده از طریق کنتور مشترکین می باشد و به دو قسمت تلفات واقعی (فیزیکی) و تلفات ظاهری[1] (غیرفیزیکی) تقسیم بندی می‌شود. تلفات واقعی به آن قسمت از آب تولیدی گفته می‌شود که به صورت نشت از طریق شکستگی لوله ها، سرریز و نشت از مخازن و پمپها وشیرآلات، از شبکه توزیع آب خارج شده و علاوه بر این که به مصرف مشترکین نمی‌رسد، هزینه‌ای نیز بابت آن عاید تامین کنندگان آب نمی‌شود. تلفات واقعی به دو مولفه تلفات زمینه و شکستگی‌ها تقسیم شده و شکستگی‌ها نیز شامل شکستگی‌های گزارش شده و گزارش نشده می‌باشند. تلفات ظاهری، آن قسمت از آبی است که به مصرف مشترکین رسیده اما هزینه‌ای بابت آن دریافت نمی‌شود. از مهمترین عوامل این تلفات، خطاهای انسانی، ابزار اندازه‌گیری، مدیریتی و مشترکین غیر مجاز است. براساس نوع نیازها و کاربردهای مختلف، روشهای متفاوتی جهت تحلیل آب بحساب نیامده ارائه شده، که اکثر آنها مبتنی بر یکی از دو روش، بالانس سالانهٔ آب و یا روش حداقل جریان شبانه (MNF)[2]، می‌باشند [۱ و۲]. در روش بالانس سالانه با اندازه‌گیری مقادیر تولید و مصرف و برآورد تلفات ظاهری ناشی از انواع خطاها، مقدار تلفات واقعی از تفاضل تلفات ظاهری از مقدار کل تلفات مشخص می‌شود. در روش حداقل جریان شبانه با اندازه‌گیری کمترین جریان ورودی به سیستم (که معمولا در ساعات اولیه نیمه شب رخ می دهد) و اندازه‌گیری مصارف عمده شبانه مشترکین بزرگ و تخمین مصارف معقول شبانه مشترکین خانگی، مقدار نشت شبانه بدست آمده و سپس با انجام تعدیلات لازم، نشت متوسط شبکه مشخص می‌شود.

گزارش معروف به Report 26 در سال ۱۹۸۰ جزء اولین منابعی است که توسط مرکز تحقیقات آب انگلستان[3]، در رابطه با آب بحساب نیامده و نشت منتشر شد [۳]. به دنبال چندین سال بکارگیری روشهای ارائه شده در گزارش ۲۶، گروهی از متخصصان توانستند یک روش سیستماتیک و عملی برای مدیریت نشت ایجاد کنند، که نتایج کار آنها در قالب ۹ جلد گزارش در زمینه مدیریت نشت بوسیله WRC در سال۱۹۹۴، ارائه شد [۴]. به منظور هماهنگ کردن تلاش‌های تحقیقاتی مختلف صورت گرفته در گزارش مدیریت نشت، Lambert در سال ۱۹۹۴ یک روش ارزیابی کلی از مؤلفه‌های نشت و پارامترهایی که این مؤلفه‌ها را متأثر می‌سازند، ارائه کرد. این نظریه به عنوان متدولوژی تخمین نشت زمینه و شکستگی‌ها (BABE)[4] شهرت یافت [۵]. در این روش براساس نتایج مطالعات قبلی مقدار متوسطی برای دبی تلفات در خطوط لوله مشخص شده و سپس براساس شرایط خاص هر شبکه از جمله فشار، طول لوله ها و تعداد مشترکین، مقادیر اولیه تعدیل می شود. مقادیر اولیه در طول یک دوره زمانی چند ساله تا انجام مطالعات بعدی معتبر فرض می شود. در همین سال May تئوری سطوح ثابت و متغیر نشت (FAVAD)[5] را پیشنهاد کرد [۶]. در این نظریه نحوه تغییرات نشت با فشار، به چگونگی تغییرات سطح مقطع منافذ نشت با فشار نسبت داده می شود. در این روش با درنظر گرفتن اینکه سطح مقطع نشت می تواند به ازای فشارهای مختلف ثابت یا متغیر باشد (مثل لوله های فلزی یا پلاستیکی)، میزان نشت را متناسب با فشار شبکه محاسبه می کند. با استفاده از این تئوری این امکان فراهم شد تا بین روابط و داده‌های گوناگون بدست آمده از تست‌های آزمایشگاهی و کارهای عملی انجام شده در شبکه‌های توزیع آب چند کشور مختلف از جمله ژاپن، انگلستان و برزیل یک وفاق ایجاد شود. در سال ۱۹۹۹، IWA یک روش استاندارد برای محاسبات بالانس آب و اجزای آن ارائه کرد، که در ادامه کارهای صورت گرفته توسط مرکز تحقیقات آب انگلستان قرار داشت [۷]. در سال ۲۰۰۲، IWA در راستای مدیریت نشت در شبکه های آب روشی را برای محاسبه شاخص های عملکرد نشت ارائه کرد [۱]. تابش و همکاران در سال ۲۰۰۳ تحقیقی در زمینه کاربرد GIS و مدل های تحلیل هیدرولیکی در مطالعات آب بحساب نیامده انجام داده اند که در آن با استفاده از قابلیت‌های GIS و فرمول‌های محاسبه دبی نشت، میزان نشت شبکه های آب محاسبه شده است [۸]. تابش و همکاران در سال ۲۰۰۹ با اصلاح روابط نشت فشار موجود، الگوریتمی را برای محاسبه نشت گره ها و لوله ها با استفاده از قابلیت های نرم افزار EPANET ارائه کردند [۹].

تاکنون بیشتر روشهای تحلیل کمی آب بحساب نیامده بر اثر مشکلات مختلفی از قبیل تعدد عوامل مؤثر بر نوع و میزان مؤلفه‌ها و متغیر بودن این عوامل درشبکه‌های مختلف و نیز عدم دسترسی مستقیم به اجزای شبکه، از قابلیتهای مورد نظر از جمله دقت مناسب و یا کاربرد فراگیر برای شرایط مختلف برخوردار نمی‌باشند. تحقیقات گذشته برای برآورد آب بحساب نیامده و نشت هر کدام بر مبنای یکی از روشهای رایج استوار است که اساس آن بر پایه تخمین، اندازه گیری و یا تحلیل هیدرولیکی می باشد و به ناچار

[2] *Apparent Losses*
[3] *Minimum Night Flow*
[3] *WRC*

[4] *Burst And Background Estimate (BABE)*
[5] *Fixed and Variable Discharge Paths (FAVAD)*

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیتهای موجود در هر مورد، کل نتایج را تحت تاثیر قرار می دهد. بعنوان مثال در روش بالانس سالانه صرفا مقدار کلی نشت (تلفات واقعی) در یک دوره زمانی (سالانه) با برآورد میزان کل تولید و مصرف و برآورد تلفات ظاهری، تخمین زده می شود، در حالیکه مولفه‌های آن مشخص نمی باشند. در روش اندازه‌گیری جریان شبانه، صرفا با انجام اندازه‌گیریها و بررسیهای میدانی یک مقدار کلی برای کل تلفات واقعی در یک محدوده مکانی خاص (ایزوله) و در یک زمان خاص بدست آمده و سپس به کل سیستم تعمیم داده می‌شود. همچنین در روش BABE براساس سوابق مطالعات قبلی یک مقدار متوسط به مولفه‌های مختلف تلفات واقعی نسبت داده شده و برای یک دوره زمانی چند ساله از این مقادیر استفاده می‌شود. در این مقاله ضمن استفاده از ترکیب روشهای حداقل جریان شبانه، مفاهیم FAVAD و BABE و مدل تحلیل هیدرولیکی EPANET، یک روش جدید برای برآورد تلفات حقیقی در دو بخش تلفات زمینه و شکستگیهای گزارش نشده با دقت قابل قبول و متناسب با شرایط موجود در شبکه‌های توزیع آب شهری کشورمان ارائه می‌شود. در مدل ارائه شده علاوه بر اندازه گیری جریان و فشار، شرایط زیربنایی شبکه (ناشی از کیفیت اجناس و کیفیت اجرا) و همچنین سن اجزای شبکه و لوله‌ها بهمراه تاثیرات تغییر فشار بر شدت و تداوم حوادث و نشتهای نامرئی در نظر گرفته شده است. افزون بر این با استفاده از تحلیل هیدرولیکی شبکه، شکستگیهای گزارش نشده با دقت بیشتری شناسایی شده و با شناسایی مسیرهای مشکوک به نشت از هزینه های اضافی برای عملیات نشت یابی جلوگیری می‌شود. این روش می‌تواند بخشی از مشکلات موجود در عدم دستیابی به کلیهٔ اهداف مورد نظر در طرحهای کاهش آب به حساب نیامده که ناشی از عدم دقت در تحلیل پارامترهای موثر میباشد را برطرف نماید و با استفاده از آن مقادیر دقیقتری از میزان آب بحساب نیامده فیزیکی و مولفه های آن با انجام عملیات صحرایی حتی‌الامکان کمتری بدست می‌آید.

