Archive of SID

بررسی میدانی ضریب حداکثر تقاضا در شبکه‌های توزیع آب روستایی (شمال شرق خوزستان)

عادل مرادی سبزکوهی [1] سید محمود کاشفی‌پور [2] آتنا سلیمی چمکاکایی [3]

(دریافت ۹۱/۲/۱ پذیرش ۹۱/۸/٦)

چکیده

آگاهی از نوسانات زمانی کوتاه مدت تقاضا در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی، از ابتدایی‌ترین الزامات طراحی و بهینه‌سازی یک شبکه است. اصولاً ظرفیت شبکه برای تعیین قطر خطوط لوله در بخش‌های مختلف آن با توجه به ضرورت توانایی سیستم در توزیع آب در شرایط حداکثر تقاضا، با اعمال ضریب حداکثر در متوسط تقاضای روزانه به‌دست می‌آید. شواهد موجود نشان می‌دهد که الگوی روزانه تقاضا که ضریب حداکثر تقاضای شبکه از آن نتیجه می‌شود، در اثر عوامل بسیار متفاوتی که مهم‌ترین آنها تعداد مشترکان است، از یک منطقه به منطقه دیگر، متغیر بوده و بیشتر مراجع و استانداردهای معتبر با تأکید بر لزوم محلی سازی این الگو، ضرایب حداکثر تقاضای روزانه، ساعتی و ضریب حداکثر خاص خود را پیشنهاد نموده‌اند. این پژوهش با توجه به اهمیت مطالعات منطقه‌ای روی ضرایب حداکثر، برای یک گروه از شبکه‌های روستایی در منطقه شمال شرق استان خوزستان انجام شد. پس از نصب جریان‌سنج‌های ثبات از نوع الکترومغناطیس با حداکثر خطای ۰/۳ درصد و اندازه‌گیری جریان تقاضا در فواصل زمانی ۷/۵ دقیقه به‌مدت یک‌سال، الگوی روزانه تقاضا و ضرایب حداکثر به‌دست آمد. تفاوت قابل ملاحظه بین ضرایب حداکثر نتیجه شده از این تحقیق با معیارهای پیشنهادی استانداردها و مراجع ملی و بین المللی، اهمیت منطقه‌ای کردن ضرایب حداکثر را به‌وضوح نشان می‌دهد. برای مثال، در خصوص کوچک‌ترین شبکه مورد مطالعه، ضریب حداکثر پیشنهادی استاندارد ملی ۳-۱۱۷، ۲۷/۳ درصد کمتر از ضریب حداکثر واقعی به‌دست آمده در پژوهش حاضر است. همچنین نتایج نشان داد که محاسبه ضرایب حداکثر، بدون توجه به اثر منفی تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده، می‌تواند ضرایب حداکثر را بین ۱٤/۵ تا ۲٤/۵ درصد نسبت به واقعیت کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: تقاضای آب، الگوی روزانه، ضریب حداکثر، شبکه توزیع آب

A Field Study on Peak Factor of Rural Water Distribution Networks (Northern-East Part of Khuzestan Province, Iran)

A. Moradi Sabzkouhi [1] *S. M. Kashefipour [2]* *A. Salimi Chamkakaie [3]*

(Received Apr. 20, 2012 Accepted Oct. 27, 2012)

Abstract

Evaluation of the short-term fluctuations in water demand and consumption is one of the most important consideration in design and optimization of drinking water distribution networks. According to necessity of system ability to distribute water during peak demand conditions, the capacity and pipe sizing of network are determined based on multiplying Peak Factor in Average Daily Flow. It seems that Diurnal Demand Pattern through which Peak Factor is obtained, regionally varies due to many complicated reasons, mainly because of the number of subscribers. So, most of standards and references have recommended their own specific Daily Peak Factor , Hourly Peak Factor and Peak Factor with emphasis on localization of these terms. Considering the importance of regional studies on Peak Factors, this research was conducted for a group of rural networks in north-east part of Khuzestan Province, Iran. After installation of electro-magnetic flowmeter with maximum error of 0.3% and measurement of demand flow in 7.5-minute time intervals by data logger, during one-year

1. Academic Instructor, Faculty of Eng. Agriculture and Rural Development, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Mollasani, Ahwaz (Corresponding Author) (+98 612) 3222943 Adellmoradi@Ramin.ac.ir
2. Prof., Dept. of Water Sciences Eng., Shahid Chamran University, Ahwaz
3.Expert of Water and Wastewater Projects, Dept. of Water and Wastewater, Dezab Counsoulting Eng. Co., Ahwaz

۱- مربی گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان (نویسنده مسئول) ۳۲۲۲۹۴۳ (۰۶۱۲) Adellmoradi@Ramin.ac.ir
۲- استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز
۳- کارشناس پروژه‌های آب و فاضلاب، بخش آب و فاضلاب، شرکت مهندسی مشاور دزآب، اهواز

www.SID.ir

Archive of SID

period, Diurnal Demand Patterns and Peak Factors were determined. The considerable difference between Peak Factors resulted in this research and those recommended by national and some international standards or references, makes the importance of peak factor localization more and more obvious. For example, in the case of the smallest investigated network, the peak factor proposed by national standard 117-3 is 27.3% less than the actual factor acquired in present study. Also, the results show that calculation of peak factors without any notice on the negative effects of physical loss of unaccounted-for water can sensibly reduce peak factors 14.5% to 24.5% compared to reality.

Keywords: Water Demand, Diurnal Pattern, Peak Factor, Drinking Water Distribution Network.

۱- مقدمه

میزان و چگونگی مصارف آب شرب و بهداشتی در هر اجتماع، با توجه به‌عوامل متعددی در طول دوره‌های زمانی کوتاه مدت و بلند مدت، دچار تغییر و نوسان است. برای مثال میزان مصرف آب در نوسانات فصلی معمولاً در طول فصل زمستان کاهش یافته و در تابستان افزایش می‌یابد؛ یا در طول یک هفته مقدار آب مصرفی و الگوی تقاضا در روزهای کاری و روزهای تعطیل کاملاً متفاوت خواهد بود؛ یا در طول یک روز در ساعات خاصی مصرف به حداقل، و در ساعاتی دیگر به حداکثر خود می‌رسد. در موارد بالا، نوسانات کوتاه مدت و بلند مدت، می‌توانند از یک اجتماع با ویژگی‌های خاص خود در مقایسه با اجتماع دیگری با ویژگی‌های متمایز از آن کاملاً متفاوت باشد. برای مثال نوسانات مصرف آب در یک شهر صنعتی، در مقایسه با یک شهر غیر صنعتی که فعالیت عمده شهروندان آن کشاورزی و دامداری است، با هم اختلاف اساسی خواهد داشت.

