



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



مدیریت مصرف و هدررفت آب از طریق مدیریت فشار در شبکه (مطالعه موردی منطقه ۲ آب و فاضلاب شهر تهران)

فرهاد یکه یزدان دوست

دانشیار گروه مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

yazdandoost@kntu.ac.ir

مهديه شفیعی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mahdieh.shafiei@kntu.ac.ir

اردلان ایزدی

دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

a.izadi@mail.kntu.ac.ir

خلاصه

یکی از راهکارهای مدیریت مصرف در شبکه آبرسانی شهری، کاهش هدررفت آب و یا نشت می باشد. مدیریت فشار به دلیل صرفه اقتصادی، سرعت اجرای بالا و سایر پیامدهای مثبت آن، از دیرباز کاراترین گزینه جهت رسیدن به کاهش نشت محسوب میگردد. شبکه آبرسانی موجود در منطقه ۲ آب و فاضلاب تهران به علت وسعت، جمعیت و قدمت خود یکی از مناطق حساس برای مدیریت فشار قلمداد میگردد. جهت مدیریت فشار در این منطقه، ابتدا محدوده عملکردی مخزن شماره ۷۱ شبکه تهران، در نرم افزار Epanet مدل سازی و سپس از طریق یکپارچه نمودن با کد متلب نوشته، میزان نشت تخمینی و نحوه توزیع آن در شبکه محاسبه گردید. در جهت اعمال مدیریت فشار در این منطقه سناریوهای مختلفی مورد ارزیابی واقع گردید و در نهایت با یافتن بهترین حالت تغییر در ورودی شبکه و همچنین استفاده بهینه و همزمان از تجهیزات کاهنده فشار میزان نشت نسبت به وضعیت موجود به میزان ۳۳ درصد بهبود یافت.

کلمات کلیدی: مدیریت فشار، منطقه ۲ آب و فاضلاب، هدررفت



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۱- مقدمه

سیستم های آبرسانی شهری اغلب جز منابع عرضه کننده آب به مصرف کنندگان محسوب می شوند. گاهی در برخی از شبکه های توزیع آب فشار بیشتر از فشار حداقل استاندارد جهت سرویس دهی مطلوب و تامین نیاز مصرف کنندگان می باشد. تحقیقات بین المللی در دو دهه اخیر نشان داده است که وجود هد فشار بسیار بالاتر از حداقل فشار لازم، میتواند تاثیرات منفی زیادی از جمله افزایش نرخ شکست لوله ها، افزایش پتانسیل مصرف آب، کاهش عمر تجهیزات و افزایش نرخ نشت در سیستم های توزیع آب شهری به همراه داشته باشد. بنابر مطالعات و تحقیقات گذشته، افزایش هد فشار در شبکه های توزیع آب میتواند منجر به افزایش نرخ نشت شود [۱]، به عقیده بسیاری همچون Gomes یک رابطه فیزیکی بین مقدار جریان نشت و فشار در شبکه های آبرسانی وجود دارد [۲]. Jowitt و Xu در سال ۱۹۹۰، Tucciarelli و همکاران در سال ۱۹۹۹، Reis و Chaudhry در سال ۱۹۹۹ و همچنین Ulanicka و همکاران در سال ۲۰۰۱ با توجه به تاثیر گذاری فشار به عنوان یک پارامتر مهم در میزان نشت، تکنیک هایی جهت به حداقل رساندن فشار ارائه کرده اند، یکی از این تکنیک ها استفاده از شیرهای کاهنده فشار در شبکه معرفی شده است [۳] [۴] [۵] [۶].

