Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 5, No. 4, PP. 24-30, Winter 2021
DOI: 10.22112/jwwse.2020.220628.1191

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال پنجم، شماره ۴، صفحات ۲۴-۳۰، زمستان ۱۳۹۹

Review Paper

A Review on the Amount of the Household Night Water Consumption per Capita in Different Countries

Javad Norouzi[1], Mohammadreza Jalili Ghazizadeh[*2], Iman Moslehi[3]

1- M.Sc. in Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Faculty of Water and Wastewater, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3- Ph.D. Student in Civil Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
* Corresponding author, Email: m_jalili@sbu.ac.ir

Received: 01/03/2020
Revised: 10/05/2020
Accepted: 16/05/2020
© IWWA

Abstract

Minimum Night Flow (MNF) analysis in District Metered Areas (DMAs) is the most important method for monitoring and estimating the leakage volume in Water Distribution Networks (WDNs). An estimation of night leakage in a DMA is calculated by deducting legitimate night consumption from MNF. Therefore, the amount of household night water consumption is a crucial parameter in determining the leakage level in WDNs. The household night water consumption may be different in various countries or even in different utilities within a country. Therefore, a precise estimation of household night water consumption and use appropriate techniques are required to determine the volume of physical losses using MNF analysis. The present paper provides a literature review on analysis methods for estimating household night water consumption in different countries, their estimated values, and the effective parameters on the per capita household night consumption. This review could be used by practitioners and researchers dealing with estimating leakage level in WDNs.

Keywords: Household Night Water Consumption, Minimum Night Flow, Water Leakage, District Metered Area.

مقاله مروری

بررسی مقدار سرانه مصرف شبانه آب خانگی درکشورهای مختلف

جواد نوروزی[۱]، محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده [۲*] و ایمان مصلحی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- دانشیار، گروه آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: m_jalili@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

یکی از مهم‌ترین روش‌های پایش و اندازه‌گیری مقدار نشت در شبکه‌های توزیع آب، تحلیل جریان حداقل شبانه در مناطق ایزوله شده است. تخمین مقدار نشت شبانه در هر ایزوله، با کسر مقدار مصرف مجاز شبانه از جریان حداقل شبانه به‌دست می‌آید. لذا مقدار مصرف شبانه مشترکین خانگی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در تعیین مقدار نشت است. با توجه به تفاوت‌های اقلیمی، فرهنگی و اجتماعی هر کشور ممکن است مقدار مصرف‌های شبانه خانگی در مناطق و کشورهای مختلف، متفاوت باشد؛ بنابراین در تعیین میزان تلفات فیزیکی شبکه به کمک تحلیل حداقل جریان شبانه، اطلاع از مقادیر صحیح مصرف شبانه خانگی و استفاده از تکنیک‌های مناسب تحلیل آن ضروری است. مقاله حاضر مروری بر مطالعات انجام شده به‌منظور تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در کشورهای مختلف و آشنایی با روش‌ها و هم‌چنین عوامل مؤثر بر میزان آن دارد. این مقاله می‌تواند مورد استفاده متخصصان و پژوهشگران حوزه نشت در شبکه‌های آب‌رسانی قرارگیرد.

واژه‌های کلیدی: مصرف شبانه آب مشترکین خانگی، حداقل جریان شبانه، نشت آب، مناطق مجزای ایزوله شده.

