ارزیابی و شبیه سازی عملکرد شبکه آبرسانی شهر فریمان

(دریافت۸۱/۹/۱۳ پذیرش۸۲/۵/۲۳)

بهرام نوایی نیا* محمد باقر شریفی** ابوالفضل سالمی***

چکیده

مصرف روزافزون منابع محدود آب، به دلیل رشد جمعیت شهرها، پیشرفت صنایع و رشدسطح فرهنگ مردم، بررسی دقیق و همه جانبه شبکه‌ها و تأسیسات توزیع آب را ضروری می‌سازد. فقدان منابع آب سطحی دائمی در بسیاری از حوزه‌های آبریز ایران، و نیز هزینه نسبتاً بالای تصفیه آن برای مصارف شرب، استفاده از منابع آب زیرزمینی را به صورت امری اجتناب ناپذیر در آورده است. این منابع به دلیل برداشت بیش از اندازه، به منابع جبران ناپذیر تبدیل شده و در برخی از مناطق مانند استان‌های تهران، خراسان و کرمان وضعیت نگران کننده‌ای پیدا کرده‌اند. لذا بررسی وضعیت شبکه‌های آبرسانی تمام استان‌ها به خصوص استان‌های مذکور که در آینده با مشکل تأمین آب مواجه خواهند شد، به ویژه برای برآورده ساختن انتظارات مشترکین شرکت‌های آب و فاضلاب امری ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به ضرورت اشاره شده برای بررسی شبکه آبرسانی شهرهای استان خراسان، شهر فریمان به عنوان نمونه انتخاب و مسایل موجود در آن از قبیل میزان مصرف و نحوه تغییرات آن، وضعیت شبکه موجود، میزان آب به حساب نیامده و اتفاقات شبکه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. متوسط مصرف سرانه، ضرایب حداکثر روزانه و ساعتی مصرف، و نیز مقدار نشت برای شهر مورد نظر اندازه‌گیری شده و با استانداردهای موجود ایران مقایسه شده‌اند. سپس به کمک روش اعمال دبی مصرفی پیشنهادی در این تحقیق، کالیبراسیون شبکه صورت پذیرفته که کشف دوشیر بسته در مسیر اصلی لوله‌های شهر از نتایج قابل توجه آن می‌باشد. هم‌چنین بررسی حوادث واتفاقات در شبکه آبرسانی شهر مذکور نیز نشان داد که بیشترین تعداد حوادث مربوط به لوله‌های از جنس پلی‌اتیلن می باشد.

واژه‌های کلیدی : شبکه آبرسانی، آب به حساب نیامده، فریمان، فشار، مصرف سرانه آب.

Assessment and Simulation of Fariman Water Distribution System

*Navayineya, B. (Ph.D) * Sharifi, M.B. (Ph.D) ** Salemi, A. (M.Sc.) **
*University of Mazandaran
**University of Mashhad*

Abstract

Growing population and improvement of living standards on one hand and limited drinking water sources on the other, have forced the related authorities to optimize and upgrade the existing water distribution systems. These networks are normally extensive and costly, in which a correct methodology to keep its performance at acceptable level in needed. In this article, the city of Fariman in the province of Khorassan was selected to carry out the above studies. In this research, the design parameters such as average per capita, water consumption daily water consumption, pick hourly and daily consumption, percentage of leakage and water meter calibration water experimentally investigated. Also the information on the physical condition of existing water distribution system and number of network breakdowns were gathered and analyzed. The obtained design data were implemented and compared with recommended Iranian code of practice, and showed good agreement.

* استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه مازندران
** استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
*** دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-محیط زیست

مقدمه

در حال حاضر، تمامی شهرهای ایران دارای شبکه بهداشتی توزیع آب می‌باشند. ولی این شبکه ها که قدمت بسیاری از آن‌ها از ٤٠ سال نیز تجاوز می‌کند، نیاز به بررسی و رسیدگی گسترده دارند. تعیین نقاط قوت و ضعف شبکه‌ها امری است که با انجام تحقیقات اصولی، مدون و برنامه‌ریزی شده به نتیجه خواهد رسید. بازسازی یا کالیبراسیون نقشه شبکه‌های موجود، ارزیابی میزان مصرف و تغییرات آن، تعیین مناطق ضعیف شبکه از لحاظ فشار (در زمان پیک مصرف یا در صورت بهره‌برداری از شیرهای آتش نشانی)، تلفات و اتفاقات و امثال آن از نمونه فعالیت‌های لازم برای این منظور می‌باشند. از طرفی اطلاعات اساسی مورد نیاز برای طراحی شبکه‌های آبرسانی مانند متوسط مصرف سرانه و ضرایب حداکثر روزانه و ساعتی، در کشور ما عمدتاً از منابع خارجی اقتباس می‌شود. این اطلاعات ممکن است برای تمام مناطق کشور ما صد در صد قابل تعمیم نباشد. لذا بازنگری با اندازه‌گیری مستقیم، برای مناطق مختلف کشور، در بعضی موارد به شدت احساس می‌شود. به همین منظور مطالعاتی برای بعضی از شبکه‌های آبرسانی شهرهای مختلف که در سال‌های اخیر بیشتر شامل وضعیت آب به حساب نیامده می‌باشد، صورت پذیرفته است [۱]. در این مقاله اندازه‌گیری‌های صورت گرفته برای شبکه آبرسانی شهر فریمان ارائه و نتایج آن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

شبکه آبرسانی شهر فریمان

شهرستان فریمان در شمال شرقی شهر مشهد واقع شده و از جنوب غربی به سمت شمال شرقی دارای شیب نسبتاً ملایم یک درصدی می‌باشد. شبکه آبرسانی شهر فریمان که حدود ٤٠ سال پیش با استفاده از آب قنات فعالیت خود را آغاز کرده، اکنون با ۸ حلقه چاه، ٦٠ کیلومتر طول شبکه و یک مخزن ذخیره ۵۰۰۰ مترمکعبی دارای ٦۵۰۰ مشترک می باشد که شرکت آب و فاضلاب فریمان آن را به ٦ منطقه تقسیم نموده است. در سال ۱۳۷۵ جمعیت این شهر ۲٦۹٦٦ نفر بوده است. محاسبات جمعیتی برای سال۱۳۸۰، جمعیت شهر را ۲۹٤۰۰ نفر نشان می‌دهد[۲].