۲. روش تحقیق

۲-۱. آنالیز تلفات زمینه

در این مقاله برای تحلیل آب بحساب نیامده علاوه بر استفاده از ترکیب روش حداقل جریان شبانه و مفاهیم FAVAD و BABE، روش جدیدی برای تعیین مولفه های تلفات حقیقی از جمله تلفات زمینه و شکستگیهای گزارش نشده ارائه شده است که در آن از شبیه سازی هیدرولیکی، مدل ریاضی و تجهیزات نشت‌یابی استفاده می‌شود.

در این روش ابتدا میزان حداقل جریان شبانه درمنطقه ایزوله (DMA)[1] اندازه‌گیری می‌شود. منطقه ایزوله بخشی از یک سیستم آبرسانی شهری است که آب ورودی و خروجی از مسیر یک یا چند ورودی و خروجی مشخص و مجهز به جریان سنج عبور می‌کند و از کلیه مناطق مجاور خود بوسیله بستن شیرهای مرزی و یا نصب کنتور مجزا می‌شود.

پس از برآورد آب تحویل شدهٔ شبانه به مشترکین واقع در ایزوله، تخمینی از تلفات زمینه شبانه اولیه در شرایط زیربنایی خوب با استفاده از مفهوم BABE صورت می‌گیرد. شرایط زیربنایی خوب در کشورهای مختلف دارای تعاریف متفاوتی است. در کشور ایران وجود متوسط تلفات زمینه روزانه (یک شبانه روز) در حدود ۱۵٪ جریان ورودی به شبکه، نشان دهندهٔ شرایط زیربنایی خوب در آن شبکه است. سپس، اختلاف حداقل جریان شبانه با مجموع تلفات زمینه شبانه اولیه و آب تحویل شدهٔ شبانه محاسبه می‌شود. به این اختلاف، حجم اضافی گفته می‌شود. در ادامه،علل وجود حجم اضافی (EV)[2] در ایزوله و مؤلفه‌های تشکیل دهنده آن بررسی می‌شود. در نهایت، مؤلفه‌های تلفات شبانه با استفاده از نتایج بررسی‌های انجام شده، اصلاح می‌شوند.

۲-۲. اندازه گیری و تصحیح جریان حداقل شبانه

نخستین گام در اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه تقسیم بندی منطقه مطالعاتی به مناطق کوچکتری به نام ایزوله می‌باشد. مقدار حداقل جریان شبانه از طریق اندازه‌گیری متوالی میزان جریان شبانه در فواصل زمانی ثابت در ساعاتی از شب که مصرف مشترکین کاهش می‌یابد، تعیین می‌شود. میزان اندازه‌گیری شده جریان حداقل شبانه بوسیله فاکتور تصحیح فشار، فاکتور تصحیح تداوم اندازه‌گیری و ضریب تصحیح کنتور به صورت زیر تصحیح می‌شود.

$$MNF = IMNF \times fm \times \frac{1}{PCF} \times SDCF \qquad (۱)$$

که MNF: حداقل جریان شبانه تصحیح شده، $IMNF$: حداقل جریان شبانه اندازه‌گیری شده اولیه در ایزوله، fm ضریب تصحیح کنتور، PCF: فاکتور تصحیح فشار و $SDCF$: ضریب تصحیح تداوم اندازه‌گیری می باشند. این پارامترها در ادامه تشریح می‌شوند.

در اکثر شبکه‌های توزیع آب شهری، رابطه توانی زیر برای نشان دادن ارتباط فشار و نشت معرفی شده است [۶]:

$$Q_{L,1} = Q_{L,t0} \times (P_1/P_0)^N \qquad (۲)$$

که در آن $Q_{L,1}$ دبی در زمان t_1، $Q_{L,t0}$ جریان حداقل شبانه در زمان MNF (t_0)، P_1 فشار در زمان t_1، P_0 فشار در زمان t_0 و N توان فشار می‌باشند. در شبکه های مختلف مقادیر توان N متفاوت است. بر طبق نظریه منافذ نشت با سطح مقطع ثابت و متغیر (FAVAD)، سطح مقطع منافذ نشت در درزها و ترکها با تغییرات فشار در شبکه تغییر می‌کند و میزان این تغییرات برای جنسهای

[1] *District Metering Area*

[2] *Excess Volume*

Archive of SID

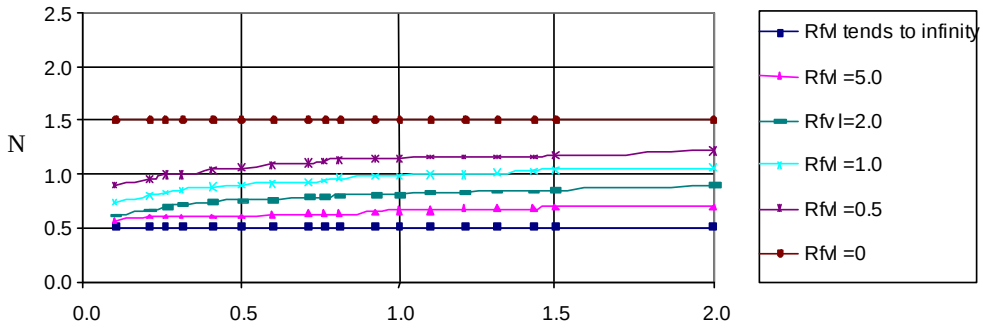
www.SID.ir

مختلف لوله متفاوت است [۶]. با استفاده از نسبت سطح مقطع منافذ نشت با سطح مقطع ثابت به منافذ نشت با سطح مقطع متغیر (R_{FVL}) می‌توان مقدار N را محاسبه کرد.

$$R_{FVL} = \frac{NCLA}{NVLA} \quad , \quad p = p_0 \qquad (۳)$$

که $NCLA$ تعداد منافذ نشت با سطح مقطع ثابت و $NVLA$ تعداد منافذ نشت با سطح مقطع متغیر می باشند.

تعداد منافذ نشت با سطح متغیر و ثابت و مقدار R_{FVL} با مطالعه بر روی آمار حوادث و شکستگی‌ها مشخص می‌شود. در این روش، در صورتیکه فشار از P_0 به P_1 تغییر یابد با داشتن مقادیر (P_1 / P_0) و نیز مقدار R_{FVL} در فشار P_0، می‌توان با استفاده از نمودارهای مربوطه مقدار N را محاسبه نمود (شکل ۱).



شکل ۱. توان N در رابطه توانی فشار– نشت بر اساس مفهوم FAVAD [۶]

با توجه به اینکه تاثیرات فشار بر میزان نشت، اندازه‌گیری‌ها و محاسبات هر یک از مؤلفه‌های نشت در صورتی با یکدیگر قابل مقایسه‌اند که در یک فشار شبانه یکسان ارزیابی شده باشند، بنابراین فاکتور تصحیح فشار بر اندازه‌گیری‌های جریان حداقل شبانه اعمال می‌شود. فشار ۵۰ متر به عنوان فشار متوسط شبانه معیار منطقه در اندازه‌گیری‌های شبانه در نظر گرفته شده و اگر در این زمان فشار ایزوله برابر فشار معیار نباشد، از این ضریب استفاده می‌شود.

فاکتور تصحیح فشار براساس روابط شاخص نشت، جذر فشار و یا ساده‌سازی انجام شده براساس مفهوم FAVAD و یا میانگینی از مقادیر فوق براساس قضاوت مهندسی تعیین شده و در مراحل بعدی، تحلیل این فاکتور براساس مفهوم FAVAD-BABE اصلاح می‌شود. رابطهٔ شاخص نشت به صورت زیر است [۴]:

$$Leakage Index = 0.5\ AZNP + 0.0042 (AZNP)^2 \qquad (۴)$$

که $AZNP$[1] فشار متوسط شبانه منطقه ایزوله می‌باشد.