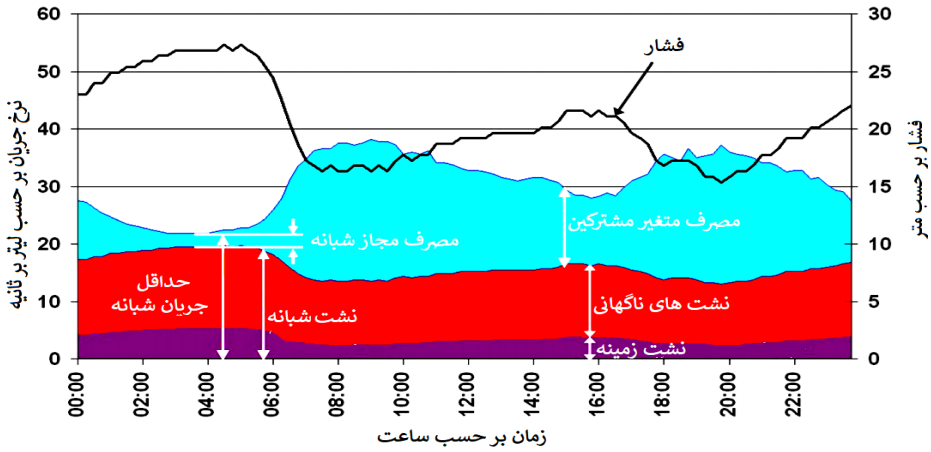
۱- مقدمه

آب یکی از ارکان اصلی مؤثر در توسعه پایدار یک جامعه است. دسترسی به آب آشامیدنی و بهداشتی یکی از عوامل تأثیرگذار و مهم در افزایش جمعیت جهانی است که از طریق سامانه‌های آب‌رسانی در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد. یکی از معضلات شبکه‌های آب‌رسانی، مقدار هدررفت‌های آب[۱] در آن‌ها است. طبق آمار موجود در کشورهای در حال توسعه، حدود ۴۵ میلیون مترمکعب آب، روزانه از طریق نشت در شبکه‌های توزیع، هدر می‌رود که این حجم از آب برای خدمت‌رسانی به حدود ۲۰۰ میلیون نفر کافی است (Kingdom et al., 2006).

در ایران مسئله کمبود آب به‌خصوص در سال‌های اخیر جزء اصلی‌ترین نگرانی‌های آب کشور محسوب می‌شود. کاهش آب بدون درآمد[۲] باعث ایجاد منابع جدید آبی و مالی می‌شود؛ به‌طوری‌که کاهش هدررفت‌های فیزیکی، منجر به در دسترس قرار گرفتن مقادیر قابل‌توجه آب برای مصرف و به تعویق انداختن نیاز به سرمایه‌گذاری‌های جدید برای تأمین نیاز آبی و کاهش هزینه‌های اجرایی شرکت‌های آب و فاضلاب می‌شود.

یکی از گام‌های اصلی فعالیت‌های کاهش آب بدون درآمد، درک مفاهیم و اجزای مربوط به هدررفت در شبکه‌های آب‌رسانی و حصول اطمینان از اندازه‌گیری دقیق و یا تخمین هر یک از آن‌ها است. به‌عنوان زیرساخت فعالیت‌های مربوط به کاهش آب بدون درآمد، لازم است که ابتدا تمامی اجزای مرتبط با هدررفت آب به‌خصوص در ارتباط با هدررفت واقعی در شبکه آب‌رسانی مورد شناسایی قرار گیرد و نسبت به اندازه‌گیری دقیق و یا تخمین آن‌ها اقدامات لازم صورت گیرد. روش‌های موجود برای پایش و تخمین میزان هدررفت واقعی عبارت‌اند از: روش تعادل آب[۳]؛ روش برآورد مؤلفه‌های نشت[۴] و روش تحلیل حداقل جریان شبانه[۵] (نشریه ۵۵۶، ۱۳۹۱؛ Fanner et al., 2008).

روش جدول تعادل آب و برآورد مؤلفه‌های نشت به‌صورت مطالعات دفتری انجام می‌شوند، درحالی‌که روش تحلیل حداقل جریان شبانه، نیازمند مطالعات و اندازه‌گیری‌های میدانی است. این روش معمولاً در شبکه‌های با نواحی مجزای اندازه‌گیری‌شده[۶] کاربرد دارد. در این روش به‌منظور ارزیابی مقدار نشت، از داده‌های اندازه‌گیری‌شده جریان ورودی به ناحیه که در زمان حداقل تقاضا رخ می‌دهد، استفاده می‌شود. حداقل جریان ورودی در مناطق شهری اغلب بین ساعت‌های ۲ تا ۴ بامداد رخ می‌دهد. در این مدت، مصرف مشترکین به‌میزان حداقل و در نتیجه مقدار نشت، بیشینه خواهد بود. با بررسی الگوی جریان ورودی به یک ناحیه ایزوله شده مانند شکل ۱، پس از اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه و کسر مقدار مصرف مجاز شبانه از آن، مقدار نشت شبانه ناحیه ایزوله شده را می‌توان به‌دست آورد (Thornton et al., 2008).



شکل ۱- مدل‌سازی ۲۴ ساعته نشت بر اساس تحلیل حداقل جریان شبانه (Thornton et al., 2008)

در تحلیل حداقل جریان شبانه، پیش‌بینی سرانه مصرف شبانه آب مشترکین خانگی[۷] از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در تعیین مقدار نشت است. باتوجه به تفاوت‌های اقلیمی، فرهنگی و اجتماعی هر کشور ممکن است مقدار مصرف‌های شبانه خانگی از کشوری به کشور دیگر یا حتی در یک شبکه، از منطقه‌ای تا منطقه دیگر متفاوت باشد؛ بنابراین در تعیین میزان نشت شبکه به کمک تحلیل حداقل جریان شبانه، استفاده از تکنیک‌های مناسب برای تعیین مقادیر صحیح مصرف شبانه خانگی در منطقه موردمطالعه ضروری است.