مصرف سرانه آب

محاسبه سرانه مصرف آب

سرانه مصرف خانگی : با نمونه‌گیری تصادفی از ۵ درصد مشترکین خانگی که حدود ۳۰۰ نمونه را شامل می‌شود، و تعیین مصرف سرانه برای هر مورد، میانگین مصرف سرانه خانگی در سه سال متوالی محاسبه گردید. نتایج به دست آمده برای مصرف سرانه خانگی و نیز مصرف مشترکین خانگی در جدول ۱ خلاصه شده است [۳]. همان طور که از جدول مذکور پیداست، متوسط سرانه در سه سال۷۷، ۷۸ و ۷۹ برابر ۱۳۱/٦ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز می‌باشد.

سرانه مصرف تجاری: همانند تعیین مصرف سرانه خانگی، میانگین مصرف سرانه تجاری نیز با نمونه‌گیری از ۵ درصد مشترکین (معادل ١٦ مشترک) انجام شد که نتایج آن نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به میانگین ۳٦۹/۸ لیتر در روز که برای هر واحد تجاری به دست آمده و نیز با توجه به جدول ۱ و تعداد ۳۷۳ مشترک تجاری شبکه و جمعیت ۲۹٤۰۰ نفر محاسبه شده برای سال ۱۳۸۱، سرانه مصرف تجاری به ازای هر نفر ٤/۷ لیتر خواهد شد.

سرانه مصارف عمومی و صنعتی : کلیه مصارف عمومی اعم از ادارات، سازمان‌ها، اماکن مذهبی و... و مصارف صنعتی، بر اساس اطلاعات شرکت آب و فاضلاب خراسان، ۲۷۰۸۳۲ متر مکعب در سال بوده که سرانه هر نفر ۲۵/۲٤ لیتر در روز را نتیجه می‌دهد.

سرانه مصرف فضای سبز: با اندازه‌گیری به عمل آمده، مصرف ۱۲/۵ هکتار فضای سبز شهر فریمان در یک روز،۲۸٤/۱۷ متر مکعب به دست آمده است. بر این اساس سرانه مصرف فضای سبز ۹/٦۷ لیتر در روز بالغ می‌گردد. این درحالی است که شهر فریمان در منطقه پنج آب و هوایی، یعنی منطقه مدیترانه ای با باران بهاره، واقع شده و مصرف روزانه فضای سبز برای این مناطق ٤ تا ۱۰ لیتر در روز به ازای هر متر مربع در نظر گرفته شده است[۳].

سرانه نشت شبکه : در بخش آب به حساب نیامده، اشاره خواهد شد که نشت کل شبکه کمتر از ۲۰٪ می‌باشد. لذا درصد نشت همان ۲۰٪ در نظر گرفته می‌شود [۳].

از مجموع مصارف فوق، متوسط سرانه مصرف در شهر فریمان برابر ۲۰۵/۵ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز به دست می آید.

تغییرات مصرف

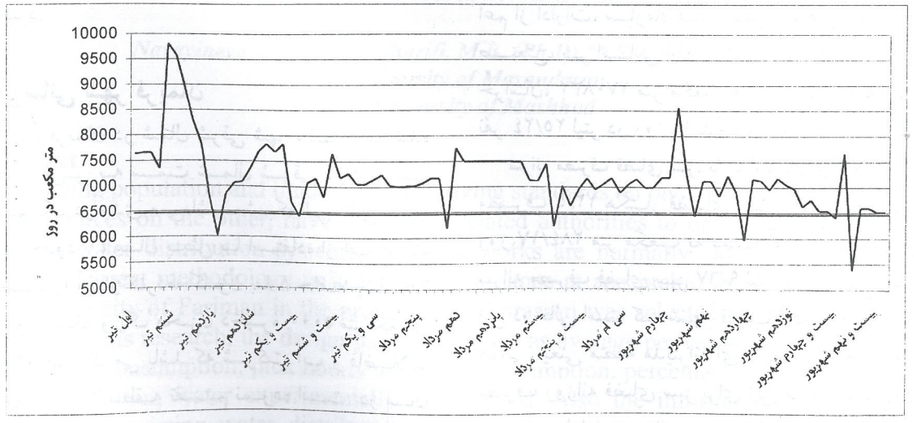
تغییرات روزانه مصرف: به منظور تعیین نحوه تغییرات روزانه مصرف آب در شهر فریمان، قرائت کنتور چاه‌ها در شش ماهه اول سال ۸۰ انجام شد که منحنی تغییرات روزانه مصرف در ماه‌های پرمصرف تیر، مرداد و شهریور در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به ارقام ثبت شده، متوسط مصرف روزانه، ٦٤٢٣/٣ متر مکعب به دست آید و حداکثر مصرف روزانه، ۹۸۱۰ متر مکعب می‌باشد که در روز پنجم تیرماه اتفاق افتاده است. به این ترتیب می‌توان حداکثر مصرف روزانه (C_1) را با تقسیم حداکثر مصرف روزانه به متوسط مصرف روزانه تعیین نمود:

C_1=۱/۵۳

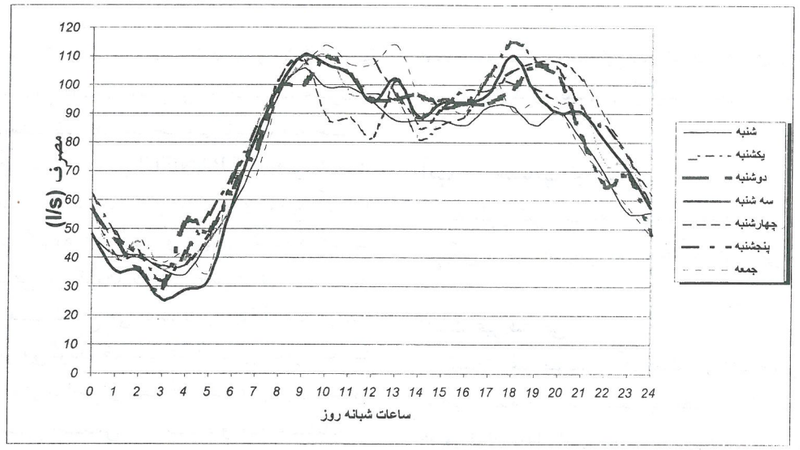
توضیح این نکته ضروری است که، نسبت به دست آمده فوق، برای شش ماه اول سال بوده و تعمیم آن برای کل سال با قدری خطا همراه خواهد بود. ضمن این که با توجه به فرهنگ کشور ما که مصرف آب در اواخر اسفند ماه به طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند، ضریب فوق می‌تواندتحت تاثیر قرار گیرد.