به تفکیک سهم تقاضا و مصرف آب در هر ساعت شبانه روز از کل تقاضای روزانه، الگوی تقاضای روزانه گفته می‌شود. همچنین میانگین مصرف روزانه آب هر نفر در طول یک سال را مصرف سرانه آب می‌نامند [۱]. منظور از تقاضای شبکه، میزان آبی است که صرف برطرف کردن نیازهای متعارف مشترکان شود و منظور از مصرف شبکه، میزان آبی است که شبکه در اختیار مشترکان قرار می‌دهد. در حالت کاملاً ایده‌آل، این دو با هم برابرند ولی در شرایط محدودیت کمّی، تقاضای مشترکان می‌تواند بیشتر از آبی باشد که مصرف می‌شود. علی‌رغم این موضوع، برای جلوگیری از تکرار بیش از اندازه در این مقاله، مصرف معادل تقاضای شبکه به‌کار رفته است.

بر اساس مقادیر متغیر مؤلفه‌هایی که برای مصرف سرانه آب در مناطق شهری و روستایی کشور برشمرده می‌شود، حداقل و حداکثر میزان کل مصرف سرانه آب در این مناطق را می‌توان بین ۱۴۰ تا ۲۵۰ لیتر در شبانه روز به ازای هر نفر محاسبه نمود [۲]. بنابراین می‌توان جریان متوسط تقاضای آب[1] را در طول کل سال برای یک شبکه با داشتن متوسط سرانه روزانه به‌دست آورد. همچنین میزان مصرف کل شهر یا روستا را در روزهایی از سال که به‌علت شرایط آب و هوایی، گردشگری، مناسبات مذهبی و فرهنگی و غیره، مقدار آن به حداکثر می‌رسد، حداکثر تقاضای روزانه[2] می‌نامند [۱]. بیشترین میزان مصرف ساعتی در روز بیشینه مصرف[3]، حداکثر میزان تقاضای آب شبکه را مشخص می‌نماید که این پارامتر، مبنای طراحی و تعیین ظرفیت خطوط لوله در شبکه‌های آبرسانی است. این در حالی است که در شبکه‌هایی که مصارف آتش‌نشانی نیز از طریق شبکه تامین می شود، ظرفیت خطوط لوله شبکه باید شرایط مصرف آتش نشانی را همزمان با حداکثر مصرف روزانه پاسخگو باشد. با توجه به تعاریف بالا، ضرایب حداکثر روزانه[4]، ساعتی[5]، ضریب حداکثر[6]، به‌صورت زیر نوشته می‌شوند

$$DPF=\frac{MDD}{ADF}\,,\qquad HPF=\frac{MHD}{MDD}\,,\qquad PF=DPF\times HPF \quad (۱)$$

به‌عبارت دیگر ظرفیت طراحی خطوط شبکه به‌صورت زیر است

$$MHD=PF\times ADF \quad (۲)$$

ضریب حداکثر به عوامل مختلفی همچون تعداد مشترکان شبکه، منطقه آب وهوایی، وضعیت اجتماعی- اقتصادی و فرهنگی، سطح رفاهی و بهداشت و غیره بستگی دارد. از آنجا که موضوع مصارف حداکثر شبکه، علاوه بر تقاضای حداکثری یک مشترک در ساعت به‌خصوصی از طول روز، با همزمانی مصارف کل مشترکان نیز تغییر می‌یابد، از بین عوامل متعدد مذکور، تعداد مشترکان بهره‌مند از شبکه، مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار خواهد بود. به بیان ساده‌تر احتمال همزمانی مصرف در ساعات پیک تقاضا برای یک شبکه با ۱۰ مشترک، در مقایسه با یک شبکه با ۱۰۰ مشترک، بیشتر بوده و لذا ضریب حداکثر PF در شبکه کوچک‌تر، بیشتر می‌شود. بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که این تفاوتها در شبکه‌های کوچک‌تر بیشتر بوده و هر

[1] Average Daily Flow (DAF)

[2] Maximum Daily Demand (MDD)
[3] Maximum Hourly Demand (MHD)
[4] Daily Peak Factor (DAF)
[5] Hourly Peak Factor (HPF)
[6] Peak Factor (PF)

www.SID.ir

Archive of SID

چه تعداد مشترکان شبکه کمتر می‌شود، افزایش ضریب حداکثر با نرخ بزرگ‌تری همراه است[۳ ، ۴ و ۵].

علی‌رغم اهمیت موضوع اخیر، در استاندارد ملی ۳-۱۱۷ و پیش‌نویس نسخه اصلاح شده آن که مبنای کار مهندسین مشاور در طرح خطوط لوله شبکه‌های توزیع آب است، برای شبکه‌های زیر جمعیت ۵۰۰۰ نفر عملاً تفکیک ضرایب حداکثر، انجام نشده و عموماً ضریب حداکثر به علت اطمینان بالاتر، بیشترین مقدار پیشنهادی استاندارد در نظر گرفته می‌شود [۱ و ۲]. این مهم با توجه به اینکه اکثر قریب به اتفاق شبکه‌های روستایی و حتی برخی شهرکها، برای جمعیتهای زیر ۵۰۰۰ نفر طراحی و احداث می‌شوند، لزوم ارائه یک معیار نزدیک به واقعیت و به دور از قضاوتهای شخصی و تجربی را کاملاً نشان می‌دهد. قابل ذکر است که در حال حاضر در بیشتر پروژه‌های مطالعاتی، در شبکه با تعداد مشترک خیلی کم که محاسبات ریاضی قطر لوله را خیلی ناچیز به‌دست می‌دهد، معیار حداقل قطر اعمال می‌شود که با توجه به تجربی بودن آن و عدم وجود مبنای تئوریک، چندان قابل دفاع نبوده و در موارد متعددی محل اختلاف مشاورین و کارفرمایان می‌شود. هر چند در برخی از مراجع بین المللی معیارهایی برای تعیین ضریب حداکثر حتی در شبکه‌ای با یک مشترک نیز ارائه شده [۳ و ۵]، ولی با توجه به تأثیر سایر عوامل مؤثر در تغییرات ضریب حداکثر و تفاوت آنها در ملل مختلف، لازم است این معیارها برای هر کشور و حتی برای هر منطقه محلی‌سازی شود.