فاکتور تصحیح فشار با استفاده از روش جذر فشار، برای هر (AZNP)، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PCF = \sqrt{\frac{AZNP}{50}} \qquad (۵)$$

همچنین براساس مفهوم FAVAD می‌توان در یک شبکه با فرض برابر بودن منافذ ثابت و متغیر نشت، توان N در رابطهٔ توانی فشار–نشت را برای محدودهٔ وسیعی از نسبت (P_1 / P_0)، برابر یک در نظر گرفت. در نتیجه، فاکتور تصحیح فشار اولیه در یک شبکه به صورت زیر بدست می آید.

$$PCF = \left(\frac{AZNP}{50}\right)^1 \qquad (۶)$$

در صورتیکه مقدار حداقل جریان شبانه در فواصل زمانی طولانی‌تر و یا کوتاهتر از یک ساعت، اندازه‌گیری شده باشد، از فاکتور تصحیح تداوم اندازه‌گیری (SDCF) برای تصحیح مقادیر اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود. این فاکتور با استفاده از شکل ۲ محاسبه می‌شود. به منظور تصحیح خطای کنتورهای حجمی که حداقل جریان شبانه را اندازه‌گیری می‌کنند از ضریب تصحیح کنتور (P_m) که از نتایج آزمایش دقت کنتورها بدست می‌آید استفاده می‌شود.

۳-۲. برآورد آب تحویل شدهٔ شبانه

آب تحویل شده شبانه، از مؤلفه‌های حداقل جریان شبانه است که شامل تلفات زمینه از لوله‌های زیرزمینی درون اشتراک، شکستگیهای گزارش شده و گزارش نشده از لوله‌های زیر زمینی درون اشتراک، تلفات زمینه از لوله‌های سطحی درون اشتراک و مصارف خانگی شبانه می‌باشد.

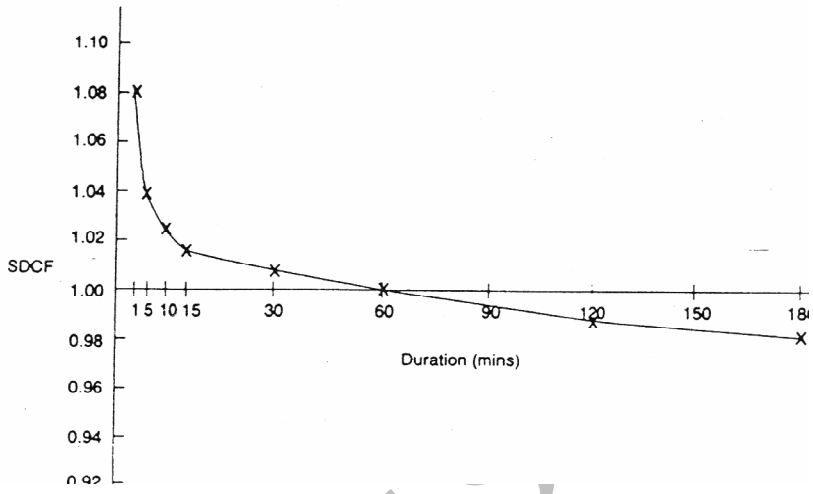
[1] *Average Zone Night Pressure*

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۲. برآورد آب تحویل شدهٔ شبانه

آب تحویل شده شبانه، از مؤلفه‌های حداقل جریان شبانه است که شامل تلفات زمینه از لوله‌های زیرزمینی درون اشتراک، شکستگی‌های گزارش شده و گزارش نشده از لوله‌های زیر زمینی درون اشتراک، تلفات زمینه از لوله‌های سطحی درون اشتراک و مصارف خانگی شبانه می‌باشد.



شکل ۲. نمودار فاکتور تصحیح تداوم اندازه گیری SDCF [۴]

مصرف شبانهٔ خانگی از حاصل ضرب درصد مشترکین فعال در شب در مصرف معقول شبانه هر مشترک بدست می‌آید. در یک ایزوله که تعداد کل مشترکین برابر n است با فرض این که P درصد این مشترکین در هنگام شب فعال هستند و با در نظر گرفتن توزیع آماری بینم[1] برای تعداد مشترکین فعال شبانه، میانگین و انحراف معیار استاندارد تعداد مشترکین فعال بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Average\ \ Active\ \ Night\ \ Users = n \times P \qquad (۷)$$

$$\sigma_{anu} = \sqrt{nP(1-P)} \qquad (۸)$$

که σ_{anu} انحراف معیار تعداد مشترکین فعال شبانه است.

۴-۲. برآورد تلفات زمینه و شکستگیهای گزارش نشده در ایزوله

این مرحله از عملیات که در طی هفت گام انجام می‌شود با تخمین اولیه‌ای از تلفات زمینه روزانه در گام اول آغاز شده و با برآوردی نسبتاً دقیق از تلفات زمینه روزانه در گام هفتم پایان می‌پذیرد. در گام اول تخمین اولیهٔ تلفات زمینهٔ روزانه با استفاده از یک مدل ریاضی انجام می شود. در این مدل ریاضی، درصد اولیهٔ تلفات زمینه روزانه در هر لوله به صورت تابعی از جنس، عمر و میزان آب مصرفی از آن لوله برآورد می‌شود. درصد تلفات در آغاز بهره‌برداری که عمدتاً ناشی از عواملی از قبیل عدم رعایت دقیق استانداردها، مشکلات اجرایی و بهره‌برداری و یا خرابی تجهیزات می‌باشد، برای جنس‌های مختلف لوله متفاوت بوده و بصورت تجربی تعیین می‌شود. مدل مذکور به صورت زیر است:

$$(P_{DBL})_{ij} = \frac{(PE)_i - (PS)_i}{(YB)_i} \times Y_{ij} + (PS)_i \qquad (۹)$$

که $(P_{DBL})_{ij}$: درصد اولیهٔ تلفات زمینه روزانه از لوله با جنس i و عمر j، $(PS)_i$: درصد تلفات زمینه لوله با جنس i در آغاز بهره‌برداری، $(PE)_i$: درصد تلفات زمینه لوله با جنس i در پایان عمر مفید لوله، $(YB)_i$: عمر مفید لوله از جنس i و Y_{ij}: عمر لوله از جنس i در زمان محاسبه تلفات زمینه می باشند. لازم به ذکر است که در این تحقیق منظور از روزانه، یک شبانه روز است. برآورد درصد تلفات زمینه لوله درپایان عمر مفید آن یکی از اهداف تحلیل بوده و بوسیله یک مجموعه عملیات سعی و خطا انجام می‌شود. این مقدار باید به گونه‌ای انتخاب شود که میزان تلفات زمینه روزانه اولیه شبکه در وضعیت شرایط زیربنایی خوب شبکه برآورد و سپس در طی یک سلسله عملیات و محاسبات، این برآورد اولیه اصلاح شود. تلفات زمینه روزانه اولیه در هر ناحیه از ایزوله به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$IDBL = \sum_{k=1}^{M} (IDBL)_k = \sum_{K=1}^{M} \left[\frac{(P_{DBL})_{ij}}{100} \times \left[(DFD)_K + (UF)_K \right] \right] \qquad (۱۰)$$

[1] *Binominal Distribution*

Archive of SID

www.SID.ir

که $IDBL$: تلفات زمینه روزانه اولیه در کل ایزوله مورد نظر، $(IDBL)_K$: تلفات زمینه روزانه اولیه در ناحیه K ام ایزوله، $(DFD)_K$: آب تحویل شده ۲۴ ساعته به مشترکین ناحیه K، $(UF)_K$: تلفات ظاهری (غیرفیزیکی) ناشی از خرابی کنتورها و انشعابات غیرمجاز در ناحیه K و M: تعداد ناحیه‌های ایزوله هستند.

در یک مجموعه عملیات سعی و خطا و با تغییر $(PE)_i$ در رابطهٔ (۹) و محاسبهٔ IDBL از رابطهٔ (۱۰)، درصد تلفات زمینه روزانه شبکه از رابطه زیر محاسبه و در نهایت مقداری برای $(PE)_i$ پذیرفته می‌شود که به ازای آن درصد تلفات زمینه روزانه شبکه (رابطه ۱۱) در حدود ۱۵٪ باشد.

$$DBL\ (\%)=\frac{IDBL}{DI}\times 100 \qquad (۱۱)$$

که DBL و DI تلفات زمینه جریان ورودی به شبکه در یک شبانه روز می باشند.