۲- مروری بر مطالعات پیشین

در زمینه تعیین مقدار سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی در سطح بین‌المللی، مطالعات مختلفی انجام شده است که در این

مقاله به تعدادی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود. مطالعات انجام گرفته در انگلستان در اوایل دهه ۱۹۹۰، نشان داد که مصرف شبانه مشترکین خانگی بر اساس جمعیت فعال در شب و متوسط مصرف ساعتی هر نفر در طول شب با استفاده از رابطه (۱) تعیین می‌شود:

$$Normal\ Domestic\ Night\ Use\ (NDNU) = (POP_{act} \times POP) \times POP_{use} \quad (۱)$$

که $NDNU$: مصرف شبانه مشترکین خانگی به‌ازای لیتر در هر نفر در ساعت، POP_{act}: درصد جمعیت فعال در شب، POP: کل جمعیت و POP_{use}: متوسط مصرف ساعتی هر نفر در طول شب هستند.

در این تحقیق با فرض این‌که تنها ۶ درصد از جمعیت در شب فعال است و متوسط مصرف ساعتی هر نفر در شب نیز ۱۰ لیتر باشد، با استفاده از رابطه (۱)، متوسط سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی ۰/۶ لیتر به ازای هر نفر در ساعت تخمین زده شد. در نهایت با درنظر گرفتن بعد خانوار در منطقه مورد مطالعه، میزان مصرف شبانه مشترکین خانگی، ۱/۷ لیتر به ازای هر اشتراک در ساعت تعیین شد. لازم به ذکر است که متوسط مصرف ساعتی هر نفر در طول شب بر اساس حجم مخزن آب شست‌وشو دهنده توالت‌های فرنگی ممکن است از کشور یا منطقه‌ای تا مناطق دیگر تفاوت کند (Industry, 1994).

Creasey et al. (1996) روشی آماری برای برآورد مصرف‌های شبانه ارائه کردند. براساس این روش با ثبت جریان شبانه با کنتورهای دارای دقت بالا، به‌مدت یک هفته یا بیش‌تر می‌توان مصرف شبانه را به‌دست آورد. قاعده این روش آن است که چنان‌چه فشار نوسانات زیادی نداشته باشد، تلفات آب در ناحیه مجزا تقریباً ثابت فرض می‌شود و لذا نوسانات جریان شبانه ورودی کاملاً ناشی از مصرف‌های ساکنین ناحیه است. در این روش چنین فرض می‌شود که مصرف خانگی متأثر از یک نوع رویداد کوتاه با حجم ثابت و مشخص (به‌عنوان مثال مخزن آب شست‌وشو دهندهٔ توالت) است و متوسط کل جریان ثابت است. دوره اندازه‌گیری به بازه‌های زمانی مساوی از ۱ تا ۵ دقیقه تقسیم می‌شود و این دوره باید به‌اندازه‌ای باشد که حداقل ۲۵۰ (ترجیحاً ۵۰۰) بازه زمانی را دربرگیرد. در هر بازه زمانی، با تقسیم کل حجم جریان بر متوسط حجم رویداد مذکور، مقدار معادل دبی برحسب تعداد رویدادها به‌دست می‌آید. فرض بر آن است که تعداد رویدادهای همانند در بازه‌های زمانی مساوی، از توزیع پواسون تبعیت می‌کنند که در آن میانگین و واریانس تابع با هم برابرند. با توجه به آن‌که نوسانات دبی صرفاً مربوط به مصرف‌های خانگی است، متوسط تعداد رویدادهای خانگی در هر بازه زمانی با واریانس جریان کل در آن بازه، برابر درنظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، مصرف شبانه خانگی برابر است با متوسط حاصل‌ضرب تعداد رویدادها در حجم هر رویداد (Creasey et al., 1996).