جدول ۱- نتایج نمونه گیری برای مصرف خانگی و تجاری

سال	مصرف خانگی		مصرف تجاری	
	میانگین مصرف سرانه خانگی (l/d)	میانگین مصرف مشترکین‌خانگی (l/d)	میانگین مصرف سرانه مشترکین واحد تجاری (l/d)	میانگین مصرف سرانه مشترکین تجاری (l/d)
۱۳۷۷	۱۲۸	٦٦٨/٢	۳۹۷/۸	۳۹۷/۸
۱۳۷۸	۱۳۵/۷	٦٨٩/٥	۳۷۸	۳۷۹
۱۳۷۹	۱۳۱/۱	٦٨٢/٧	۳۳۵	۳۳۵
میانگین	۱۳۱/٦	٦٨٠/١	۳٦۹/۸	۳٦۹/۸



شکل ۱- تغییرات مصرف روزانه آب شهر فریمان در طول تابستان



شکل۲-تغییرات لحظه‌ای مصرف شهر فریمان در طول هفته آخر اردیبهشت ماه ۱۳۸۰

تغییرات ساعتی مصرف: نحوه تغییرات ساعتی مصرف آب در شهر فریمان، از طریق آزمایش ٢٤ ساعته به مدت یک هفته از بیست وچهارم تا سی اردیبهشت ماه ۱۳۸۰ اندازه‌گیری و نتایج به دست آمده در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این منحنی‌ها ضریب حداکثر مصرف ساعتی (C_2) برای روز جمعه که بیشترین تغییرات را داراست، از تقسیم حداکثر مصرف ساعتی (١١٣/٩٤ l/d) بر متوسط مصرف روز مذکور (۷۸/۱۰ l/d) به دست آمده و برابر خواهد بود با :

C_2 =۱/٤٦

لازم به ذکر است که اگر آزمایش فوق در پرمصرف‌ترین روزهای سال (برای شهر فریمان تیر ماه) صورت می گرفت، ضریب فوق با تعریف آن تطابق بیشتری داشت، ولی انجام آن در ماه ذکر شده در این تحقیق، به دلیل محدودیت زمانی، میسر نبوده است. به عبارت دیگر فرض گردیده که نحوه توزیع مصرف ساعتی در روزهای مختلف سال یکسان می باشد.

مدل‌سازی شبکه آبرسانی شهر فریمان

تهیه مدل واقعی شبکه آبرسانی، برای انجام مطالعات و عملیات مختلف بهره برداری مانند مکان یابی شکستگی‌ها (نشت‌یابی)، مدیریت فشار شبکه، تعیین استراتژی‌های بهره برداری و ... ضروری است. به منظور تهیه مدل واقعی و انطباق آن با واقعیت موجود مدل مورد نظر باید کالیبره گردد. به طور کلی هدف از مدل‌سازی شبکه‌های توزیع آب، درک کامل‌تر عملکرد شبکه در وضعیت موجود است، به طوری که بتوان با آشکار نمودن رفتار هیدرولیکی شبکه ضمن پیش بینی مشخصه های کمی و کیفی آب، عملیات اصلاح و بهسازی را به نحو موفقیت آمیزی به مرحله اجرا درآورد[٤].

به طور کلی مدل‌سازی شبکه های موجود شامل مراحل مطالعات شبکه ، مطالعات نیاز آبی، اندازه‌گیری‌های محلی و کالیبره نمودن مدل می‌باشد.

انجام کالیبراسیون شبکه، نیازمند نرم افزاری است که بتواند شبکه را به طور دینامیکی شبیه سازی کند. از شبیه‌سازی دینامیکی می‌توان برای دستیابی به مقادیر دبی و فشار بین ساعات حداکثر و حداقل جریان استفاده نمود. در شبیه‌سازی دینامیکی یا دوره گسترش یافته، جریان‌های متفاوتی در طول فواصل زمانی متعدد، با این فرض که دبی و فشار در هر فاصله زمانی ثابت باشند، شبیه‌سازی می‌شوند. به این منظور در این تحقیق از نرم افزار EPANET2 که چنین قابلیت‌هایی را داشته و کاربری آن نیز نسبتاً ساده می‌باشد، برای کالیبراسیون شبکه استفاده شده است.

برای مدل‌سازی شبکه آب موجود شهر فریمان، کلیه لوله‌های با قطر بزرگتر از ۱۰۰ میلی‌متر و بعضی لوله‌های کوچک‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر که در حلقه‌های اصلی شبکه موجود بودند، در نظر گرفته شدند. به این ترتیب مدلی

با ۱۷۰ شاخه لوله و ۱۳۲ گره حاصل گردید و مشخصات آن‌ها که عمدتاً شامل طول، عمر لوله، ضریب هیزن ـ ویلیامز و تعداد مشترکین هر شاخه می‌باشد، به عنوان اطلاعات ورودی به نرم‌افزار EPANET2 معرفی شدند (شکل ۳). با تعیین تعداد مشترکین هر لوله و توزیع آن به نسبت مساوی بر گره‌های ابتدا و انتهای شاخه، دقت برآورد دبی مصرفی در گره‌ها که در روش‌های سنتی به کمک تراکم جمعیت توزیع می‌شود، بسیار بالا رفته و به واقعیت نزدیک‌تر می‌گردد. ضریب هیزن ـ ویلیامز نیز با توجه به عمر لوله از مراجع و کتب طراحی و نیز بر اساس قضاوت مهندسی حدس زده شده و با استفاده از کالیبراسیون مدل تصحیح گردید.

مرحله دوم مطالعات، مربوط به نیاز آبی است که در آن باید تغییرات مصرف را به صورت لحظه‌ای (ساعتی) به دست آورد، تا امکان شبیه‌سازی دینامیکی و کالیبراسیون شبکه فراهم شود. به این منظور مصرف لحظه‌ای کل شهر(دبی خروجی ازمخزن ذخیره) در فواصل زمانی نیم ساعته اندازه‌گیری وبه نسبت تعداد مشترکین هر گره در شبکه به عنوان دبی مصرفی آن گره اعمال گردید.

مرحله سوم که اندازه‌گیری‌های محلی را شامل می‌شود، با توجه به امکانات موجود، همزمان با اندازه‌گیری مصرف کل شهر به نحوی که اشاره شد، فشار تعدادی از گره‌های شبکه (بیش از ۳۰ درصد) اندازه‌گیری و ثبت گردید.