در این پژوهش با توجه به اهمیت منطقه‌ای کردن الگوهای روزانه تقاضای آب، با تمرکز بر ۴ شبکه روستایی با قرابت‌های فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی در منطقه شمال شرق استان خوزستان، در قالب یک طرح تحقیقاتی ملی پس از یک‌سال آماربرداری در فواصل زمانی ۷/۵ دقیقه، تلاش شد تا ضمن استحصال الگوی تقاضای روزانه این پایلوت‌ها، ضرایب حداکثر این شبکه‌ها به‌دست آید.

۲- مروری بر منابع

در استاندارد مصوب ملی ۳-۱۱۷ سازمان برنامه و بودجه، ضریب حداکثر برای مناطق با جمعیت کمتر از ۵۰۰۰ نفر، با توجه به منطقه آب و هوایی، بین ۲/۴ تا ۴/۵ پیشنهاد شده است [۲]. همچنین در پیش‌نویس نسخه اصلاحی این نشریه به شماره ۳۸۰-الف که توسط وزارت نیرو تهیه شده، این میزان به ۲/۶ تا ۶ افزایش یافته است[۱]. منزوی در سال ۱۳۸۸، با تفکیک مناطق مختلف به شهرهای بزرگ، متوسط و بسیار کوچک (دهات) برای هر یک، الگوی تقاضای روزانه خاصی پیشنهاد کرده که محدوده ضریب حداکثر آن برای روستاها بین ۴/۳ تا ۶/۵ ارائه شده است[۶].

تیموری و لطیفی در سال ۱۳۸۵، با نصب کنتورهای حجمی روی تعدادی از شبکه‌های روستایی متناوب در استان کرمانشاه و آماربرداری طی ماههای تیر و مرداد ضریب حداکثر را برای این روستاها ۵/۸ به‌دست آوردند[۷].

در راهنمای طراحی سیستم‌های آبرسانی مربوط به بخش سلامت ایالت واشنگتن آمریکا تحلیل آمار گذشته ثبت شده در شبکه، برای تعیین ضرایب مصرف به‌عنوان روش مبنا پیشنهاد شده است [۳]. در شرایطی که آمار قابل استنادی از مصارف ساعتی شبکه در دسترس طراحان نباشد، رابطه ۳ به‌شرح زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

$$PHD=(PDD/1440)[C\times N+F]+18 \qquad (۳)$$

که در آن

PHD حداکثر تقاضای ساعتی بر حسب گالن در دقیقه؛ PDD حداکثر تقاضای روزانه بر حسب گالن در روز به ازای هر مشترک معادل؛ N تعداد مشترک مسکونی معادل و C و F ضرایب مربوط به محدوده تعداد مشترک مسکونی معادل بر اساس جدول ۱ است.

برای مثال در شبکه‌ای که شامل ۱۵۰ مشترک مسکونی معادل، با حداکثر تقاضای روزانه برابر ۳۹۰ گالن در روز به ازای هر مشترک است، حداکثر تقاضای ساعتی برابر ۱۱۹ گالن در دقیقه و ضریب حداکثر ساعتی ۲/۹۴ به‌دست می‌آید.

جدول ۱- ضرایب C و F در رابطه ۳ [۳]

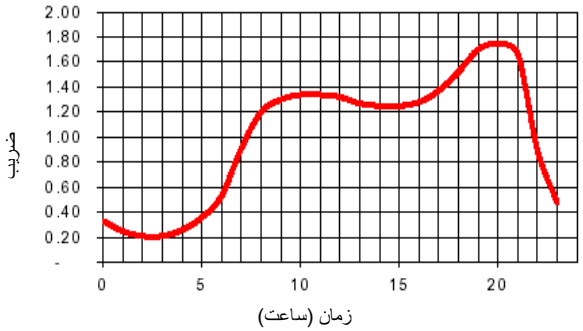
تعداد واحدهای مسکونی معادل	C	F
۱۵-۵۰	۳/۰	۰
۵۱-۱۰۰	۲/۵	۲۵
۱۰۱-۲۵۰	۲/۰	۷۵
۲۵۱-۵۰۰	۱/۸	۱۲۵
»۵۰۰	۱/۶	۲۲۵

انجمن کارهای آبی آمریکا[1] نیز در این خصوص یک منحنی الگوی تقاضای روزانه نمونه با ضریب حداکثر ۱/۷۷ ارائه کرده که به‌عنوان راهنما برای پیش‌بینی الگوی نوسانات تقاضای آب در شرایط عدم وجود آمار، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. این الگو در شکل ۱ نمایش داده شده است. جیتو و همکاران در سال ۲۰۰۶، در خلال یک پروژه عملیاتی، ضریب حداکثر روزانه و ساعتی شبکه توزیع شهر ۵۶۰۰۰ نفری مادفورد ایالت ماساچوست امریکا با متوسط سرانه روزانه ۳۷۸ لیتر در شبانه روز را به‌ترتیب برابر ۱/۵۵ و ۱/۸ اندازه‌گیری کردند [۹]. این در حالی است که Camrosa Water District معتقد است که استفاده از آمار و

[1] American Water Works Association AWWA

www.SID.ir

Archive of SID

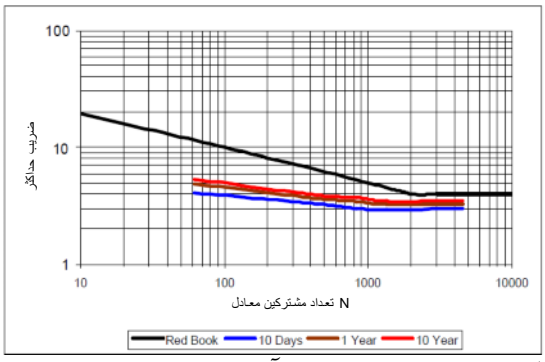


شکل ۱- نمودار الگوی تقاضای روزانه AWWA [۸]

اطلاعات تاریخی مصرف شبکه‌ها برای پیش‌بینی میزان و نحوه تقاضای آب در آینده، به سبب تغییرات اساسی پارامترهای تأثیرگذار (ازجمله توسعه شهری، توسعه شبکه‌های غیر شرب، تأثیرات غیر متعارف اقلیمی اخیر، وضع قوانین جدید، تغییر در شرایط اقتصادی، تغییر در روشهای آبیاری فضای سبز و تغییر در الگوهای کاربری زمین) چندان قابل اعتماد نیست؛ لذا پیشنهاد کرده که برای دقت بالاتر، اندازه‌گیری‌های میدانی در حین انجام مطالعات صورت پذیرد. بر همین اساس در طرح جامع مناطق تحت بهره‌برداری Camrosa Water District، اندازه‌گیری‌های جریان مصرفی در بخشی از شبکه، منحنی الگوی تقاضای روزانه به‌صورت کاملاً متفاوت از آنچه AWWA در شکل ۱ پیشنهاد کرده را نتیجه داد [۱۰].