در گام دوم با توجه به تاثیر فشار بر میزان نشت و نیز تغییرات فشار در طول شبانه روز با استفاده از فاکتور ساعت – روز **(F_{hd})** تلفات زمینه شبانه اولیه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$(INBL)_K=(IDBL)_K\times\frac{1}{F_{hd}} \qquad (۱۲)$$

که $(INBL)_K$: تلفات زمینه شبانه در ناحیه K و $(IDBL)_K$: تلفات زمینه روزانه (۲۴ ساعته) اولیه در ناحیه K می‌باشند. در ابتدای تحلیل که اطلاعات کافی از وضعیت شبکه در دسترس نیست، می‌توان مقدار اولیه‌ای برای فاکتور ساعت – روز از طریق یکی از روشهای تقریبی زیر و یا میانگین مقادیر بدست آمده از آنها و براساس قضاوت مهندسی انتخاب کرد. فاکتور ساعت – روز براساس رابطه جذر فشار به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$F_{hd}=\sqrt{\frac{p_w}{p_{Max}}} \qquad (۱۳)$$

$$P_w=\frac{\sum_{i=1}^{NT} p_i t_i}{\sum_{i=1}^{NT} t_i} \qquad (۱۴)$$

که در آن p_i: فشار در ساعات مختلف شبانه روز (۲۴ ساعت)، t_i: مدت زمانی که فشار در شبکه مساوی p_i است، p_w: متوسط وزنی فشار در ۲۴ ساعت شبانه روز و p_{max}: فشار حداکثر (در زمان حداقل جریان شبانه) و NT تعداد دفعات فشار سنجی در طول یک شبانه روز هستند. یکی دیگر از روشهای ساده برای محاسبهٔ این فاکتور، استفاده از مفهوم FAVAD با فرض سادهٔ کننده R_{FVL} =1 می‌باشد. در چنین حالتی، می‌توان با در نظر گرفتن رابطهٔ خطی بین فشار و نشت و یا به عبارت دیگر با در نظر گرفتن توان N=1 در رابطهٔ توانی فشار نشت، مقدار اولیه‌ای را برای فاکتور ساعت – روز در ایزوله محاسبه کرد [۶]. در گزارش ۲۶ استفاده از ضریب (۲۰/۲۴) برای شبکه‌هایی که برنامه مدیریت فشار انجام نشده، توصیه شده است [۳]. مقدار اولیه فاکتور ساعت – روز که از یکی روشهای فوق دست آمده است در مراحل بعدی تحلیل، متناسب با شرایط شبکه مورد نظر، اصلاح خواهد شد. در گام سوم، حجم اضافی (EV) که می‌تواند ناشی از شکستگیهای گزارش نشده موجود در شبکه در هنگام اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه و یا خطا در برآورد اولیه از شرایط زیربنایی شبکه باشد، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EV=\left[(IMNF)\times f_m\times(SDCF)\times\frac{1}{(PCF)}\right]-\left[\sum_{K=1}^{M}(INBL)_K\times\frac{1}{(PCF)}+V_{RB}+\sum_{K=1}^{M}(NFD)_K+(SD)\right] \qquad (۱۵)$$

که در آن V_{RB}: حجم تلفات ناشی از شکستگیهای گزارش شده در زمان اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه و SD میزان انحراف معیار استاندارد آب تحویل شده شبانه در ایزوله می باشند.

گام چهارم شامل مکانیابی شکستگی‌های گزارش نشده از طریق مجموعه عملیاتی مرکب از فشار سنجی، شبیه سازی هیدرولیکی و نشتیابی می‌باشد. در هنگام وقوع شکستگی در یک ناحیه از ایزوله به علت افزایش سرعت جریان، میزان فشار در نقاط نزدیک به محل شکستگی کاهش می‌یابد. لذا در صورتی که در شبیه سازی هیدرولیکی جریان شبانهٔ شبکه این شکستگی در نظر گرفته نشود، میزان فشار گره در شبیه سازی، بیشتر از میزان فشار واقعی بدست آمده از عملیات فشار سنجی است. لذا با یک سری عملیات فشار سنجی و شبیه سازی هیدرولیکی در مسیرها و نقاطی خاص در ایزوله، می‌توان محدودهٔ تقریبی وقوع شکستگی گزارش نشده در ایزوله را مشخص کرد. شبیه سازی هیدرولیکی شبکه با استفاده از نرم افزار EPANET انجام شده است. در شبیه سازی هیدرولیکی ایزوله، این بخش از شبکه مستقل در نظر گرفته شده و در نقطهٔ ورودی آن یک مخزن فرضی قرار داده می‌شود. تراز آب در این مخزن فرضی معادل مجموع فشار در نقطهٔ ورودی ایزوله و تراز زمین در این نقطه می‌باشد. همچنین میزان تقاضا در هر ناحیه از ایزوله از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$D_K=(INBL)_K+(NFD)_K \qquad (۱۶)$$

که D_K: تقاضا در ناحیهٔ K ام ایزوله، $(IDBL)_K$: تلفات زمینه شبانه اولیه در ناحیه K ام ایزوله و $(NFD)_K$: مجموع جریانهای شبانه تحویل شده به مشترکین خانگی در ناحیه K ام ایزوله می‌باشند.

تقاضا در هر ناحیه، به گره مرجع در آن ناحیه نسبت داده می‌شود. منظور از گره مرجع، گره‌هایی است که در انتهای لوله‌های هر ناحیه

Archive of SID

www.SID.ir

که دارای قطر و عمر و جنس یکسان بوده و متصل به هم می‌باشند، قرار گرفته است. شبیه سازی هیدرولیکی با هدف تعیین مسیرها و نقاط فشار سنجی در چندین حالت مختلف انجام می‌شود. منظور از حالات مختلف، باز و بسته کردن شیرهای شبکه با هدف تغییر سرعت و مسیر جریان و یا قطع جریان در بخشهایی از شبکه می‌باشد. در هر یک از این حالات یک شکستگی فرضی در نقاط مختلف شبکه اعمال شده و وضعیت افت فشار در نقاط مختلف شبکه بررسی می‌شود. سپس تعدادی از حالات مختلف فشار سنجی که در مجموع قابلیت انعکاس وقوع شکستگی در هر نقطه از شبکه را دارا باشند به عنوان مسیرهای فشارسنجی انتخاب می‌شوند. همچنین در هر یک از این مسیرهای فشارسنجی، نقطه‌ای که دارای بیشترین حساسیت نسبت به وقوع شکستگی در نقاط مختلف آن مسیر می‌باشد بعنوان نقطهٔ فشار سنجی در آن مسیر تعیین می‌شود. البته در بعضی از حالات فشار سنجی، به علت پایین بودن سرعت جریان شبانه، افت فشار در گره‌های فشار سنجی بر اثر وقوع شکستگی چندان محسوس نیست. این مشکل با استفاده از روش افزایش حساسیت گره‌های فشار سنجی برطرف می‌شود. حساسیت گره‌های فشارسنجی نسبت به وقوع شکستگی باید به روش مناسبی افزایش داده شود و یا به عبارتی دیگر میزان افت فشار در این گره‌ها در هنگام وقوع شکستگی افزایش یابد. البته این عملیات باید به گونه‌ای انجام شود که در خصوصیات جریان شبانه در کل ایزوله تغییری ایجاد نکند. مناسب‌ترین روش افزایش حساسیت در مسیرهای مختلف فشارسنجی، کاهش قطر شیر و یا لوله‌ای واقع در ابتدای مسیر فشارسنجی مورد نظر در هنگام تحلیل شبکه می‌باشد. بدین ترتیب در هنگام وقوع شکستگی در محدودهٔ این مسیر، میزان افت فشار در گره‌های فشارسنجی به شدت افزایش می‌یابد، بدون اینکه میزان سرعت و افت فشار در طول سایر لوله‌های شیرآلات مسیر تغییر کند. پس از تعیین مسیرها و نقاط فشارسنجی، عملیات فشارسنجی درشبکه آغاز می‌شود. این عملیات همزمان با حداقل جریان شبانه و در نقاط فشارسنجی تعیین شده و در مسیرهای مختلف انجام می‌شود.