در مرحله کالیبراسیون مدل، شبکه توسط نرم‌افزار EPANET2 به طور دینامیکی تحلیل شده، فشارهای محاسبه شده با فشارهای گره‌های متناظر اندازه‌گیری و مقایسه می‌گردند. چنانچه این مقادیر اختلاف فاحشی داشته باشند، با تغییر ضرایب هیزن ـ ویلیامز لوله‌های مؤثر در فشار گره‌های مورد نظر، نتایج اصلاح می گردد. این عملیات تا زمانی ادامه می یابد که مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده تا حد قابل قبولی به یکدیگر نزدیک شوند.

کشف دو شیر بسته در مسیر اصلی‌ترین لوله شهر که باعث عبور جریان از یک مسیر طولانی و در نتیجه ایجاد افت انرژی بالا می‌شدند، از نتایج جالب کالیبراسیون این شهر بود. مقایسه بین فشار های محاسبه شده و اندازه‌گیری شده توسط نرم افزار EPANET2 در جدول ۲ ارائه شده است. ضریب همبستگی بین اعداد فوق برابر ۰/۹۰۷ به دست می‌آید که نشان از نزدیکی مدل با واقعیت دارد.

آب به حساب نیامده

به طور کلی آب به حساب نیامده در دو بخش تلفات فیزیکی و غیر فیزیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

تلفات غیر فیزیکی

تلفات غیر فیزیکی، آن بخش از آب مصرفی است که به دلیل عدم مدیریت دقیق بر مصرف آب به وجود می‌آید، که می‌توان آنها را در سه دسته مورد بررسی قرار داد :

تلفات آب ناشی از عدم دقت کنتور مشترکین : تلفات ناشی از عدم دقت کنتور مشترکین با تعیین ضریب تصحیح کنتورها، CF[1] ، به دست می آید که برابر با نسبت مصرف واقعی مشترکین به مصرف تعیین شده توسط کنتور مشترکین می‌باشد.

برای تعیین ضریب تصحیح کنتور مشترکین شبکه آب شهر فریمان، از ۵ کنتور آلمانی به عنوان کنتور مبنا استفاده شد که ضریب تصحیح کنتورهای مذکور از طریق توزین مقدار آب عبوری از کنتور، مشخص گردیدند.

توصیه بانک جهانی در مورد ضریب تصحیح متوسط کنتور مشترکین، تعیین ضریب تصحیح کنتورها در دو دبی حداکثر و حداقل به صورت آزمایشگاهی، و محاسبه میانگین وزنی آن‌ها به نسبت درصد مصارف حداکثر (مصارف بالا) و حداقل (مصارف پایین) از کل مصرف مشترک می‌باشد. که به دلیل کمبود اطلاعات در مورد فرهنگ مصرف مردم شهر فریمان و سهم مصارف بالا و پایین از کل مصرف مشترک، میسر نگردید ولی با نصب کنتورهای مبنا به طور سری با کنتور مشترکین، به مدت چند روز در ورودی انشعابات، تمامی مصارف کم و زیاد مشترکین از دو کنتور عبور کرده و می‌توان گفت CF حاصل از این آزمایش به واقعیت بسیار نزدیک است.

ضریب تصحیح متوسط کنتور مشترکین شهر فریمان که غالباً از نوع آبفر می باشند، ۱/۰۲۱ به دست آمد. یعنی کنتورهای موجود به طور متوسط مصرف را ۲/۱۰۷ درصد کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهند.

[1] -Correction Factor

جدول۲- نتایج کالیبراسیون شبکه آبرسانی شهر فریمان

شماره گره	میانگین فشار اندازه گیری شده (m)	میانگین فشار محاسبه شده (m)	متوسط خطا	شماره گره	میانگین فشار اندازه گیری شده (m)	میانگین فشار محاسبه شده (m)	متوسط خطا
۱۱	۲٤	۲٦/۱۳	۲/۱۲٦	۷٤	۳۳	۳۲/۷٤	۰/۲٦۲
۱۷	۲۵	۲۵/۷۸	۰/۷۷٦	۷۱	۲۹	۳۲/۱۷	۳/۱٦۸
۱٦	۲۷	۲۷/۸۲	۰/۸۱۷	۹۹	۳٦	۳٦/۸۰	۰/۸۰۵
۲۲	۲۵	۲٤/۳٤	۰/٦٦۲	۹۷	۳۷	۳۸/۰۲	۱/۰۲۱
۵۲	۲٦	۲۷/٤۵	۰/٤۵۱	۹۰	۳۵	۳۸/٤۳	۳/٤۳۱
٦۵	۳۱	۳۰/۲٦	٤/۲٦۱	۸۵	۳٦	۳۹/۱۱	۳/۱۱۰
۹۲	۳۵	۲۹/۹۷	۱/۰۳۳	۸۷	٤۰	٤۱/۵۱	۱/۵۱۲
۹۱	۳٤	۲۸/۹۷	٦/۰۲۹	۱۱۳	۳۸	۳۹/۷۵	۱/۷۵۳
۱۰۹	۳۵	۳۱/۳۹	۲/٦۱٤	٤۳	۲۸	۲٦/۲۱	۱/۷۹٤
۱۱۰	۲۰	۳۳/۰۲	۱/۹۸۰	۲۷	۲٤	۲٦/۲۷	۲/۲۷۰
٤۱	۲٤	۱۹/۵۹	۰/٤۰۵	۳۷	۲۸	۲۸/٦۲	۰/٦۲۵
۵۸	۲٤	۲٦/٤۷	۲/٤٦۹	۳۸	۲٦	۲۵/٤۳	۰/۵٦۸
٦۰	۲٤	۲٦/۱٤	۲/۱٤۰	٤۲	۲۱	۲۱/۳٦	۰/۳٦٤
۵۵	۲۹	۲۷/٦۳	۱/۳۷۲	٤٤	۲۹	۳۱/٤۰	۲/۳۹۹
۵٤	۳۰	۲۸/٤۹	۱/۵۰۸	٤٦	۲٤	۳۰/۱۷	٦/۱۷۵
۸۰	۳۰	۳۲/۳۰	۲/۲۹۷	۲٦	۲٦	۲٤/۸٤	۱/۱۵۷
۷۸	۳۲	۳۲/۰۳	۰/۰۳٤	۲۵	۲۱	۲۳/۰۵	۲/۰٤٦
۷۷	۳٤	۳۲/۹٦	۱/۰٤٤	۲٤	۲٦	۲۵/٦۵	۰/۳٤٦
۷٦	۳۵	۳۲/۹۱	۲/۰۹۲	۵۷	۲۸	۲٦/۸۱	۱/۱۹۳
٦۷	۳۲	۳۱/۹۲	۰/۰۸۱	متوسط	۲۹/۳۳	۲۹/۸٤	۱/۷٤۸

کنتورهای آزمایش شده دارای عمر متفاوت ، از ۲٤ سال تا چند ماه، بوده و سعی شده که به طور مساوی از مناطق مختلف شهر انتخاب گردند. از میان کنتورهای آزمایش شده، به طور متوسط ضعیف‌ترین کنتور دارای ضریب تصحیح ۱/۱۵۸ می‌باشد که فقط چند ماه از نصب آن می‌گذرد و قوی‌ترین کنتور با ضریب تصحیح ۰/۹۹۸۵، حدود ۲ سال از عمر آن می‌گذرد.