بوینز و هارهف در سال ۲۰۰۲، با نصب جریان‌سنج‌های ثبات در قسمت‌های منطقه‌بندی شده‌ای از سیستم توزیع آب شهر باکسبرگ[1] آفریقای جنوبی، با تعداد جمعیت تحت پوشش متفاوت، ایده جدیدی در خصوص نحوه تعیین ضرایب حداکثر تقاضا با تکیه بر احتمال وقوع مطرح نمودند. برای مثال، بررسی ایشان برای منطقه‌ای با ۱۰۰۰ مشترک نشان داد که ضریب حداکثر مصرف برای دوره بازگشت ۱۰ روز، معادل ۳/۱ و برای دوره بازگشت ۱۰ سال، برابر ۳/۷ است [۴]. در مفاهیم به‌کار رفته در تحقیق ایشان، مفهوم دوره بازگشت، عیناً مشابه مفاهیم هیدرولوژی آن است. همچنین مقایسه نتایج کار با معیار پیشنهادی استاندارد ملی کشور آفریقای جنوبی تحت عنوان رد بوک[2] نشان داد که این استاندارد ضریب حداکثر تقاضا را به‌میزان قابل توجهی بیشتر از واقعیتهای اندازه‌گیری شده تخمین می‌زند [۵]. در شکل ۲، نتیجه بررسی این محققان به ازای دوره‌های بازگشت متفاوت و مقایسه آن با نمودار پیشنهادی رد بوک برای مناطق توسعه یافته نشان داده شده است.

[1] Boksburg
[2] Red Book



شکل ۲- ضرایب حداکثر به دست آمده در تحقیقات بوینز و هارهف بر اساس دوره بازگشت و مقایسه آن با نمودار پیشنهادی ردبوک در مناطق توسعه یافته [۴]

۳- روش انجام تحقیق

برای تعیین الگوی تقاضا و ضرایب حداکثر، با توجه به محدودیتهایی همچون لزوم دائمی بودن شبکه‌ها، وضعیت مناسب پایلوت‌ها به لحاظ نشت و تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده، کیفیت مناسب آب، رضایت نسبی مشترکان و بهره‌برداران و غیره، پس از بازدیدهای میدانی و بررسی شرایط، ۴ پایلوت هوره، ملّه ابوالعباس، چم مرداس-گنبد لران و لالب با جمعیت به‌ترتیب ۱۰۵، ۴۲۵، ۶۲۴ و ۱۱۸۳ نفر، از بین روستاهای شمال شرق استان خوزستان انتخاب شد و جریان‌سنج‌های الکترومغناطیس ثبات با میزان خطای حداکثر ۰/۳درصد، در محل ورود آب به شبکه پایلوت‌ها نصب گردید. سپس اطلاعات مربوط به میزان تقاضای آب در فواصل زمانی ۷/۵ دقیقه، طی سال ۱۳۸۹ اندازه‌گیری و پارامترهای مورد نیاز برای حصول ضرایب حداکثر تقاضا و الگوی تقاضای روزانه پایلوت‌ها به کمک روابط ۱ و ۲ محاسبه شد [۱۱].

۴- نتایج و بحث

۴-۱- الگوی تقاضای روزانه و ضریب حداکثر

در شکل ۳، الگوی تقاضای روزانه به‌دست آمده برای ۴ پایلوت مورد بررسی در این پژوهش ارائه شده است. در این نمودارها، ضریب یا فاکتور نسبت تقاضای شبکه به متوسط آن برای هر ساعت از شبانه روز است. به‌عبارت دیگر بیشترین نسبت این تقاضا در نمودارها همان ضریب حداکثر تقاضای شبکه است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، زمان رخداد بیشترین میزان تقاضا، به‌غیر از پایلوت چم مرداس-گنبد لران که ما بین ساعات ۸ تا ۱۰ صبح اتفاق می‌افتد، در سایر پایلوت‌ها بین ساعت ۱۰ تا ۱۱ صبح است. ضریب حداکثر PF بر مبنای اطلاعات برداشتی برابر ۵/۳۰، ۴/۱۹، ۳/۸۲ و ۳/۱۲ به‌ترتیب برای پایلوت‌های هوره، ملّه ابوالعباس، چم مرداس-گنبد لران و لالب به‌دست می‌آید. نتیجه

www.SID.ir

Archive of SID

فوق، روند کاهشی مورد انتظار ضریب حداکثر با افزایش تعداد جمعیت تحت پوشش شبکه را کاملاً تایید می‌نماید.