همچنین در هر مسیر فشارسنجی، با تغییر قطر شیرهایی که از طریق شبیه‌سازی هیدرولیکی مشخص شده‌اند، حساسیت گره‌های فشارسنجی افزایش داده می‌شود. پس از عملیات فشارسنجی در شبکه، مجدداً از شبیه سازی هیدرولیکی استفاده می‌شود. شبیه-سازی در مسیرهای مختلف فشارسنجی انجام می‌شود و میزان فشار بدست آمده از عملیات فشارسنجی با نتایج بدست آمده از شبیه-سازی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. عدم تطبیق فشارهای بدست آمده از عملیات فشارسنجی و شبیه‌سازی هیدرولیکی، نشان دهندهٔ عدم تطبیق سرعت در مسیر فشارسنجی در این دو حالت می‌باشد و عدم تطبیق سرعتها در واقع نشان دهندهٔ وجود دبی خروجی اضافی در بخشهایی از شبکه است. این دبی خروجی اضافی ابتدا به عنوان شکستگی گزارش نشده در نظر گرفته می‌شود و عملیات مکان‌یابی آنها آغاز می‌شود. در صورتیکه در محدودهٔ مورد نظر هیچ نوع شکستگی پیدا نشد، این اختلاف دبی خروجی به خطای بوجود آمده در تشخیص سطح شرایط زیربنایی شبکه و یا به عبارتی دیگر به تلفات زمینه شبکه نسبت داده می‌شود.

در گام پنجم پس از تعیین حجم تلفات ناشی از شکستگیهای گزارش نشده و مقایسه آن با حجم اضافی (EV)، یکی از حالات زیر بوجود می‌آید:

حالت اول: حجم تلفات شکستگی‌های گزارش نشده معادل حجم اضافی محاسبه شده باشد.

حالت دوم: حجم تلفات شکستگی‌های گزارش نشده کمتر از حجم اضافی محاسبه شده باشد.

حالت اول نشان دهندهٔ صحت ارزیابی اولیه از تلفات زمینه موجود در شبکه می‌باشد و مقادیر تخمین اولیه نیاز به اصلاح و تغییر ندارد. حالت دوم نشان دهندهٔ عدم صحت ارزیابی اولیه از تلفات زمینه و شرایط زیربنایی شبکه می‌باشد، لذا باید مقادیر تخمین اولیه از تلفات زمینه اصلاح شود. بدین منظور ابتدا میزان خطا در تخمین اولیه تلفات زمینه (EV)′ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$(EV)' = V_{URB} - EV \qquad (۱۷)$$

که V_{URB} حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش نشده می باشد.

سپس میزان تلفات شبانه با استفاده از رابطه زیر اصلاح می‌شود:

$$(NBL)_K = CF_K \times (EV)' + (INBL)_K \qquad (۱۸)$$

$$CF_K = \frac{(INBL)_K}{\sum_{K=1}^{M} (INBL)_K} \qquad (۱۹)$$

که CF_K: فاکتور تصحیح تلفات زمینه شبانه در ناحیه K ام، $(INBL)_K$: تلفات زمینه شبانه اولیه در ناحیه K ام و $(NBL)_K$: تلفات زمینه شبانه اصلاح شده در ناحیه K ام هستند. در گام ششم می‌توان فاکتور تصحیح فشار (PCF) و فاکتور ساعت – روز (F_{hd}) در ایزوله مورد نظر را با استفاده از مقادیر دقیق تلفات زمینه و شکستگی‌های گزارش نشده بدست آمده در گام‌های قبل اصلاح کرد. در گام هفتم تخمین اولیه‌ای که از تلفات زمینه روزانه در اولین گام زده شده بود با استفاده از مقادیر اصلاح شده تلفات زمینه شبانه و مطابق رابطه (۲۰) اصلاح می‌شود:

$$(DBL)_K = F_{hd} \times (NBL)_K \qquad (۲۰)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$(DBL)=\sum_{K=1}^{M}(DBL)_K \qquad (۲۱)$$

که در آن $(DBL)_K$: تلفات زمینه روزانه اصلاح شده در ناحیه Kام، $(NBL)_K$: تلفات زمینه شبانه اصلاح شده در ناحیه K ام و F_{hd}: فاکتور ساعت – روز اصلاح شده در گام ششم می باشند.

بدین ترتیب ارزیابی تلفات زمینه با یک تخمین اولیه از تلفات زمینه روزانه آغاز شده و با یک برآورد نسبتاً دقیق از تلفات زمینه روزانه، پایان می‌پذیرد.

روند عملیات انجام شده جهت ارزیابی تلفات زمینه روزانه به طور خلاصه در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین در این تحقیق کلیهٔ محاسبات و عملیات انجام شده جهت ارزیابی تلفات زمینه به صورت یک جدول محاسباتی (Spread Sheet) طراحی شده که در جدول ۱ نمایش داده شده است [۱۰]. با افزایش دقت در محاسبه تلفات زمینه روزانه امکان برنامه‌ریزی دقیقتر و صرفه‌جویی اقتصادی بیشتر در انجام عملیات شناسایی و کاهش نشت و آب بحساب نیامده بوجود خواهد آمد.

۳. ارزیابی روش

منطقه مطالعاتی که جهت ارزیابی روش ارائه شده در این تحقیق انتخاب شده است، بخشی از پایلوت مطالعاتی شهر تبریز است که وسعت آن حدود ۱۷ هکتار، عمر متوسط لوله‌ها، بالای ۲۵ سال و دارای ۷۴۸ مشترک می‌باشد. طول کل شبکه، ۵۸۰۰ متر بوده که از این مقدار، ۲۵۹۷ متر از جنس گالوانیزه و ۳۲۰۳ متر از جنس چدنی می‌باشد. حداقل جریان شبانه اندازه گیری شده معادل ۲/۳۸ متر مکعب، در یک تداوم ۱۵ دقیقه‌ای جریان می‌باشد. فشار متوسط شبانه منطقه‌ای ایزوله (AZNP) در هنگام وقوع حداقل جریان شبانه برابر ۵۳ متر اندازه‌گیری شده است [۱۱].

با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله، فاکتور تصحیح فشار (PCF) در این ایزوله که از میانگین مقادیر محاسبه شده براساس روشهای شاخص نشت و مفهوم FAVAD محاسبه شده معادل ۱/۰۶ می‌باشد.

فاکتور تصحیح تداوم اندازه‌گیری (SDCF) معادل با ۱/۰۱۶ بوده و ضریب تصحیح کنتور حجمی ایزوله نیز از طریق تست کنتور با استفاده از کنتورهای اولتراسونیک معادل ۱/۳۷ اندازه‌گیری شده است. لذا با استفاده از مقادیر محاسبه شده برای فاکتورهای تصحیح فشار، تداوم اندازه‌گیری و تصحیح کنتور، حداقل جریان شبانه یک ساعته ایزوله در فشار ۵۰ متر برابر ۱۱/۴ متر مکعب بر ساعت است. میزان جریان تحویل شده شبانه با تداوم یک ساعته در فشار ۵۰ متر، معادل ۲/۵ لیتر بر مشترک بر ساعت بدست آمده و همچنین انحراف معیار استاندارد جریان شبانه تحویل شده با در نظر گرفتن اینکه ۲۵٪ ازمشترکین در هنگام شب فعال باشند معادل ۱۱۸/۴ لیتر برساعت محاسبه شده است.

تخمین اولیه از تلفات زمینه اجزای شبکه با استفاده از رابطهٔ (۹) برآورد می‌گردد. مقادیر PS (درصد تلفات در آغاز بهره برداری) برای لوله‌های ایزوله برابر است با ۵٪ $=(PS)_۲$ و ۵٪$=(PS)_۱$ و عمر مفید لوله‌های چدن ۳۰ سال و گالوانیزه ۴۵ سال در نظر گرفته شده است.