تلفات آب ناشی از عدم دقت کنتور منابع تولید آب : ضریب تصحیح کنتور چاه‌ها که تنها منبع تولید آب شهر فریمان هستند، توسط یک کنتور مبنای ٦ اینچی از نوع نیمه مغناطیسی تعیین شده است. ابتدا CF کنتور مبنا با توزیز

آب تعیین گردید. سپس این کنتورها برای تعیین دقت کنتورهای حجمی چاه‌ها به کار گرفته شده که ضریب تصحیح متوسط کنتورهای مستقر در سر چاه‌ها ۱/۰۰۲۹ به دست آمده است.

تلفات آب ناشی از عدم کارآیی تأسیسات شبکه: برای اعمال مدیریت و کنترل مناسب بر شبکه، وجود تأسیسات سالم و مناسب ضروری است. به عنوان مثال، در موقع رفع اتفاقات، اگر شیرهای قطع و وصل به خوبی عمل نکنند، علاوه بر به وجود آمدن موانع اجرایی، ممکن است مقدار آب زیادی نیز به هدر رود که برای پایلوت انتخاب شده به دلیل عدم اطلاعات کافی مد نظر قرار نگرفته است.

تلفات فیزیکی

به آن بخش از تلفات که به صورت نشت از تأسیسات شبکه آبرسانی مثل خطوط لوله انتقال و توزیع، شیرآلات، ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن و یا به صورت نشت ناشی از شکستگی لوله‌ها و امثال آن هدر می رود، تلفات فیزیکی اطلاق می‌شود.میزان نشت ارتباط مستقیم با فشار شبکه دارد. هم‌چنین دقت در نحوه اجرای شبکه، عمر، جنس و نوع قطعات و لوله ها نیز در نشت مؤثرند.

میزان تلفات فیزیکی را به دو صورت کلی و منطقه‌ای می‌توان اندازه‌گیری کرد و اساس آن بر تعیین تفاضل مقدار تولید و مصرف آب است. با اندازه گیری نشت به روش منطقه‌ای ، که به روش حداقل جریان شبانه (MNF[1]) معروف است، و تعیین تلفات مخصوص منطقه (L_s) می‌توان برنامه نشت‌یابی دقیق به کمک وسایل و روش‌های مناسب را طراحی کرد[۵].

تعیین تلفات فیزیکی به روش حداقل جریان شبانه (MNF) و با استفاده از مفهوم FAVAD[1] :

ابتدا منطقه مورد نظر به طور کامل از دیگر مناطق شبکه جدا (ایزوله) شده و تنها یک ورودی و یک خروجی برای منطقه در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب دبی ورودی به منطقه در ساعات نیمه شب اندازه‌گیری می‌شود. حداقل جریان در این ساعات، حداقل جریان شبانه نامیده می‌شود. در این حالت تلفات فیزیکی منطقه به صورت زیر محاسبه می شود[۱] :

$$UFWN = MNF - LOUC - MCC \qquad (۱)$$

که در آن UFWN تلفات فیزیکی منطقه (l/s)، MNF جریان حداقل شبانه (l/s) و LOUC مصرف معقول شبانه (l/s) بوده و برابر مجموع مصارف شبانه مشترکین می‌باشد به طوری که به عنوان نمونه این مقدار در کشور انگلستان برای هر مشترک ۱/۷ لیتر در ساعت در نظر گرفته می‌شود.MCC نیز مصرف شبانه مشترکین پرمصرف (l/s) می‌باشد.

در صد نشت حاصل از تلفات فیزیکی شبانه، به درستی گویای نشت منطقه در کل شبانه روز نیست. بر اساس مفهومFAVAD می‌توان نشت کل شبانه روز را متناسب با متوسط فشار کل شبانه روز به متوسط فشار شبانه به دست آورد :

$$L_1 = L_0 \times (\frac{P_1}{P_0})^N \qquad (۲)$$

که در آن L_0 و L_1 نشت در دو فشار مختلف، P_0 و P_1 فشار شبانه منطقه در دو حالت متفاوت و N نیز ضریبی که بر اساس تحقیقات لامبت[2] به طور متوسط برابر یک به دست آمده است[٦].

الف) تعیین نشت کل شبکه: مصارف لحظه‌ای در طول یک هفته در شبکه آبرسانی فریمان در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است. حداقل مصرف شبانه کل شهر در ساعات ۲ الی ۳ صبح روز سه شنبه ۲۵/۸ و متوسط مصرف در طول این روز ۷۸/۹ لیتر در ثانیه است.

از آنجا که در این شهر صنایع عمده‌ای که از شبکه آبرسانی تغذیه کنند وجود ندارد، لذا : MCC = ۰

اگر مصرف معقول شبانه ۱/۵ لیتر در ساعت در نظر گرفته شود، برای ٦۵۰۰ مشترک داریم :

LOUC = ۹۷۵۰ (l/h) = ۲/۷ (l/s)

در نتیجه : UFWN = ۲۳/۱ (l/s)

بنابراین درصد نشت شبانه :