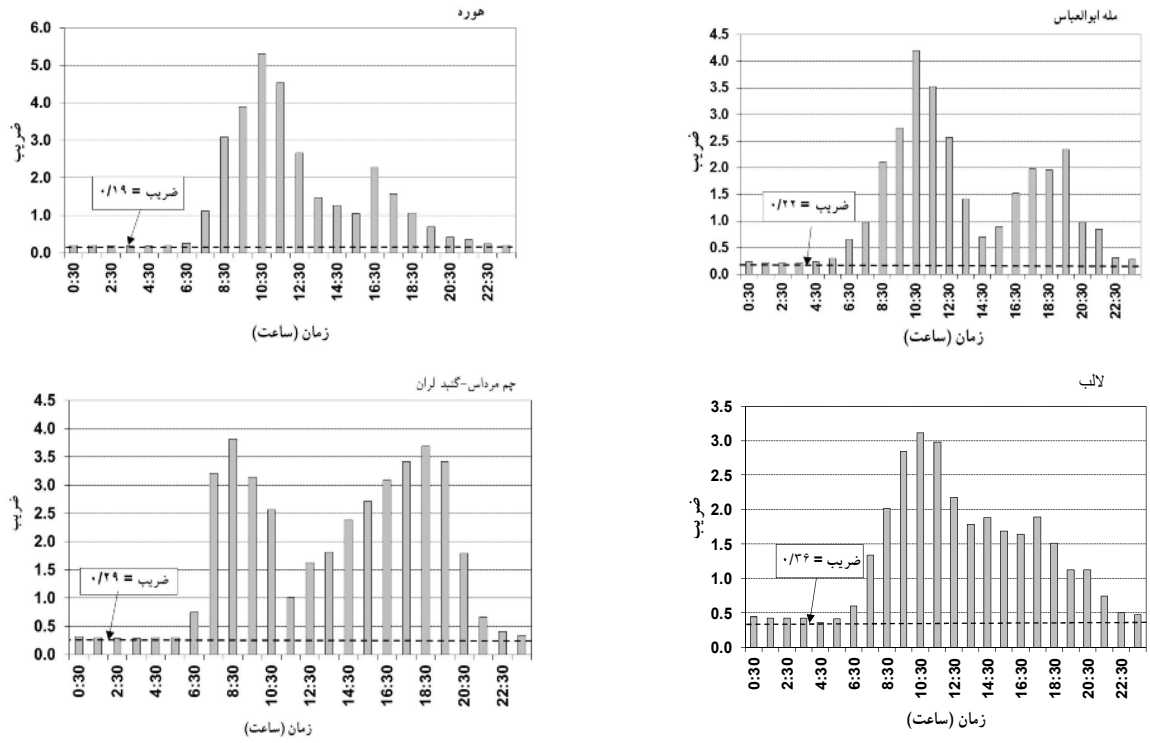
۴-۲- تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده و اثر آن در ضریب حداکثر

از آنجا که در حالت عمومی ضریب حداکثر، نسبت حداکثر میزان تقاضای آب در یک فاصله زمانی کوچک‌تر (مثلاً ساعت)، به متوسط آن در یک فاصله زمانی بزرگ‌تر (مثلاً سال)، است (صورت کسر بزرگ‌تر از مخرج)، لذا اضافه کردن مؤلفه تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده هم در صورت و هم در مخرج این نسبت، سبب کاهش مقدار ضریب حداکثر در حالت وجود تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده شده و هرچه سهم این تلفات از کل جریان آب ورودی به شبکه بیشتر باشد، این ضریب در مقایسه با حالت عدم وجود این‌گونه تلفات، کوچک‌تر خواهد شد. لذا عدم احتساب اثر تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده در شبکه، باعث می‌شود که منحنی الگوی تقاضای روزانه کمی مسطح‌تر شده و ضریب حداکثر، کمتر از واقعیت تعیین شود. به این دلیل لازم است در استفاده از آمار ثبت شده مصارف دوره‌های قبل، برای تعیین ضریب حداکثر واقعی شبکه، این نکته مدنظر مهندسان طراح قرار گیرد. والسکی در سال ۱۹۹۹ با توجه به متغیرهای مختلف و پیچیدگی محاسبات مربوط به نشت و تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده، به‌منظور ساده‌سازی فرض کرد که مقدار این تلفات در شرایط مختلف نوسانات مصرف، شامل زمان اوج مصرف، به‌طور متوسط در طول دوره نوسان تغییر ننموده و ثابت باقی بماند. لذا رابطه ضریب حداکثر شبکه بدون احتساب اثر آب به‌حساب نیامده و ضریب حداکثر واقعی (با احتساب اثر تلفات) به‌صورت زیر خواهد بود [۱۲]

$$PF = \frac{Q_a \times PF_a + L}{Q_a + L} \qquad (۴)$$

که در آن

PF ضریب حداکثر شبکه در حالت عدم احتساب اثر تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده، Q_a متوسط دبی واقعی تقاضا مصرف کنندگان در طول دوره نوسان(آمار کنتورهای اندازه‌گیری)، PF_a ضریب حداکثر واقعی شبکه (منعکس شده از الگوی واقعی تقاضای مشترکان) و L متوسط دبی نشت از شبکه و تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده است.



شکل ۳- الگوی روزانه تقاضای آب در پایلوت‌ها و تعیین حداقل جریان شبانه MNF

www.SID.ir

Archive of SID

برای مثال، چنانچه متوسط دبی تحویلی به یک سیستم شبکه توزیع آب ۵۰ لیتر در ثانیه، متوسط مصرف مشترکان دارای کنتور، ۴۲ لیتر در ثانیه و حداکثر تقاضا ساعتی شبکه ۱۱۵ لیتر در ثانیه بوده باشد، متوسط میزان نشت و تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده، ۸ لیتر در ثانیه، ضریب حداکثر شبکه در حالت عدم احتساب اثر تلفات، ۲/۳ و ضریب حداکثر واقعی شبکه ۲/۵۵ خواهد بود.

برای در نظر گرفتن این اثر در مطالعات پروژه‌ها، میزان نشت از شبکه به‌عنوان تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده باید مشخص شود. دبی نشت، عموماً از اختلاف میزان آب تحویلی به شبکه و آمار کنتورهای مشترکان (به شرط اطمینان از صحت کارکرد) قابل محاسبه است. چنانچه این اطمینان وجود نداشته باشد، حداقل جریان شبانه[1]، می‌تواند به‌عنوان نشت از شبکه در نظر گرفته شود [۱۳]. MNF عموماً از ساعت ۱ بعد از نیمه شب تا ساعت ۴ صبح اتفاق می‌افتد؛ البته خصوصیات ویژه منطقه مورد مطالعه نیز می‌تواند روی زمان وقوع آن اثر گذار باشد. بر این اساس و به‌دلیل کوچکی پایلوت‌ها، سبک زندگی روستایی تقریباً یکسان مشترکان و عدم وجود مصارف شبانه متعارف (مثلاً کارگاههای صنعتی) در شبکه‌های مورد بررسی، جریان شبانه اندازه‌گیری شده با اطمینان کافی به‌عنوان نشت تلقی شد. لذا برای در نظر گرفتن اثر تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده در محاسبات ضریب حداکثر، حداقل جریان پایه در هیدروگراف‌های شکل ۳ به‌عنوان دبی نشت از سیستم‌ها در نظر گرفته شد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، دبی نشت معادل حداقل جریان شبانه، برابر ۰/۱۹ متوسط تقاضای روزانه آب در پایلوت هوره است. این پارامتر در پایلوت‌های مله ابوالعباس، چم مرداس-گنبد لران و لالب به‌ترتیب معادل ۰/۲۲، ۰/۲۹ و ۰/۳۶ برابر متوسط تقاضای روزانه آب بوده است. در جدول ۲ نتایج ضریب حداکثر اصلاح شده شبکه پایلوت‌ها بر مبنای روش پیشنهادی والسکی در سال ۱۹۹۹ آورده شده است. همان‌گونه که از این جدول استنباط می‌شود، در نظر نگرفتن اثر تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده در شبکه پایلوت‌های این تحقیق بین ۱۴/۵ تا ۲۴/۵ درصد باعث کاهش ضریب حداکثر نسبت به مقدار واقعی آن شده است.