اهمیت نشت تنها به جنبه هدررفت آب خلاصه نمی شود بلکه علاوه بر جنبه اقتصادی یک دغدغه محیط زیستی و ایمنی و بهداشت است که امری ضروری برای رسیدن به توسعه پایدار به شمار می آید. در واقع میتوان گفت نشت باعث ناکارآمدی انرژی در شبکه های توزیع آب می گردد [۷]. میزان نشت در شبکه های آبرسانی در کشورهای مختلف در سراسر دنیا متفاوت است، برای مثال در کشوری مثل هلند با سیستم آبرسانی مناسب نشت حدود ۳ تا ۷ درصد است [۸] و در برخی از کشورهای کمتر توسعه یافته به ۵۰ درصد هم می رسد [۹]. در ایران هم مطالعاتی در این زمینه انجام شده است که از جمله ی آن می توان به پژوهش سلطانی اصل و فغفور مغربی در سال ۱۳۸۷ را اشاره کرد که با بهره گیری از روش های مدیریت فشار در شبکه آبرسانی منطقه سرافرازان مشهد، ضمن کاهش نشت به حدود ۳۵ درصد، توزیع فشار در شبکه را یکنواخت تر نمودند [۱۰]. جهانگیری و یارانی در سال ۱۳۹۱ کنترل هوشمند فشار توسط شیرهای فشار شکن را روشی مناسب برای مدیریت مصرف بهینه آب و کاهش قابل توجه نشت شبکه معرفی کردند، به طوریکه در این تحقیق با کاهش ۱۴/۲۳ درصد میانگین فشار، مقدار مترمکعب آب در سال صرفه جویی شده و ۲۷/۴۴ درصد از میزان نشت کاهش یافته است [۱۱].

بنابراین مدیریت فشار میتواند یکی از کاراترین روش های کاهش نشت در شبکه های توزیع شهری باشد. این روش مدیریتی بایستی به گونه ای انجام شود که علاوه بر کاهش نشت در شبکه آبرسانی، نیاز آبی مصرف کنندگان را نیز کاملاً تامین نماید. از آنجایی که گاهی مدیریت فشار با کاهش فشار در برخی مناطق همراه است، بایستی افت فشار به اندازه ای باشد که بتواند به خوبی تعادل میان مدیریت عرضه و تقاضا را محقق سازد.

در این تحقیق، به دلیل وسعت، جمعیت و قدمت شبکه آبرسانی در محدوده عملکردی مخزن ۷۱، منطقه ۲ آب وفاضلاب تهران، به عنوان پایلوت مطالعاتی جهت اجرای روشهای مدیریت فشار انتخاب گردیده است. روش های مدیریت فشار در این شبکه به نحوی به کار گرفته شده که علاوه بر کاهش نشت شبکه، دیماند مورد انتظار مصرف کنندگان به طور کامل تامین گردد.

۲- متدولوژی

باتوجه به اهمیت موضوع کاهش آب بدون درآمد و میزان نشت در شبکه آبرسانی شهری و مزایای اقتصادی مدیریت فشار،



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



لازم است که میزان فشار در شبکه آبرسانی محاسبه گردد و در نقاطی که فشار اضافی بسیار بیش از میزان حداقل استاندارد است با مدیریت صحیح و کارآمد شبکه، فشار کاهش یابد. در این پژوهش با استفاده از لینک کردن نرم افزار Epanet و Matlab میزان نشت محاسبه می گردد. روش استفاده شده جهت مدل سازی مصرف روش مبتنی بر فشار (PDD^۱) و روش مورد استفاده جهت مدل سازی نشت روش حداقل جریان شبانه می باشد [۱۲] که در زیر هریک از روش ها به طور مختصر توضیح داده شده است.

۱-۲- مدل سازی مصرف شبکه

یکی از روش های سنتی و رایج شبیه سازی شبکه آبرسانی روش مبتنی بر تقاضاست (DDA^۲) این روش برای شرایطی است که دیماندهای مورد انتظار در هر گره به طور کامل تامین گردد. چنانچه شرایطی مثل شکست در لوله و یا قطعی پمپ رخ دهد فشار در شبکه از حداقل فشار مرجع کمتر می شود در چنین شرایطی استفاده از روش مبتنی بر تقاضا نمیتواند شرایط واقعی شبکه را به درستی نشان دهد [۱۳]. در این مواقع از روش مبتنی بر فشار (PDD) استفاده می گردد در این روش که میزان مصرف گره ای به میزان فشار در همان گره وابسته است، شبیه سازی نتایجی واقع گرایانه تر دارد. مدل های مختلفی برای این نوع مدل سازی تامین مصارف پیشنهاد شده که در این تحقیق از روابط Wagner در سال ۱۹۸۸ [۱۴] (رابطه ۱-۲) استفاده شده است.