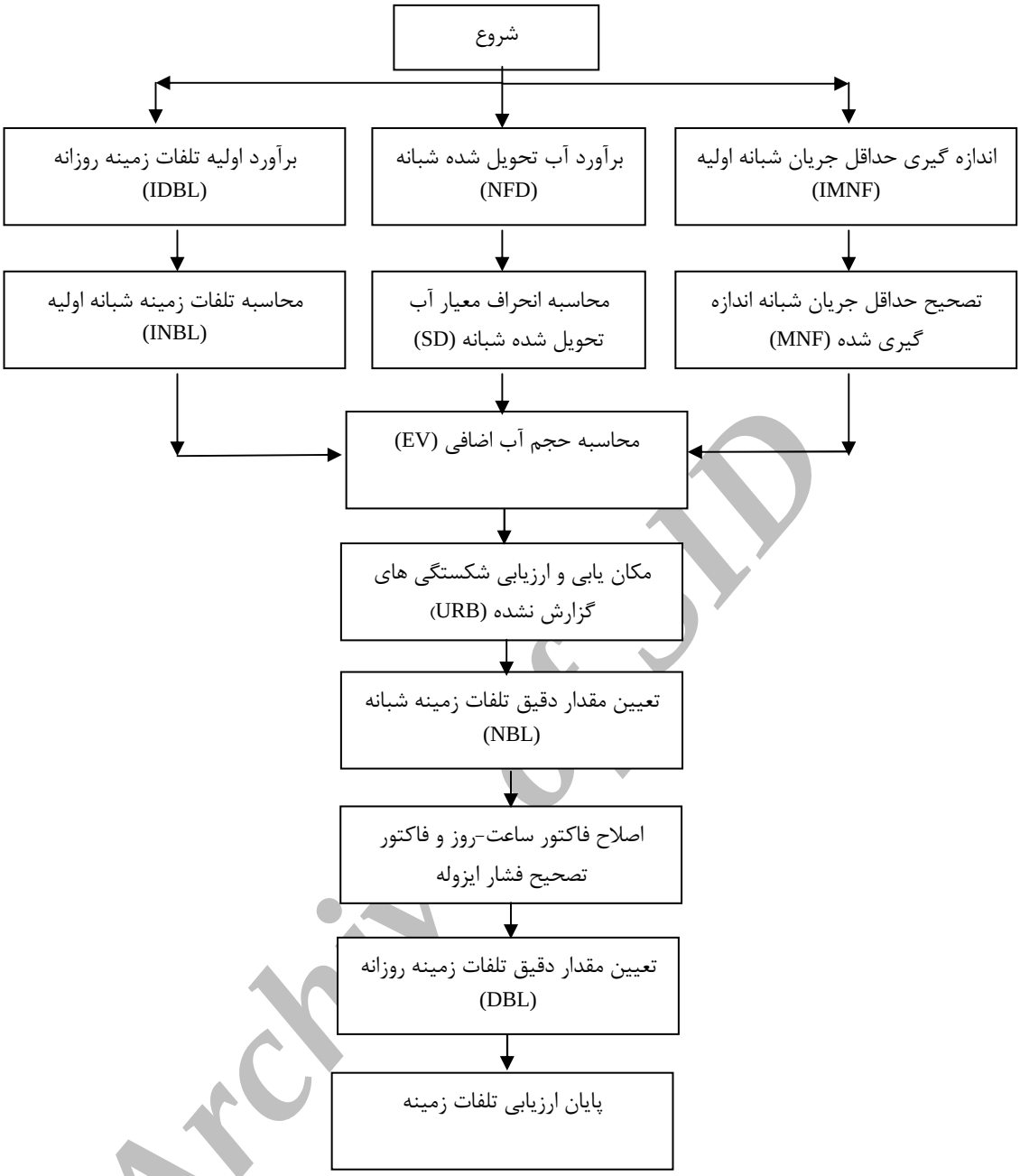
جدول ۱. جدول محاسباتی مورد استفاده در تحقیق

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
شماره ناحیه ایزوله (K)	شماره گره مرجع	عمر لوله" های ناحیه	جنس لوله" های ناحیه	تعداد مشترکین ناحیه	آب تحویل شده ۲۴ ساعته به مشترکین (DFD)	تلفات ظاهری (UF)	مجموع DFD و UF	درصد تلفات در آغاز بهره" برداری (PS)	درصد تلفات در پایان عمر مفید (PE)	عمر مفید لوله‌های ناحیه (Y_n)	درصد اولیه تلفات روزانه (P_{DBL})	تلفات زمینه روزانه اولیه (IDBL)
				Property	m^3/day	m^3/day	m^3/day				Year	m^3/day

۱	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
شماره ناحیه ایزوله (K)	فاکتور ساعت- روز اولیه (F_{hd})	تلفات زمینه شبانه اولیه (INBL)	آب تحویل شده شبانه به مشترکین (NFD)	تلفات ناشی از شکستگیهای گزارش شده (V_{RB})	تقاضا در هر ناحیه (D)	تلفات ناشی از شکستگیهای گزارش نشده (V_{URB})	فاکتور تصحیح تلفات زمینه شبانه (CF)	حجم اضافی (EV)	خطا در تخمین اولیه تلفات زمینه (EV)'	تلفات زمینه شبانه تصحیح شده (NBL)	فاکتور ساعت- روز تصحیح شده (F_{hd})	تلفات زمینه روزانه اصلاح شده (DBL)
		lit/sec	lit/sec	lit/sec	lit/sec	lit/sec		lit/sec	lit/sec	lit/sec		m^3/day

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. فلوچارت روش ارائه شده در تحقیق

درصد تلفات در پایان عمر مفید هر جزء شبکه (PE) در طی یک عملیات سعی و خطا محاسبه می‌شود. در این ایزوله با فرض $(PE)_i$ برابر با ۳۰ درصد، تلفات زمینه روزانه شبکه از رابطه (۱۱) تقریباً معادل ۱۵٪ محاسبه می‌شود. لذا می‌توان $(PE)_i$ برابر ۳۰٪ را به عنوان شرایط زیر بنایی خوب برای شبکه پذیرفت.

به منظور محاسبهٔ تلفات زمینه شبانه اولیه هر جزء شبکه، باید مقدار اولیه‌ای برای فاکتور ساعت-روز در نظر گرفته شود. البته این مقدار در مراحل بعدی تحلیل تصحیح خواهد شد. با توجه به اینکه مفهوم FAVAD و نیز ضریب (۲۰/۲۴) دارای انطباق بیشتری با شرایط واقعی در شبکه‌های توزیع آب شهری می‌باشند، لذا فاکتور ساعت – روز اولیه برای ایزوله براساس میانگین مقادیر بدست آمده از دو روش فوق و براساس قضاوت مهندسی معادل ۰/۸ در نظر گرفته شده است.

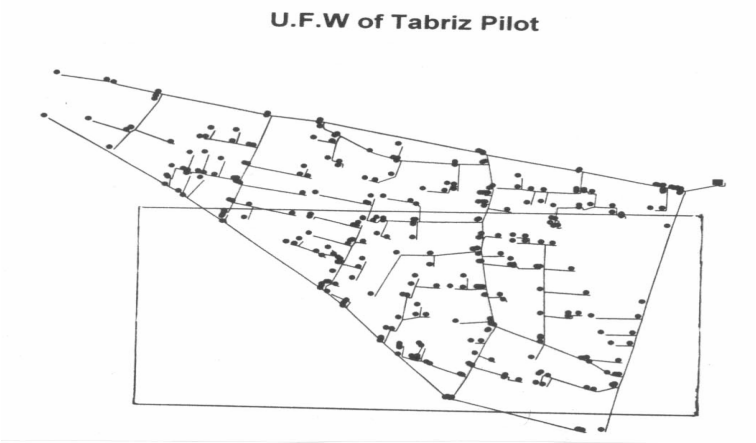
بدین ترتیب، تلفات زمینه شبانه اولیه هر جزء شبکه براساس رابطه (۱۲) محاسبه شده و حجم کل تلفات زمینه شبانه اولیه در ایزوله که از مجموع این تلفات در اجزاء ایزوله بدست می آید برابر ۱/۹۷۴۹ لیتر بر ثانیه می باشد. با مشخص شدن مقادیر تلفات زمینه شبانه اولیه و آب تحویل شده شبانه به مشترکین با استفاده

Archive of SID

www.SID.ir

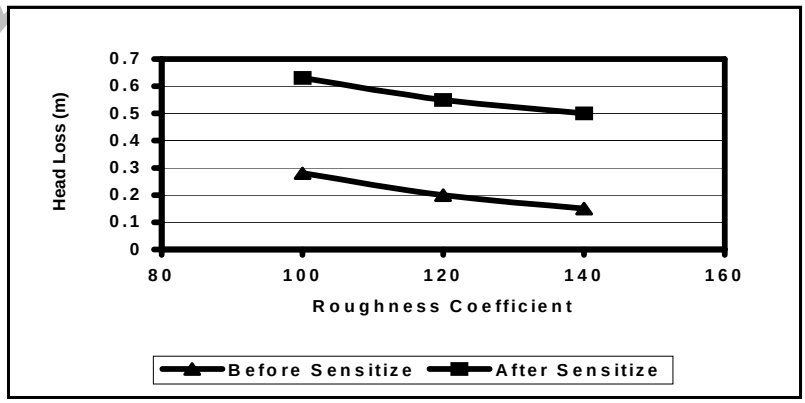
از رابطه (۱۵) حجم اضافی (EV) در ایزوله ۳/۷۵ متر مکعب بر ساعت بدست آمده است.