جدول ۲- ضریب حداکثر اصلاح شده بر اساس روش پیشنهادی والسکی در سال ۱۹۹۹

	پایلوت‌های تحقیقاتی			
	هوره	مله ابوالعباس	چم‌مرداس -گنبد لران	لالب
ضریب حداکثر اصلاح شده (واقعی) PF_a	۶/۲	۵/۰	۴/۶	۴/۱
ضریب حداکثر PF	۵/۳	۴/۲	۳/۸	۳/۱
درصد خطای تعیین ضریب حداکثر نسبت به ضریب حداکثر واقعی	-۱۴/۵	-۱۶/۲	-۱۶/۹	-۲۴/۵

۴-۳- مقایسه ضرایب حداکثر با معیارهای سایر مراجع

در جدول ۳ مقادیر ضرایب حداکثر اصلاح شده پایلوت‌ها بر مبنای یافته‌های این تحقیق به‌عنوان مقادیر واقعی، با معیارهای پیشنهادی چند مرجع معتبر ملی و بین المللی مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، در حال حاضر ملاک عمل مهندسان مشاور در فرایند طراحی شبکه‌ها ضوابط نشریه ۳-۱۱۷است، در حالی که نسخه پیش نویس اولیه نشریه ۳۸۰- الف نیز از تیرماه سال ۹۰ به‌عنوان جایگزین نشریه ۳-۱۱۷ ارائه شده است. از آنجا که در هیچکدام از این دو نشریه تفکیک ضرایب تقاضا برای اجتماعات کوچک‌تر از ۵۰۰۰ نفر جمعیت پیش‌بینی نشده، لذا اغلب طراحان در شرایط شبکه‌های روستایی که عمدتاً آمار ثبت شده قبلی نیز موجود نیست، برای بالا بردن

جدول ۳- مقایسه خطای برآورد ضریب حداکثر بر اساس معیار مراجع مختلف نسبت مقادیر واقعی اندازه گیری شده در تحقیق

مرجع مقایسه		پایلوت‌های تحقیقاتی			
		هوره	مله ابوالعباس	چم‌مرداس- گنبد لران	لالب
	جمعیت تحت پوشش شبکه (نفر)	۱۰۵	۴۲۵	۶۲۴	۱۱۸۳
	تعداد مشترکان مسکونی	۱۸	۷۸	۱۱۵	۲۱۷
نشریه ۳-۱۱۷	مقادیر پیشنهادی	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵
	درصد خطای برآورد نسبت به مقدار واقعی	-۲۷/۴	-۱۰/۰	-۲/۲	۸/۹
پیش‌نویس نشریه ۳۸۰- الف	مقدار پیشنهادی	۶	۶	۶	۶
	درصد خطای برآورد نسبت به مقدار واقعی	-۳/۲	۲۰/۰	۳۰/۴	۴۵/۲
منزوی ۱۳۸۸	مقدار پیشنهادی	۶/۵	۶/۵	۶/۵	۶/۵
	درصد خطای برآورد نسبت به مقدار واقعی	۴/۹	۳۰/۰	۴۱/۳	۵۷/۴
AWWA	مقدار پیشنهادی	۱/۷۷	۱/۷۷	۱/۷۷	۱/۷۷
	درصد خطای برآورد نسبت به مقدار واقعی	-۷۱/۴	-۶۴/۶	-۶۱/۵	-۵۷/۲
بوینز و هارهف	مقدار پیشنهادی	-	۴/۷	۴/۴	۴
	درصد خطای برآورد نسبت به مقدار واقعی	-	-۶/۰	-۴/۴	-۳/۲

[1] Minimum Night Flow (MNF)