L_n = ٪۲۹/۲۸

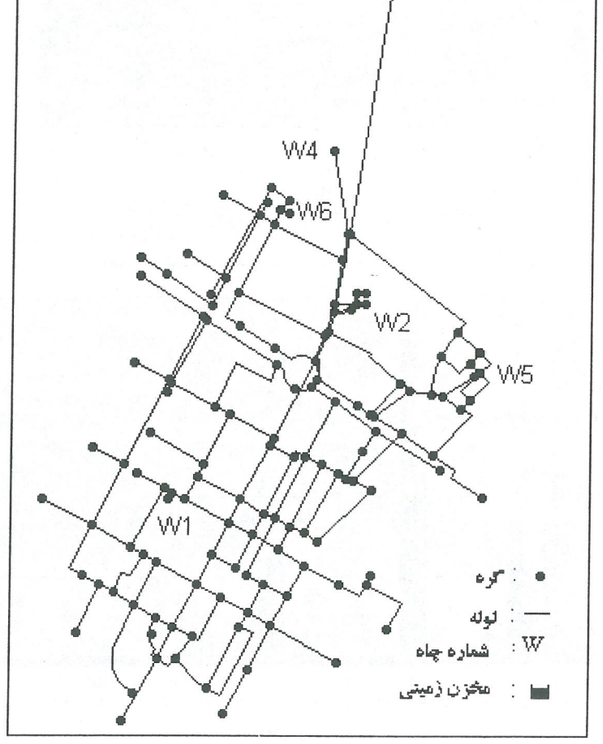
چون متوسط فشار شبانه کل شبکه ٤ اتمسفر و متوسط فشار کل شبانه روز ۲/۵ اتمسفر است، بر اساس مفهوم FAVAD درصد نشت کل شبکه در طول شبانه روز برابر خواهد بود با : L = ٪۱۸/۳

ب) تعیین نشت منطقه‌ای: دو منطقه برای اندازه‌گیری نشت در نظر گرفته شده است که نتایج آن‌ها به شرح زیر است :

منطقه ۲ مشترکین: این منطقه که عمر شبکه آن بیش از ۳۰ سال است، با حدود ۵۰۰ مشترک دارای ۷/٦٦ کیلومتر طول لوله (شامل ۵/٥٤ کیلومتر آزبست، ۲/۱۲ کیلومتر پلی‌اتیلن و ۰/۱۹ کیلومتر لوله فولادی) است. با ایزوله نمودن شبکه در منطقه مورد نظر و نصب یک کنتور ٤اینچی نیمه مغناطیسی در ورودی منطقه، مصارف شبانه و مصرف کل یک شبانه روز این منطقه اندازه‌گیری شد. منحنی مصرف شبانه این منطقه در شکل ٤ ارائه گردیده است. از منحنی مذکور معلوم می شود که حداقل مصرف شبانه منطقه ٤/۰۵۷ متر مکعب در ساعت است. از طرفی مصرف کل شبانه روز منطقه نیز ۳۹٤/۵ متر مکعب می‌باشد، اگر مصرف معقول شبانه ۱/۵ لیتر در ساعت برای هر مشترک فرض شود، با توجه به میانگین فشار شبانه ۵ اتمسفری و متوسط فشار شبانه روز ۳/۳ اتمسفر منطقه با استفاده از مفهوم FAVAD درصد نشت این منطقه در طول شبانه روز برابر خواهد بود با :

L = ٪۱۳/۲۸

منطقه ٤ مشترکین : این منطقه با عمر ۱۵ سال، دارای ۳٤۰ مشترک و ۵/۲٤ کیلومتر طول لوله (شامل ٤/۷ کیلومتر آزبست و ۰/٥٤ کیلومتر پلی‌اتیلن) می باشد. مانند مورد قبلی، مصارف شبانه این منطقه نیز اندازه‌گیری و در شکل ۳ ترسیم شده است. حداقل مصرف شبانه این منطقه ۲/۸۹۸ متر مکعب در ساعت و مصرف کل شبانه روز ۳۰٦



شکل ۳- نقشه شماتیک شبکه آبرسانی شهر فریمان(وضعیت موجود)

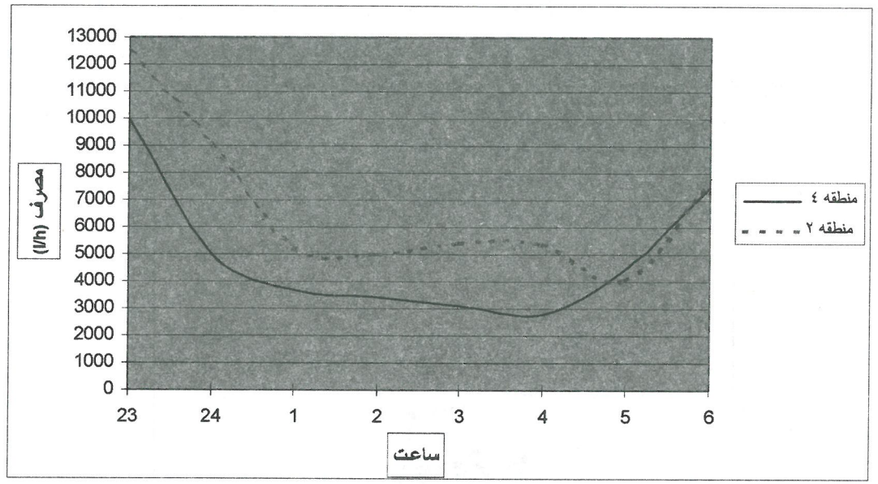
[1] –Minimum Night Flow
[1] Fixed and Variable Area Discharged
[2] Lambet

متر مکعب اندازه گیری شده است. متوسط فشار شبانه منطقه ۳/۱ اتمسفر و متوسط فشار شبانه روز ۳/۷ اتمسفر است. با فرض مصرف معقول شبانه ۱/۵ لیتر در ساعت برای هر مشترک، درصد نشت این منطقه در طول شبانه روز برابر است با : L = ٪۱۵/۷

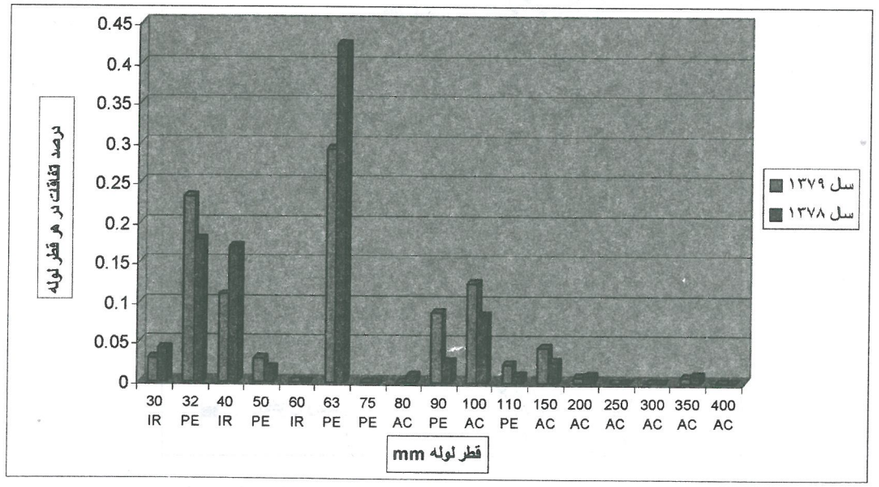
مقایسه نشت شبانه مناطق فوق، برخلاف تصور، نشان دهنده نشت کمتر در منطقه قدیمی است. دلیل این مطلب را می‌توان به اجرای دقیق‌تر لوله‌گذاری و حتی جنس بهتر لوله‌های قدیمی ارتباط داد.