جهت تشخیص علت وجود حجم اضافی و تعیین محل شکستگیهای گزارش نشده احتمالی، عملیات مکان‌یابی شکستگیهای گزارش نشده در ایزوله اجرا شد. به منظور تعیین نقاط و مسیرهای فشارسنجی، یک عملیات سعی و خطا شامل باز و بسته نمودن شیرهای مختلف درون ایزوله و تغییر مسیر جریان آب درون لوله‌ها، به همراه اعمال شکستگی در نقاط مختلف آن با استفاده از شبیه سازی هیدرولیکی انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه سازی هیدرولیکی شبکه که با استفاده از نرم افزار EPANET 2 انجام شد در این ایزوله ۳ مسیر فشارسنجی و ۲ نقطه فشارسنجی جهت پوشش کامل شبکه برای مکان‌یابی شکستگی‌های گزارش نشده در نظر گرفته شد. در شکل شماره ۴ محدوده مسیر شماره یک فشارسنجی ایزوله نشان داده شده است.



شکل۴. محدودهٔ تقریبی مسیر فشار سنجی شماره یک در ایزوله ۱

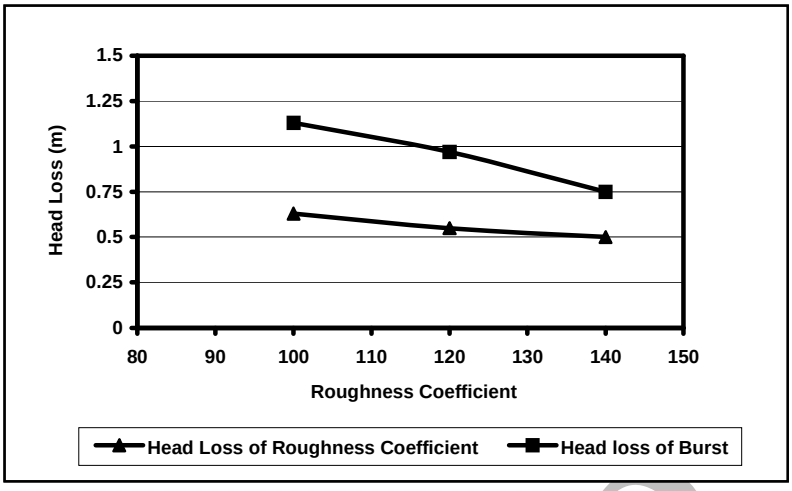
میزان تقاضای هر گره با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه شد. به عنوان مثال در ناحیه شماره یک ایزوله، تعداد ۳۹ مشترک وجود دارند و تلفات زمینه شبانه اولیه درآن ۰/۱۵۶ لیتر بر ثانیه برآورد شد، لذا میزان تقاضا در ناحیه برابر ۰/۱۸۳ لیتر بر ثانیه می باشد. همچنین در شبیه‌سازی هیدرولیکی ایزوله، هد فشاری مخزن فرضی واقع در ورودی ایزوله برابر فشار اندازه‌گیری شده در ورودی ایزوله در زمان حداقل جریان شبانه در نظر گرفته شد که معادل ۵۷ متر می‌باشد. به منظور افزایش حساسیت گره‌های فشارسنجی، از روش کاهش قطر شیر ورودی در هر مسیر استفاده شد. همانگونه که در بخشهای قبلی بیان شد استفاده از روش افزایش حساسیت، بر سرعت و خصوصیات جریان در نواحی دیگر تاثیری نمی‌گذارد. این خصوصیات در شکل شماره ۵ برای مسیر شماره یک فشارسنجی در ایزوله مورد نظر نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که میزان تغییرات افت فشار با زبری لوله در دو حالت قبل و بعد از افزایش حساسیت بر اثر تغییر قطر یکی از شیرها از ۱۰۰ به ۴۰ میلی‌لیتر تفاوت چندانی نداشته و تقریباً یکسان است. این عدم اختلاف، نشان دهنده عدم تغییر سرعت و خصوصیات جریان در قبل و بعد از افزایش حساسیت می‌باشد. همچنین شکل ۶ تغییرات افت فشار با زبری در دو حالت مختلف در مسیر شماره یک فشارسنجی را نشان می‌دهد. در حالت اول، نتایج شبیه‌سازی با فرض عدم وجود شکستگی در مسیر و در حالت دوم، با فرض وقوع شکستگی با دبی ۰/۴۵ لیتر در ثانیه در یکی از نقاط شبکه نشان داده شده است.



شکل۵. تغییرات افت فشار با زبری در قبل و بعد از افزایش حساسیت در مسیر شماره یک

Archive of SID

www.SID.ir



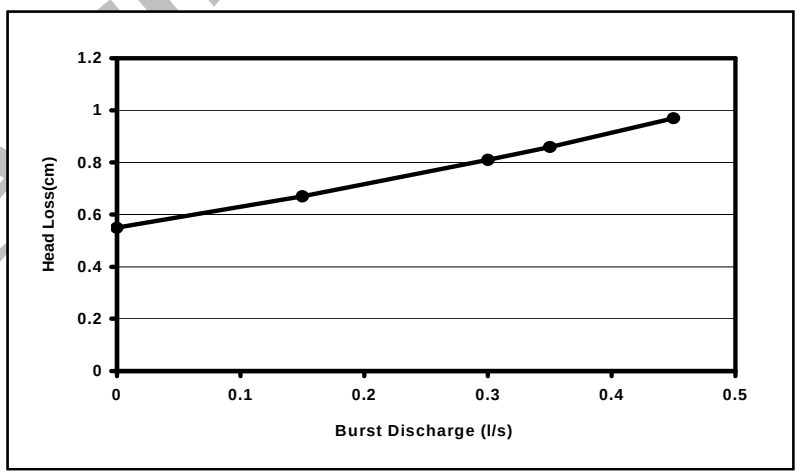
شکل۶. تغییرات افت فشار با زبری در قبل و بعد از وقوع شکستگی در مسیر شماره یک

در این شکل مشاهده می‌شود که میزان تغییرات افت فشار به ازای یک شکستگی در یک زبری ثابت، چندین برابر میزان تغییرات افت فشار بر اثر تغییر زبری در کل لوله‌های ایزوله می‌باشد. لذا در صورتیکه خطایی در تعیین زبری لوله‌ها وجود داشته باشد، میزان تاثیر این خطا در افت فشار نسبت به تاثیرات وقوع شکستگی در افت فشار ، قابل چشم پوشی است. در نتیجه می‌توان وجود اختلاف فشار در نتایج شبیه سازی و فشار سنجی را به شکستگیهای گزارش نشده و یا خطا در تخمین تلفات زمینه در ایزوله نسبت داد. در شکل ۷ نیز مشاهده می‌شود که با کاهش دبی‌های فرضی شکستگی، میزان افت فشار کاهش می‌یابد. از آنجا که نتایج عملیات اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه در این ایزوله نشان دهنده عدم وجود شکستگی گزارش نشده می باشد، می‌توان تمامی حجم اضافی (EV) را به تلفات زمینه شبانه نسبت داد.