در اواخر دهه ۱۹۹۰، سازمان قانون‌گذاری خدمات آب انگلستان شرکت‌ها را ملزم نمود تا از داده‌های محلی و اختصاصی برای مطالعات هر منطقه استفاده کنند و استفاده از مقادیر کلی همچون سرانه ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت را غیرقابل‌قبول دانست. از جمله مطالعاتی که در این راستا انجام شد، اقدام شرکت خدمات آب بریستول در سال ۱۹۹۸ بود که با استفاده از نواحی پایش مصرف[۸]، مصرف‌های شبانه مشترکین را اندازه‌گیری نمود. ناحیه پایش مصرف در واقع بخشی از یک ناحیه ایزوله شده است که در آن‌ها از کنتورهای ورودی ناحیه به منظور اندازه‌گیری مصرف مشترکین استفاده می‌شود. این نواحی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که حتی‌الامکان کم‌ترین مصرف‌های غیرخانگی مانند مصرف‌های صنعتی و تجاری را داشته باشد و مشترکین آن به لحاظ الگوی مصرف (به‌عبارتی طبقه‌بندی اجتماعی و فرهنگی) مشابه و به‌لحاظ آماری نیز تعداد مشترکین نمونه مناسبی برای برآورد جامعه باشند. مبنای روش مذکور این است که در صورت کم بودن تعداد مشترکین (بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ مشترک) و کوچک کردن بازه‌های ثبت مصرف به احتمال خیلی زیاد می‌توان لحظاتی ثبت نمود که هیچ مصرفی وجود نداشته باشد و جریان ورودی به ناحیه بیانگر نشت خالص شبانه[۹] باشد. پس از تعیین میزان نشت خالص شبانه، به‌کمک رابطه (۲) مصرف شبانه مشترکین خانگی تعیین می‌شود (Thornton et al., 2008):

$$Domestic\ Night\ Use\ (DNU) = MNF - NNF \quad (۲)$$

که DNU: مصرف شبانه آب مشترکین خانگی، MNF: میانگین جریان ورودی به ناحیه در بازه شبانه و NNF: نشت خالص شبانه در ناحیه ایزوله هستند.

در مطالعه یاد شده، بازه شبانه برای تعیین مصرف شبانه به‌صورت دو ساعته درنظر گرفته شد. از جمله نتایجی که از این بررسی حاصل آمد این است که مقدار جریان شبانه در مناطق مختلف (حتی با طبقه‌بندی اجتماعی یکسان) متفاوت است. علاوه‌بر این، جریان شبانه در یک منطقه، در طول فصول مختلف نیز متغیر است. با استفاده از روش مذکور مقدار سرانه مصرف شبانه در ناحیه مورد مطالعه ۳/۲۵ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت تخمین زده شد. با ادامه اندازه‌گیری‌ها و اصلاح روش‌های میانگین‌گیری داده‌ها، شرکت بریستول در سال ۲۰۰۸ مصرف

شبانه مشترکین را ۲/۳۹ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت گزارش کرده است (Fanner et al., 2008).

در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷، انجمن ملی تحقیقات کانادا با فرض آن‌که داده‌های حاصل از تجربیات سایر کشورها برای مطالعات منطقه آمریکای شمالی مناسب نیست، در مطالعه‌ای دو ناحیه ایزوله شده در شهر اوتاوا پیاده‌سازی کرد و مقادیر واقعی مصرف شبانه خانگی، نشت زمینه و رابطه فشار- نشت را به‌دست آورد. در این مطالعه با استفاده از مناطق پایش مصرف، مصرف شبانه مشترکین تعیین شد. بر همین اساس جریان ورودی به ناحیه ایزوله شده در بازه شبانه در فواصل زمانی پنج ثانیه‌ای ثبت شد. سپس با انتخاب حداقل مقدار اندازه‌گیری شده به‌عنوان نشت شبکه (در صورتی که نویز نباشد)، محاسبه میانگین جریان ورودی به ناحیه در بازه شبانه و کسر این دو مقدار از هم، مصرف شبانه مشترکین تعیین شد. نتایج حاصل از این مطالعه در بخش اندازه‌گیری مصرف‌های شبانه مشترکین خانگی به‌شرح زیر است (Hunaidi and Brothers, 2007):