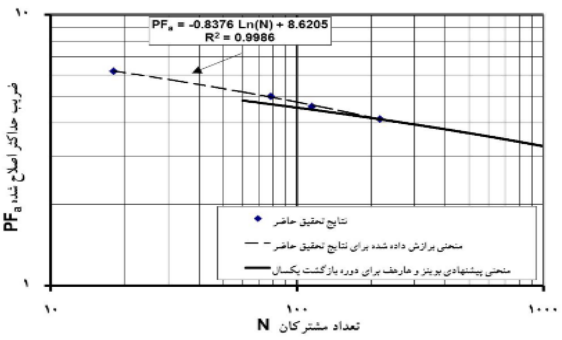
www.SID.ir

Archive of SID

اطمینان طرح، ارقام حداکثری پیشنهادی نشریه را انتخاب می‌کنند. همین رویکرد در انتخاب مقادیر پیشنهادی ضریب حداکثر دو نشریه فوق، در جدول ۳ مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس ملاحظه می‌شود که ضریب پیشنهادی نشریه ۳-۱۱۷ برای پایلوت هوره که روستای کم جمعیتی است، خطای نسبی بالایی دارد (۲۷/۴- درصد)، در حالی که در روستاهای پرجمعیت‌تر خطای آن کمتر می‌شود. از آنجا که حد بالای ضرایب تقاضا برای جمعیتهای زیر ۵۰۰۰ نفر، در نشریه ۳۸۰-الف مقداری افزایش پیدا کرده، خطای نسبی تخمین ضریب حداکثر برای شبکه کم جمعیت هوره به ۳/۲- درصد کاهش پیدا کرده، لیکن برای شبکه‌های پرجمعیت‌تر خطای نسبی بیشتر می‌شود. به‌عبارت ساده‌تر، معیار نشریه ۳-۱۱۷ در این مورد، برای شبکه‌های کوچک، خطای تخمین (کمتر از واقعیت) بالایی دارد، در حالی که در نشریه جدید ۳۸۰-الف خطای تخمین (بیشتر از واقعیت) برای شبکه‌های بزرگ بیشتر است. وضعیت کم و بیش مشابه نشریه ۳۸۰-الف برای معیار پیشنهادی که توسط منزوی در سال ۱۳۸۸ ارائه شده نیز وجود دارد. خطای نسبی تخمین ضریب حداکثر با توجه به معیار این مرجع برای پایلوت هوره ۴/۹ و برای پایلوت پر جمعیت‌تر لالب ۵۷/۴ درصد است. از بین مراجع بین المللی مورد مقایسه، AWWA و استاندارد کشور آفریقای جنوبی، رد بوک، خطای نسبی بسیار بالایی دارد، ولی معیار پیشنهادی بوینز و هارهف برای ضریب حداکثر با دوره بازگشت یکسال، پیش‌بینی مناسبی ارائه می‌کند، هر چند این معیار با توجه به شکل ۲ برای شبکه‌های کوچک کمتر از ۶۰ مشترک قابل کاربرد نیست. با توجه به دقت بالاتر معیار اخیر نسبت به سایر معیارها در برآورد مقدار ضریب حداکثر، در شکل ۴ ضمن مقایسه گرافیکی ضرایب به‌دست آمده با نمودار پیشنهادی بوینز و هارهف برای ضریب حداکثر با دوره بازگشت یک‌سال، بر مبنای رگرسیون غیرخطی، معادله‌ای با ضریب تبیین بالا برای برآورد دقیق‌تر ضریب حداکثر با داشتن تعداد مشترکان به شرح زیر ارائه شده است

$$PF_a = -0.8376\ Ln(N) + 8.6205 \quad R^2 = 0.9986 \qquad (۵)$$

پژوهش حاضر به‌علت محدودیتهای مالی و نیز فقدان شبکه‌های واجد شرایط با تعداد بیش از ۲۱۷ مشترک، محدود به شبکه‌های روستایی در منطقه شمال شرق استان خوزستان با طیف خاصی از تعداد مشترکان (از ۱۸ تا ۲۱۷) بوده و نتایج آن ممکن است قابل تعمیم به گستره خارج از این طیف و مناطق دیگر نباشد.



شکل ۴- ضریب حداکثر تابعی از تعداد مشترکان- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با منحنی پیشنهادی بوینز و هارهف برای دوره بازگشت ۱ سال

۴-۴- ضرورت اصلاح مبانی طراحی شبکه های شاخه‌ای

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار در ضریب حداکثر تقاضای آب، تعداد مشترکان شبکه است، به‌طوری که با افزایش تعداد مشترکان ضریب حداکثر کاهش می‌یابد. در شبکه‌های توزیع با دور شدن از منبع آب، تعداد مشترکان روی یک مسیر خاص، رفته رفته کاهش می‌یابد. این موضوع با توجه به کاهش تعداد مشترکان و افزایش احتمال همزمانی برداشت آب از شبکه، باعث می‌شود که در واقعیت، ضریب حداکثر در نقاط انتهایی شبکه بیشتر از نقاط ابتدایی باشد. بررسی‌های صورت گرفته روی برخی از مراجع و منابع موجود بین المللی از جمله تسندورف[1]، نشان می‌دهد که موضوع استفاده از ضریب حداکثر متغیر با موقعیت خط لوله در شبکه (یا تعداد مشترکانی که در پایین‌دست لوله قرار می‌گیرند)، مورد توجه تعدادی از متخصصان نیز بوده است [۴]. در هر حال آنچه منطقی به‌نظر می‌رسد این است که یک طرح اصولی باید تغییرات ضریب حداکثر را در نقاط مختلف شبکه نیز مورد توجه قرار دهد. این در حالی است که مهندسان مشاور، عموماً کل شبکه را با یک ضریب حداکثر واحد، تحلیل هیدرولیکی می‌نمایند. این موضوع خصوصاً در قسمت‌های شاخه‌ای شبکه‌های روستایی، که در انتهای خطوط شبکه، تعداد مشترکان بعضاً به ۱ مشترک نیز تقلیل می‌یابد، مشکل زا شده و مشترکان انتهایی را در زمان‌های اوج مصرف با کمبود فشار آب مواجه می‌سازد. یکی از اهداف لحاظ معیار حداقل قطر لوله در شبکه های توزیع آب، یافتن راه‌حلی برای مشکل مورد اشاره است که با توجه به عدم وجود مبنای محاسباتی، مورد اختلاف مشاوران طراح و کارفرمایان است. لذا به‌نظر می‌رسد، می‌توان با تغییر روش طراحی و استفاده از ضرایب حداکثر متغیر برای نقاط مختلف شبکه‌های توزیع آب، ضمن ارائه مبانی محاسباتی لازم برای تعیین کوچک‌ترین قطرهای خطوط، شبکه را

[1] Tessendorff

www.SID.ir

Archive of SID

هر چه بیشتر و بهتر، نزدیک به واقعیت شبیه‌سازی نمود. از این نظر وجود منحنی‌های مربوط به تغییرات ضریب حداکثر نسبت به تعداد مشترک، مشابه شکل ۴، برای تعیین ضریب حداکثر خاص در یک مسیر مشخص از شبکه با توجه به تعداد مشترکان تحت پوشش آن مسیر، لازم و ضروری بوده و آنچه مسلم است معیارهای ۲ استاندارد ملی مورد اشاره قبلی فاقد چنین قابلیتی هستند. با عنایت به نتایج تحقیق حاضر (شکل ۴) و روند مشابهی که از نتایج تحقیقات بوینز و هارهف و معیار استاندارد کشور آفریقای جنوبی رد بوک (شکل ۲) نتیجه می‌شود، افزایش ضریب حداکثر در مقابل کاهش مشترکان، با نرخ شدیدتری در تعداد مشترک کمتر قابل ملاحظه است (به لگاریتمی بودن نمودار دقت شود). از این نظر تهیه چنین گراف‌هایی برای شبکه‌های کم جمعیت تر بیش از شبکه‌های پرجمعیت ضرورت دارد.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف محلی‌سازی الگوی روزانه و ضریب حداکثر تقاضای آب در شبکه ۴ پایلوت تحقیقاتی، به‌عنوان شاخصی از روستاهای منطقه شمال شرق استان خوزستان، طرح‌ریزی شد. مهم‌ترین نتایج این تحقیق به شرح زیر است:

۱- بررسی انجام شده در خصوص الگوهای روزانه تقاضای آب ارائه شده در منابع مختلف، از اختلاف قابل ملاحظه این الگوها در نقاط مختلف دنیا حکایت دارد. این موضوع ضرورت محلی‌سازی این شاخص را در کشور و حتی مناطق مختلف (از نظر جغرافیایی، صنایع غالب منطقه، فرهنگهای مختلف قومیتی و غیره) تبیین می‌کند.