تلفات زمینه شبانه در هر ناحیه از ایزوله، مطابق رابطه (۱۸) اصلاح شده است. بدین منظور ضریب تصحیح CF با استفاده از رابطه (۱۹) برای هر یک از نواحی ایزوله محاسبه می‌شود. به عنوان مثال با در نظر گرفتن ۸۰ ناحیه در ایزوله شماره ۱، مقدار ضریب تصحیح در ناحیه شماره ۱، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$(CF)_1 = \frac{(INBL)_1}{\sum_{K=1}^{80}(INBL)_K} = \frac{0.156}{1.9749} = 0.079$$

در نتیجه مقدار تلفات زمینه شبانه اصلاح شده برای این ناحیه، برابر است با:



شکل ۷. آزمایش حساسیت گره شماره ۱۳ نسبت به وقوع شکستگی در مسیر شماره یک

$$(NBL)_1 = 0.079 \times \frac{3.75}{0.935} \times \frac{1000}{3600} + 0.156 = 0.244 \quad (lit/sec)$$

با فرض اینکه فاکتور ساعت–روز اولیه‌ای که در ابتدای محاسبات در نظر گرفته شد صحیح است، می‌توان تلفات زمینه روزانه تصحیح شده در هر ناحیه از ایزوله را با استفاده از رابطه (۲۰) محاسبه کرد. به عنوان مثال در ناحیهٔ یک ایزوله:

Archive of SID

www.SID.ir

$$(DBL)_1 = 0.8 \times (NBL)_1 = 0.19 (lit/sec)$$

همچنین از مجموع این تلفات برای اجزاء شبکه، تلفات زمینه روزانه کل ایزوله محاسبه شده که برابر است با:

$$(DBL) = \sum_{K=1}^{80} (DBL)_K = 211.43 (m^3/day)$$

حجم شکستگی‌ها از مجموع حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده بدست می‌آید که شامل شکستگی‌های روی لوله اصلی، شکستگیهای از کمربند انشعاب تا شیر قطع و وصل و شکستگیهای از شیر تا کنتور می باشد. حجم کل تلفات سالانه ناشی از شکستگیها در ایزوله از مجموع تلفات بدست آمده از سه حالت فوق محاسبه می‌شود. این مقادیر برای دو روش جذر فشار و انگلیسی به صورت زیر می‌باشند.

(روش جذر فشار) $V_B = 38755.01 \ (m^3/yr)$

(روش انگلیسی) $V_B = 35660.21 \ (m^3/yr)$

نتایج بدست آمده در این ایزوله نشان می‌دهد که مقادیر تلفات محاسبه شده از روشهای آماری انگلیسی و جذر فشار به یکدیگر نزدیک می‌باشند. ولی با توجه به اینکه روش آماری، مربوط به شرایط موجود در کشور انگلستان است در این تحلیل از تلفات محاسبه شده با روش جذر فشار استفاده شده است.

در این مرحله نتایج ارائه شده در این تحقیق با نتایج بدست آمده در طرح کاهش آب به حساب نیامده تبریز مقایسه می شود. در بررسیهای اولیه انجام شده در پایلوت مطالعاتی بوسیله مهندسین مشاور، آنالیز تلفات زمینه صرفا با استفاده از اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه (MNF) انجام شده است. در این روش بر خلاف روش ارائه شده در این تحقیق، مقدار اندازه‌گیری شده برای حداقل جریان شبانه به طور کلی به نشت شبانه نسبت داده شده و از تفکیک آن به تلفات زمینه شبانه (NBL) و شکستگیهای گزارش شده و گزارش نشده شبانه صرف نظر شده است. همچنین میزان جریان تحویل شدهٔ شبانه در زمان اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه برابر صفر در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ نتایج دو روش محاسبه آب بحساب نیامده برای پایلوت مورد مطالعه نمایش داده شده است. همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، درصد تلفات واقعی (فیزیکی) در روش مشاور از مقدار محاسبه شده در این تحقیق بیشتر است، زیرا در روش مطالعات مشاور، جریان تحویل شدهٔ شبانه به عنوان بخشی از تلفات شبانه محسوب شده ولی در روش ارائه شده در این تحقیق جریان تحویل شدهٔ شبانه از تلفات شبانه تفکیک شده است. همچنین فاکتور ساعت روز در دو روش با یکدیگر متفاوت می‌باشند. به دلایل مختلفی از جمله ارزیابی مؤلفه‌ای جریان شبانه، مکانیابی شکستگیهای گزارش نشده شبانه و روشهای برآورد و اصلاح فاکتور ساعت – روز و فاکتور تصحیح فشار بکار رفته در روش ارائه شده در این تحقیق، نتایج بدست آمده از این روش از دقت و قابلیت اطمینان و کاربرد بیشتری نسبت به استفاده صرف از روش حداقل جریان شبانه برخوردار می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه نتایج تحلیل آب به حساب نیامده از مطالعات مشاور با روش ارائه شده در این تحقیق

درصد تلفات نسبت به آب تولیدی	روش ارائه شده در این تحقیق	روش انجام شده توسط مشاور
درصد سالانه تلفات واقعی	۳۰/۵۶	۳۷/۳۸
درصد سالانه تلفات ظاهری	۱۵/۶۹	۱۴/۱۵
درصد سالانه آب به حساب نیامده	۴۶/۲۵	۵۱/۵۳

قابل ذکر است که مقادیر تلفات ظاهری با محاسبه حجم آب اندازه‌گیری نشده ناشی از عدم دقت یا خرابی کنتورها، خطای انسانی در قرائت و ثبت ارقام مصرف، خطای مدیریتی و بهره‌برداری، مصرف‌کنندگان غیرمجاز و مصارف مجاز اندازه‌گیری نشده بدست می‌آید. در مقاله حاضر بدلیل کمبود جا از ذکر روش محاسبه پارامترهای مذکور خودداری شد.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله روش جدیدی جهت تعیین مقدار آب بحساب نیامده و برآورد تلفات زمینه و شکستگیهای گزارش نشده در شبکه‌های توزیع آب شهری ارائه شده است. ضمن ترکیب روشهای تحلیل جریان حداقل شبانه و تحلیل هیدرولیکی، مدل پیشنهادی که مکمل روش حداقل جریان شبانه می‌باشد با در نظر گرفتن اثرات جنس و سن لوله‌ها و همچنین شرایط زیربنایی شبکه ناشی از کیفیت اجرا و مصالح بکاررفته، مقدار تلفات زمینه را با دقت بیشتری نسبت به روشهای موجود بالانس سالیانه آب و یا حداقل جریان شبانه محاسبه می کند. در روش ارائه شده در این مقاله با استفاده همزمان از شبیه سازی هیدرولیکی و عملیات فشارسنجی در مکانیابی شکستگیهای گزارش نشده، علاوه بر افزایش دقت و سرعت عملیات، هزینه‌های مکانیابی شکستگیها بوسیله عملیات نشتیابی نیز کاهش می‌یابد. ضمنا با استفاده از مفاهیم BABE و

Archive of SID

www.SID.ir

FAVAD در مدل جدید دقت نتایج افزایش می‌یابد. کاربرد روش ارائه شده در یک منطقه پایلوت نیز افزایش دقت نتایج مدل را در مقایسه با نتایج حاصل از اندازه‌گیری جریان شبانه نشان می‌دهد.

مراجع

[1] Farley, M., Trow, S., *Losses in Water Distribution Networks*, IWA Publishing, 2003.

[2] Thornton, J., *Water Losses Manual*, Mc Grow Hill, 2002.

[3] Technical working group on waste of water, 1980. "*Leakage Control Policy*", WRC/Water Authorities Association, Report 26.

[4] U.K., Water Industry, *Managing Leakage. Reports A-J*, WRC PLC/Water Service Association/ Water Companies Association, Swindon, UK, 1994.

[5] Lambert, A., "*Accounting for Losses: The Bursts and Background Concept*", J. JWEM, Vol. 8, April, 1994, pp. 205-214.

[6] Lambert, A., "*Strategies for Qualifying, Controlling and Reducing Water Losses, Based on Analysis of Components Using BABE Concepts*", Water Pipelines and Network Management, BHR Conference, London, 1997.

[7] "*The Blue Pages*", International Water Association, 2000.

[8] Tabesh, M., Delavar, M.R., "*Application of Integrated GIS and Hydraulic Models for Unaccounted for Water Studies in Water Distribution Systems*", Proceedings of the International Conference on Advances in Water Supply Management, Maksimovic, Butler and Memon (Eds.), 5-7 September, Imperial College, London, UK, 2003, pp. 129-135

[9] Tabesh, M., Asadiani Yekta, A.H., Burrows, R., "*An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Networks*", J. Water Resources Management, Vol. 23, 2009, pp. 477-492.

[۱۰] یراقی، پ.، "آنالیز آب به حساب نیامده در شبکه‌های توزیع آب شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۹.

[۱۱] مهندسین مشاور آبران، "طرح کاهش آب به حساب نیامده تبریز: گزارش خدمات مهندسی مرحله دوم"، جلد دوازدهم، تلفات فیزیکی (عملیات نشت‌یابی)، طرح ملی تحقیق، توسعه و بهسازی تأسیسات توزیع آب شهری، ۱۳۷۸.

Archive of SID

www.SID.ir