$$\begin{cases} Actual\ Demand = Nodal\ Demand & if & CPH \geq RPH \\ Actual\ Demand = Nodal\ Demand \times \left(\frac{CPH - MPH}{RPH - MPH}\right)^{0.5} & if & MPH < CPH < RPH \\ Actual\ Demand = 0 & if & CPH \leq MPH \end{cases} \quad (2-1)$$

در رابطه فوق Actual Demand دبی واقعی خروجی از گره در شرایط متفاوت فشاری، Nodal Demand دبی پایه مورد نیاز در گره، CPH^۳ هد فشاری محاسبه شده، RPH^۴ هد فشاری مرجع و MPH^۵ مینیمم هد فشاری می باشند.

۲-۲- مدل سازی نشت

مدل سازی نشت در گذشته به دو رویکرد شبیه سازی نشت از گره ها و نشت از لوله ها تقسیم شده است. در این تحقیق از ترکیب دو روش فوق که در سال ۲۰۰۹ توسط تابش و همکاران ارائه گردیده، استفاده شده است [۱۲]. برای محاسبه مقدار نشت شبانه در یک منطقه با استفاده از اندازه گیری جریان های حداقل شبانه، باید مقدار مصارف مجاز شبانه از مقدار کل جریان حداقل شبانه کسر نمود. در مواردی که اطلاعات قابل اعتماد کافی وجود نداشته باشد طبق آیین نامه ها و استانداردهای مختلف،

1 Pressure Dependent Demand
2 Demand-driven analysis
3 Calculated Pressure Head
4 Reference Pressure Head
5 Minimum Pressure Head

مقدار مصارف مجاز شبانه در حدود ۰/۶ لیتر به ازای هر نفر در هر ساعت در نظر گرفته می شود [۱۵]. لذا با توجه به موارد فوق الذکر، می توان مقدار نشت شبانه ($Q_{L,MNF}$) را با استفاده از رابطه ۲-۲ محاسبه نمود.

$$Q_{L,MNF} = MNF - Night\ Uses \quad (2-2)$$

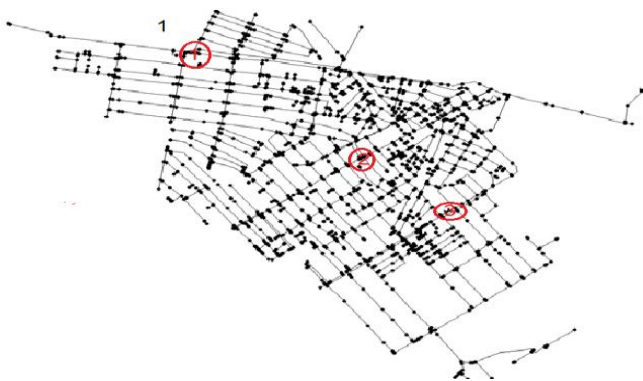
در رابطه فوق MNF جریان مینیمم شبانه و $Night\ Uses$ مقدار مجاز مصرف شبانه می باشند. برای پیش بینی تغییرات نشت با کنترل فشار، نیاز به رابطه ای است که نشت در هر نقطه از شبکه را به صورت تابعی از فشار در آن نقطه نمایش دهد، بنابراین با توجه به میزان نشت شبانه محاسبه شده میزان نشت در هر ساعت از شبانه روز ($Q_{L,t}$) با توجه به اطلاعات فشار طبق رابطه ۲-۳ محاسبه می گردد.

$$Q_{L,t} = Q_{L,MNF} \times \left(\frac{P_t}{P_{MNF}}\right)^N \quad (2-3)$$

در رابطه فوق P_t فشار متوسط شبکه در زمان t و P_{MNF} فشار متوسط در زمان جریان مینیمم شبانه می باشند.

۳- منطقه مورد مطالعه

شبکه آبرسانی مخزن شماره ۷۱ در قسمت شرقی تهران به دلیل فشار بالای شبکه و وجود سه شیر فشار شکن در سطح محدوده مطالعاتی جهت مدلسازی و بررسی تاثیر فشار بر میزان هدررفت نشت شبکه انتخاب شده است. این منطقه مطالعاتی مساحتی برابر با ۴۴۲۸۴۶۹ مترمربع و جمعیتی حدود ۶۹۵۱۸ نفر را داراست همچنین ارتفاع داخلی این مخزن ۶/۲ متر می باشد. شکل ۱ نشان دهنده جانمایی ساده ای از اجزای شبکه منطقه مورد را نشان میدهد که موقعیت هریک از فشار شکن ها در این شکل نشان داده شده است.