۲- مقایسه معیارهای کلی پیشنهادی استاندارد ملی ۳-۱۱۷ نسبت به نتایج این تحقیق در خصوص تغییرات ضریب حداکثر با تعداد مشترکان (شاخصی از جمعیت)، حاکی از تفاوت بعضاً فاحش در ضرایب حداکثر است. برای مثال در کوچک‌ترین شبکه مورد بررسی در پژوهش این اختلاف به ۲۷/۴- می‌رسد. هر چند اصلاحات صورت گرفته در نشریه جدید ۳۸۰-الف این اختلاف را به ۳/۲- کاهش داده و لیکن باعث افزایش این اختلاف برای پرجمعیت‌ترین شبکه تحقیق، از ۸/۹+ به ۴۵/۲+ شده است. در بین مراجع بررسی شده بین المللی، معیارهای پیشنهادی بوینز و هارهف برای تغییرات ضریب حداکثر با تعداد مشترکان (برای دوره بازگشت یکسال) انطباق مناسبی با نتایج تحقیق حاضر داشته است.

۳- استانداردهای مصوب ملی (نشریه ۳-۱۱۷ و ۳۸۰-الف) در مورد نحوه تغییرات ضریب حداکثر با تعداد مشترکین شبکه در بخش‌های کوچک زیر ۵۰۰۰ نفر جمعیت، اطلاعاتی ارائه نکرده‌اند. با عنایت به توجیهات مهم مربوط به لزوم طراحی هر خط لوله شبکه توزیع (خصوصاً شبکه شاخه‌ای) با ضریب حداکثر خاص همان خط، که در بخش (۴-۴) به آن اشاره شد، منحنی شکل ۴ و معادله ریاضی پیشنهادی آن، می‌تواند معیار مناسبی برای روستاهای شمال شرق استان در این مورد باشد.

۴- لحاظ نکردن اثر تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده در محاسبات ضریب حداکثر، باعث برآورد کمتر از واقعیت این ضریب نسبت به‌حالت واقعی شده و از این رو خطای برآورد را بالا می‌برد. بر این اساس با توجه به رابطه پیشنهادی والسکی در سال ۱۹۹۹، ضرایب حداکثر به‌دست آمده در تحقیق، اصلاح شد. بررسی انجام شده نشان می‌دهد که عدم احتساب اثر مربوط به تلفات فیزیکی آب به‌حساب نیامده در محاسبات ضریب حداکثر برای پایلوت‌های تحقیق، می‌تواند ضریب حداکثر تقاضای شبکه‌ها را بین ۱۴/۵ تا ۲۴/۵ درصد کمتر از واقعیت به‌دست دهد. به این دلیل لازم است در استفاده از آمار ثبت شده مصارف دوره‌های قبل، برای تعیین ضریب حداکثر واقعی شبکه، این نکته مورد توجه مهندسان طراح قرار گیرد.

۶- قدردانی

تحقیق حاضر نتیجه بخشی از طرح تحقیقاتی ملی شماره ۱۳۸۷/۳۱۵/م ت م/ن ی بوده که با حمایت مالی شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خوزستان انجام شد. لذا نویسندگان شایسته می‌دانند از کلیه عوامل این شرکت به‌ویژه جناب آقای مهندس خلیف‌پور، مدیر عامل محترم و جناب آقای مهندس حیدرآزاد، معاون محترم فنی و توسعه که زمینه تحقیقات کاربردی را در مجموعه تحت امر خود در سطح استان فراهم کردند، صمیمانه تقدیر و تشکر نمایند.

۷- مراجع

1- The Iranian Ministry of Energy. (2011). *Standards of urban and rural water transmission and distribution system design,* Draft Report, Issue No. 380-A, The Eng. Office and Technical Standards of Water and Wastewater, Tehran. (In Persian)

2- The Iranian Ministry of Energy. (1992). *Basic and standards of urban water supply desing,* Report Issue No. 117-3, The Organization of Planning and Budget Pub., Tehran. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

3- Washington State Department of Health. (2009). *Water system design manual*, Division of Environmental Health, Office of Drinking Water,

4- Booyens, J.D., and Haarhoff, J. (2002). "Probabilistic peak factors residential water demand in south Africa." *Biennial Conference of the Water Institute of Southern Africa (WISA)*, Durban, South Africa

5- CSIR Building and Construction Technology. (2000). *Guidelines for human settlement planning and design (Red Book*), Department of Housing, South Africa.

6- Monzavi, M. T. (2009). *Water supply*, 16th Ed., Tehran University Press, Tehran. (In Persian)

7- Teymouri, H., and Latifi, A. (2006). "Determining of hourly and daily peak factor and daily water consumption per capita of rural areas of Kermanshah, Iran." *The First Expert National Congress on Environmental Eng*., Tehran University. (In Persian)

8- AWWA Manual M32. (2005). *Computer modeling of water distribution systems*, 2nd Ed., Denver.

9- Jitoo, Y., Wei, I., Morgan, T. R., and Quellette, D. (2006). "An assessment of the water distribution system in the city of Medford, Massachusetts." *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering,* Montréal, Canada.

10- Camrosa Water District. (2011). *Integrated facilities master plan*, Draft Report, California.

11- Moradi, Sabz kouhi, A., and Kashefipour, S. M. (2011). *Investigation of demand pattern and determination hourly and daily peak factors of rural water distribution networks in Khuzestan province*, Final Report of the Research Project, Khuzestan Rural Water and Wastewater Eng. Co., Dept. of Research and Productivity, Ahwaz. (In Persian)

12- Walski, Th. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., Bechwith, S., and Koelle, E. (2004). *Advanced water distribution modeling and management*, Chapter 4, Bentley Institute Press, Philadelphia.

13- Johnson, M., Ratnayaka, D., and Brandt, M. (2009). *Twort's water supply*, 6th Ed., Published by Elsevier, Great Britain.

www.SID.ir