بررسی اتفاقات شبکه

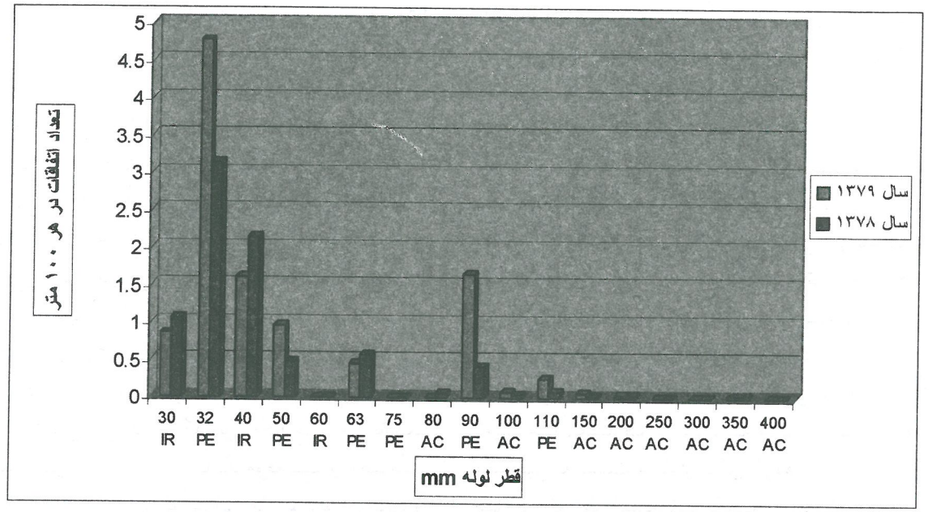
به منظور بررسی کیفیت لوله‌های به کار رفته در شبکه اصلی آبرسانی شهر فریمان، درصد و تعداد نشت یا شکستگی لوله‌های دارای قطر و جنس مختلف، نوع اتفاقات و علت نشت یا شکستگی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. آمار تهیه شده در این زمینه در شکل‌های ۵، ٦ و۷ ارائه شده است.



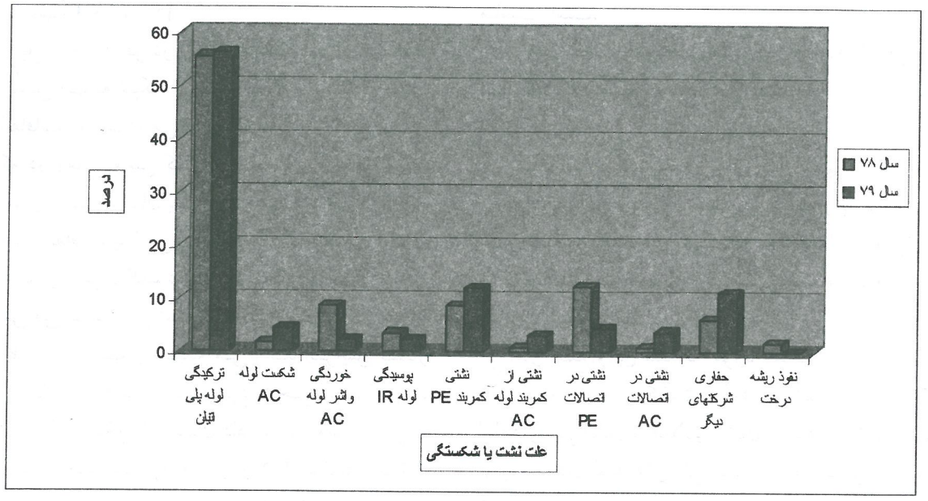
شکل٤-تغییرات مصرف شبانه مناطق مورد مطالعه نشت شبانه شبکه آبرسانی شهر فریمان



شکل۵- درصد اتفاقات لوله های اصلی در دو سال متوالی شبکه آبرسانی شهر فریمان



شکل ٦- تعداد اتفاقات در هر ۱۰۰ متر لوله در دو سال متوالی شبکه آبرسانی شهر فریمان



شکل ۷- درصد اتفاقات برحسب علت نشت یا شکستگی لوله در دو سال متوالی در شبکه آبرسانی شهر فریمان

آمارها گویای درصد بالای اتفاقات در لوله‌های پلی‌اتیلن و فولادی شبکه آبرسانی شهر فریمان می‌باشد. دلیل این موضوع برای لوله‌های پلی اتیلن را عمدتا می‌توان به تولید چنین لوله‌هایی به طور وسیع در سطح کشور بدون رعایت استاندارد های لازم، کم دقتی در خرید لوله‌های با کیفیت مناسب، اجرای نامناسب لوله‌گذاری و عدم استفاده از خاک سرندی و متراکم نمودن آن و در لوله‌های فولادی نیز به خوردگی و فرسودگی آن‌ها ارتباط داد. بنابراین توصیه می‌شود تمامی لوله‌های فولادی اعم از فرعی و لوله انشعاب، تعویض شده و در استفاده از لوله‌های پلی اتیلن دقت بیشتری به عمل آید.

نکته دیگر در بررسی اتفاقات فریمان، افزایش تعداد اتفاقات (اعم از لوله های اصلی، فرعی و انشعاب) در سال‌های ۷۹ و ۸۰ نسبت به سال‌های گذشته است. یکی از

دلایل این مسأله خارج کردن منبع هوایی آجری ۲۵۰ مترمکعبی از مدار شبکه است. این منبع در گذشته حکم منبع متعادل ساز را داشته و افزایش فشار را کنترل می‌کرده است. علاوه بر این، اقدامات مدیریتی برای کنترل فشار شبانه در سال‌های قبل اجرا می‌شد که اکنون انجام نمی‌شود. در اقدامات مدیریتی مذکور شیر خط انتقال از مخزن، در ساعات آخر شب نیمه بسته و در ساعت‌های اولیه صبح روز بعد باز می‌شد که در این حالت با توجه به جریان حداقل شبانه و افت فشار ناشی از آن، فشار شبانه شبکه کاهش و نتیجتاً حوادث شبکه نیز کاهش می‌یافت.