شکل ۱: شمای کلی شبکه آبرسانی منطقه مورد مطالعه



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



میزان افت هریک از فشارشکن ها (نقاط مشخص شده ۱ تا ۳ در شکل شماره ۱) به ترتیب برابر با ۲۵، ۲۳، ۳۰ است، که به ترتیب در حوالی بزرگراه وفادار، میدان رهبر و خیابان احسان قرار دارند، همچنین با بررسی طرح تفصیلی و تراکم شهری منطقه، تامین فشار عملکردی حداکثر چهار طبقه در بهره برداری شبکه به عنوان مینیمم فشار در شبکه لازم به تامین است که مطابق با نشریه ۱۱۷-۳ سازمان برنامه و بودجه [۱۶] معادل با فشاری در حدود ۲۶ متر آب بدست می آید.

۴- نتایج

۴-۱- ارزیابی وضعیت کنونی

همانطور که در قسمت متدولوژی عنوان شد، برای محاسبه نشت از تحلیل حداقل جریان شبانه از طریق لینک نرم افزار Epanet با Matlab استفاده شده است. با بررسی وضعیت موجود شبکه آبرسانی، حداقل فشار شبکه ۵/۸ متر در ساعت ۱۱ صبح و حداکثر فشار ۶۷/۷۱ متر در ساعت ۳ شب بدست می آید همچنین حداقل میزان مصرف شبانه ۰/۰۴۸ مترمکعب بر ثانیه در ساعت ۳ شب رخ میدهد و با فرض صحیح بودن مقدار ۰/۶ لیتر به ازای هرنفر در هر ساعت میزان مصرف مجاز شبکه ۰/۰۱۱ مترمکعب بر ثانیه بدست می آید. در این حالت میزان نشت شبانه ۰/۰۳۶ مترمکعب بر ثانیه و نرخ نشت شبکه معادل با ۱۹/۹۵٪ می باشد.

۴-۲- اعمال سناریوهای مدیریت فشار

همانطور که بیان شد یکی از پارامترهای موثر و مهم در کارکرد شبکه آبرسانی شهری فشار آب می باشد. با توجه به اینکه با افزایش فشار شبکه، تلفات آب و به خصوص مصرف آب زیاد می شود و همچنین ایمنی شبکه در برابر شکست تجهیزات کاهش می یابد، معمولاً سعی می گردد تا مقدار فشار با رعایت حداقل های لازم جهت تامین کامل نیاز مصرف کنندگان، به مقدار مناسبی کاهش یابد. در اینجا برای کاهش فشار در شبکه موردنظر دو سناریو به صورت زیر تعریف شده است.

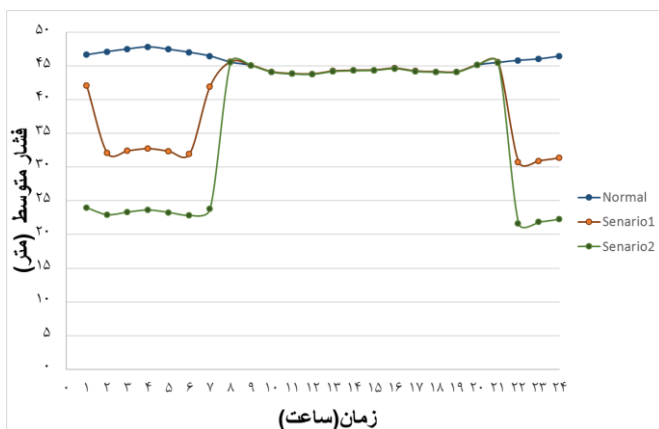
۴-۲-۱- سناریو اول: تغییر هد ورودی شبکه

از آنجایی که عمدتاً منابع ذخیره تامین آب فشار شبکه آبرسانی را تامین می کنند و از طرفی تغییر مصرف آب در شبکه باعث ایجاد تغییر در میزان افت فشار موجود در شبکه می گردد، بایستی هد ورودی شبکه با استفاده از پمپ و فشارشکن، به صورت همگام با تغییر مصرف در ساعات متفاوت روزانه تغییر داده شود تا در نهایت فشار در نقاط متفاوت شبکه در یک وضعیت مطلوب باقی بماند. بنابراین بهترین حالت تغییر هد ورودی با چندین بار سعی و خطا براساس الگوی مصرف کلی شبکه به دست آمد. در این سناریو میزان نشت نسبت به حالت اولیه شبکه به میزان ۲۰/۷۶٪ کاهش خواهد یافت.

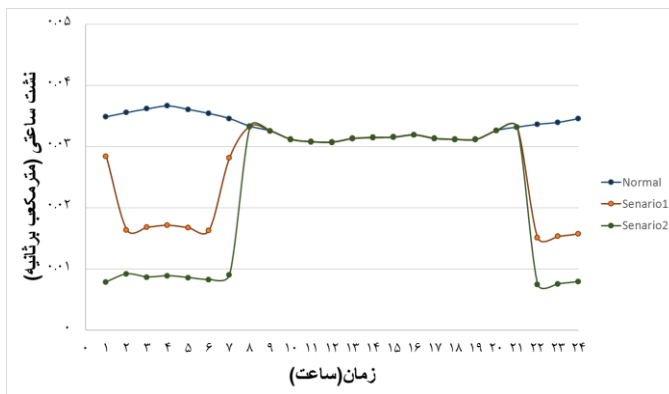
۴-۲-۲- سناریو دوم: استفاده از تجهیزات کاهنده فشار به همراه تغییر هد ورودی شبکه

در این سناریو علاوه بر تغییر هد ورودی شبکه از کاهنده فشار نیز استفاده شده است. شیرهای فشار شکن متعدد با فرآیند بهینه سازی در موقعیت های مختلف تعبیه گردید و در نهایت، بهترین موقعیت قرار دهی شیر فشار شکن اضافی در منطقه انتخاب گردیده است. فشار شکن موردنظر در حوالی خیابان امین و با افت فشار ۱۰ متر بهترین موقعیت نصب را داراست.

مقایسه‌ی فشار متوسط شبکه و نشت در سه حالت وضع موجود، سناریو اول و سناریو دوم به ترتیب در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطور که در این اشکال مشاهده می‌گردد میزان کاهش فشار در سناریو دوم نسبت با حالت های قبلی بیشتر است. در این حالت میزان نشت شبکه ۰/۰۱۳ مترمکعب برثانیه به دست می آید که نسبت به حالت اولیه شبکه ۳۳/۶٪ نشت کاهش داشته است. در این سناریو میزان فشار در ساعات ۱ تا ۶ صبح در بعضی از نقاط از مقدار حداقل استاندارد فشار کم تر می باشد که با توجه به اندک بودن آنها قابل صرف نظر است.



شکل ۲: فشار متوسط شبکه



شکل ۳: نشت ساعتی شبکه

۵- نتیجه گیری

یکی از اهداف مهم مدیران شبکه آبرسانی در دنیا کاهش تلفات آب و نشت در شبکه می باشد. در میان تمام عواملی که بر نشت تاثیر گذار هستند، در دسترس ترین پارامتر قابل کنترل برای شرکت های متولی آب در این زمینه، مدیریت فشار شبکه است. راه



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on
Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