لازم به ذکر است که مدیریت فشار با اعمال مدیریت بر شیرهای کاهش دبی در شبکه نیز، امکان‌پذیر می‌باشد. برای استفاده بهینه از این روش باید موقعیت و وضعیت بهینه شیرهای مزبور را پیدا نمود. این کار توسط جویت و زو[1]، استرلینگ و بارگیلا[2] و نیز ویراوامورثی و لامبرس[3] انجام شده است [۷، ۸ و ۹].

نکته قابل توجه دیگر در زمینه اتفاقات، اتصال مستقیم چاه‌های تأمین آب به شبکه از طریق پمپاژ می‌باشدکه سبب افزایش اتفاقات در شبکه می‌شود. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که در زمان روشن کردن چاه‌های داخل شهر، شبکه آبرسانی شهرفریمان به خصوص در حوالی چاه مذکور تعداد اتفاقات بالا می‌رود. این مسأله زمانی اتفاق می‌افتد که برای جبران کمبود آب، پمپ‌های چاه‌های داخل شهر روشن می‌شوند. عدم استفاده از منبع هوایی در نقطه اتصال خط رانش پمپ و شبکه می‌تواند افزایش فشار زیادی را ایجاد کند. فشار سنجی، در محل اتصال چاه شماره ۵ با شبکه (شکل ۳)، نشان داد که با روشن کردن پمپ مربوط به چاه مذکور فشار از ۲/۵ اتمسفر به۳/۲ اتمسفر افزایش می‌یابد. افزایش فشار ناشی از روشن کردن پمپ چاه شماره ٦، در نقطه اتصال به شبکه نیز، از۲ اتمسفر به۲/٤ اتمسفر است.

نتیجه گیری

تجزیه وتحلیل شبکه آبرسانی شهر فریمان و اندازه‌گیری‌های به عمل آمده برای شهر مذکور نتایج زیر را در بر داشته است:

نتایج اندازه‌گیری‌های به عمل آمده برای مصرف سرانه آب، ضرایب حداکثر روزانه و ساعتی شهر فریمان، مقادیر پیشنهادی مرجع [۳] برای این منطقه و مناطق مشابه را مورد تائید قرار می‌دهد.

نتایج کالیبراسیون شبکه آبرسانی شهر فریمان مؤید نقص و ناکارآمدی نقشه‌های موجود است. این نواقص که شامل اطلاعات فیزیکی و هیدرولیکی می‌باشد، امکان بهره‌برداری مناسب از شبکه ها و توسعه آن‌ها را با مشکلات عدیده‌ای مواجه می‌کند. لذا توجه مسؤلین مربوطه به رفع این معضل بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

روش استفاده از تعداد مشترکین هر شاخه لوله برای تعیین میزان مصارف گرهی، به صورت تقسیم مصرف مشترکین به نسبت مساوی برای گره‌های ابتدا و انتها (در صورتی که قطر انشعابات یکسان باشد)از دقت خوبی برخوردار بوده و برای مدل‌سازی شبکه های موجود مناسب است.

بررسی دقت کنتورهای مشترکین فریمان (از نوع آبفر) نشان داد که متوسط خطای این کنتورها ۲ درصد بوده و در اندازه‌گیری‌ها قابل اعتماد می باشند.

نشت اندازه گیری شده برای کل شهر فریمان نشان می‌دهد که با وجود فشار کافی در شبکه و با توجه به عمر بالای شبکه، تلفات این شبکه در حد قابل قبولی بوده و می‌تواند دلیل بر اجرای خوب شبکه و رفع به موقع اتفاقات شبکه باشد.

آمار جمع‌آوری شده در مورد اتفاقات شبکه آبرسانی شهر فریمان برتری کیفیت لوله‌های آزبست را نسبت به لوله‌های پلی‌اتیلن و فولادی نشان می‌دهد. بالا بودن تعداد تولیدکنندگان لوله های پلی اتیلن، امکان کنترل و بازرسی کیفیت تولیدات آن‌ها را کاهش داده است. علیرغم ساده بودن عملیات اجرای این لوله‌ها، اعمال استانداردهای لوله‌گذاری در این نوع لوله‌ها بسیار حساس‌تر است. لذا کم دقتی در اجرای لوله‌گذاری می تواند دلیل دیگر این مشکل باشد.

اجرای مدیریت فشار با استفاده از مخازن هوایی و متعادل‌ساز و عدم اتصال مستقیم خط رانش پمپ‌ها به شبکه به کمک مخزن هوایی و تغییر وضعیت شیرهای خط انتقال در ساعات کم مصرف از اقداماتی است که می‌تواند در کاهش تلفات مؤثر باشد.

[1] - Jwitt&Xu
[2] - Sterling & Bargiela
[3] - Vairavamoorthy & Lumbers

منابع و مراجع

۱- امینی، پ.، (۱۳۸۰). *" بررسی آب به حساب نیامده "*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران.
۲- سالمی، ا.، (۱۳۸۱)."*بهینه سازی نحوه توزیع و مصرف آب شرب شهرهای خراسان (پایلوت شهر فریمان)*"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران.
۳-سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور،(۱۳۷۱). «*مبانی و ضوابط طراحی طرح‌های آبرسانی شهری*»، نشریه ۳-۱۱۷ ، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی.
٤- میرصادقی، ج.،(۱۳۷۷)، « *مدیریت کمی و کیفی پویا در شبکه های آب شهری*»، مجله آب و محیط زیست، شماره ۲۷، ص ۲۳-٦ .
٥- والیر، و.د.، (۱۳۷۸)، « *رهنمودهایی برای سیاست‌گذاری و اجرای روش‌های عملی کنترل و کاهش آب به حساب نیامده*»، دفتر مطالعات کاهش آب به حساب نیامده، شرکت مهندسی آب وفاضلاب کشور.
٦- تابش، م.، (۱۳۷۸) « *مبانی تئوریک نشت در شبکه های توزیع آب شهری*»، مجله آب و محیط زیست، شماره ۳۷، ص ١٦-۱۰.
7- Jowitt, P. W., and Xu, C., (1990). *"Optimal Valve Control in Water Distribution Networks"*, J. of Water Res. Plann.& Manag., ASCE, Vol.116, No.4, pp:455-472.
8- Sterling, M., and Bargiela, A., (1984). *"Leakage Reduction by Optimised Control of Valve in Water Networks"*, Trans. Inst. Meas. Control, 6, pp:293-298.
9- Vairavamoorthy, K., and Lumbers, J., (1998). *"Leakage Reduction in Distribution Systems : Optimal Valve Control"*, J. of Water Hyd. Eng., ASCE, Vol.124, No.11, pp:1146-1154.