های متعددی برای کاهش میزان اضافه فشار موجود در شبکه وجود دارد که برای مثال میتوان به بازنگری در هد فشاری منابع و استفاده از تجهیزات کاهنده فشار اشاره کرد. در این پژوهش، شبکه آبرسانی مخزن شماره ۷۱ تهران به عنوان پایلوت مطالعاتی انتخاب شده است. در این تحقیق با استفاده از روش PDD مصارف گره ها مدل سازی شد و در ادامه هدر رفت واقعی از مدل نشت حداقل جریان شبانه، مدل سازی گردید و وضعیت فعلی شبکه آبرسانی موجود ارزیابی شد. در ادامه بعد از بررسی سناریوهای مختلف مدیریت فشار، دو سناریو، تغییر هد رودی شبکه از وضعیت فعلی به الگوی متغیر پیشنهادی روزانه و استفاده از تجهیزات کاهنده فشار به همراه تغییر هد ورودی به عنوان راهکارهای پیشنهادی مدیریت فشار در منطقه ارائه گردید. نتایج نشان داد میزان نشت شبکه در وضعیت موجود در حدود ۱۹/۹۵٪ است که با در نظر گرفتن سناریوی تغییر هد ورودی شبکه و استفاده هم زمان از فشار شکن، در بهترین حالت، میزان نشت نسبت به وضعیت فعلی در حدود ۳۳ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین هیچگاه نمیتوان نشت از شبکه را تنها با مدیریت فشار به طور کامل برطرف نمود. به عبارت دیگر مدیریت فشار به تنهایی برای کاهش نشت کفایت نمی کند.

۶- قدردانی

در پایان لازم است تا کمال تشکر و قدردانی خویش را از همکاری مدیران و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲ تهران در به اشتراک گذاری اطلاعات اولیه از منطقه مورد مطالعه، ابزار نمایم.

۷- مراجع

۱. معاونت نظارت بر بهره برداری، دفتر نظارت بر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد، (۱۳۸۷)، "راهنمای مدیریت فشار" شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
2. Gomes, Ricardo, Alfeu Sa Marques, and Joaquim Sousa. Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems, Urban Water Journal 8.2 (2011): 65-77.
3. Jowitt, P. W. and Xu, C., (1990). Optimal valve control in water distribution networks, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, July/August. 455-472.
4. Tucciarelli, T., Criminisi, A., and Termini, D., 1999, Leak analysis systems by means of optimal valve regulation, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, March, 277-285.
5. Reis, F. R. and Chaudhry, F. H., 1999, Hydraulic characteristics of pressure reducing valves for maximum reduction of leakage in water supply networks, Water Industry Systems: Modelling and Optimization Applications, Vol. 1, Research Studies Press Ltd., Baldock, Hertfordshire, England, pp.259-267.



6. 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, pp.41-53.
7. Colombo, A.F. and Karney, B.W., 2002. Energy and costs of leaky pipes: Toward comprehensive picture. Journal of Water Resources Planning and Management, 128 (6),441-450.
8. Bracken, M. and Hunaidi, O., 2005. Practical aspects of acoustical leak location on plastic and large diameter pipe. In: Leakage 2005 Conference Proceedings. Halifax, Canada
9. Lambert, A., 2002. Water losses management and techniques. Water Science and Technology: Water Supply, 2 (4),1-20.
۱۰. سلطانی اصل، م. فغفور مغربی، م. (۱۳۸۸)، مدیریت هوشمند فشار به منظور کاهش نشت در شبکه های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد، مجله آب و فاضلاب، دوره ۲۰، شماره ۳، صفحه ۹۹-۱۰۴
۱۱. جهانگیر، م. یارانی، غ. جهانگیر، ع. (۱۳۹۱)، مدیریت هوشمند فشار و کاهش نشت شبکه های آبرسانی در محیط WaterGems مطالعه موردی مجتمع آبرسانی دو حصاران خراسان جنوبی، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره سیزدهم
12. Tabesh, M., Yekta, A. A., & Burrows, R. (2009). An integrated model to evaluate losses in water distribution systems. Water Resources Management, 23(3), 477-492.
13. Zheng, Y., Rong, H., Thomas, M., Shao, Y., Bowdler, D., Baggett, C., (2006). Efficient Pressure Dependent Demand Model For Large Water Distribution System Analysis, 8th Annual International Symposium on Water Distribution System Analysis, Cincinnati, Ohio, August 27-30
14. Wagner JM, Shamir U, Markes DH (1988) Water distribution reliability: simulation methods. J Water Resour Plann Manag ASCE 114(3):276-294
۱۵. معاونت نظارت بر بهره برداری، دفتر نظارت بر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد ۱۳۸۵، "راهنمای بالانسینگ سیستم تولید و توزیع آب" وزارت نیرو - شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۱۶. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و وزارت نیرو، (۱۳۹۲). " ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی (نشریه شماره ۳-۱۱۷ بازنگری اول) "، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. تهران، ایران