- مقدار مصرف شبانه از برآورد متداول آن یعنی ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت که در دهه ۱۹۹۰ براساس نتایج اندازه‌گیری کشور انگلستان به‌دست آمده، بیشتر است. این موضوع بالاخص در فصول آبیاری فضای سبز بیشتر نمایان است، به‌نحوی که مقدار آن تا ۳ برابر برآورد متداول نیز می‌رسد؛
- در ماه ژوئن مصرف شبانه به‌طور قابل‌توجهی از شبی تا شب دیگر فرق می‌کند که به احتمال زیاد به‌خاطر آبیاری فضای سبز است؛
- در ماه اکتبر که خارج از بازه آبیاری فضای سبز قرار دارد، مصرف شبانه به میزان کمی در شب‌های مختلف تفاوت می‌کند و به‌طور کلی بیشتر از مقدار ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت است. مقدار سرانه مصرف شبانه بین ۱/۷۹ و ۲/۸۹ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت و متوسط آن ۲/۳۴ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت بود؛
- براساس نتایج به‌دست آمده در ماه‌های ژوئن و اکتبر چنین انتظار می‌رود که احتمالاً درصد بیشتری از جمعیت در روزهای تعطیل سال در طول شب بیدار هستند.

در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸، انجمن ملی تحقیقات کانادا، دو ناحیه ایزوله شده دیگر را در شهر رجینا پیاده نمود. در ناحیه اول ۳۹۴ و در ناحیه دوم ۲۰۹۵ اشتراک داشت. به‌منظور بررسی مصرف شبانه از کل ناحیه اول و زیرمجموعه‌ای متشکل از ۲۲۲ اشتراک در ناحیه دوم به‌عنوان نواحی پایش مصرف استفاده شد (Hunaidi, 2010). در این مناطق از دو روش برای اندازه‌گیری مصرف‌ها استفاده شد:

۱- قرائت کنتورهای مشترکین در زمان ابتدا و انتهای بازه مصرف شبانه به کمک سیستم قرائت خودکار[۱۰]؛

۲- استفاده از مناطق پایش مصرف.

در این مطالعه برای تعیین مصرف شبانه مشترکین به‌کمک سیستم قرائت خودکار بدین‌گونه عمل شد که با انتخاب ۵۰۰ اشترک خانگی، مقدار مصرف این مشترکین در بین ساعات ۲۴ تا ۴ بامداد به‌کمک سیستم قرائت خودکار ثبت و مقدار مصرف شبانه در هر اشتراک از تفاوت بین قرائت ابتدا و انتها در یک بازه دو ساعته تعیین شد. میانگین مصرف شبانه مشترکین در این روش از تقسیم مجموع مصرف‌های تعیین شده در هر شب بر تعداد کل مشترکین مورد مطالعه، تعیین شد.

از این مطالعات نتایجی مشابه مطالعه قبلی (منطقه اوتاوا) حاصل شد. البته مقادیر مصرف شبانه به‌مراتب بیش‌تر از مصرف ۱/۷ لیتر به‌ازای هر انشعاب در ساعت بود. مصرف شبانه در منطقه اول ۳/۵ تا ۸ برابر و در منطقه دوم ۵ تا ۹ برابر این مقدار بود. مقادیر به‌دست آمده به احتمال زیاد به‌دلیل استفاده گسترده مشترکین این منطقه از دستگاه‌های تصفیه آب تخمین زده شده است (Hunaidi, 2010). علاوه‌بر این، در مطالعات انجام شده در شهر رجینا یک مدل تحلیلی برای تعیین مؤلفه‌های حداقل جریان شبانه در هر ناحیه ایزوله، توسعه داده شد. براساس این مدل تحلیلی، حداقل جریان شبانه به سه مؤلفه زیر تقسیم می‌شود (Hunaidi, 2010):

۱- نشت زمینه؛

۲- تلفات قابل اجتناب (شکستگی‌های گزارش شده یا گزارش نشده)؛

۳- مصرف شبانه مشترکین.

فرضیات این مدل به‌شرح زیر است:

- نشت زمینه غالباً در محل اتصالات و شیرها رخ می‌دهد، لذا با فشار متوسط شبانه منطقه[۱۱]، با توان ۱/۵ متناسب است؛
- تلفات قابل اجتناب (شکستگی‌ها) غالباً ناشی از نشت‌هایی با سطح مقطع ثابت هستند؛ لذا با فشار متوسط شبانه منطقه با توان ۰/۵ متناسب هستند؛
- متوسط مصرف شبانه مشترکین (با توجه به ثابت بودن حجم مخزن آب شست‌وشو دهنده توالت‌ها) مستقل از فشار ناحیه است.

در این مدل تحلیلی که در رابطه (۳) ارائه شده است، چنانچه f_i^T به‌عنوان کل جریان شبانه و f_i^{BL}، f_i^{RL} و f_i^{RD} به‌ترتیب به‌عنوان جریان نشت زمینه، جریان نشت قابل اجتناب و جریان مصرف شبانه خانگی در فشار P_i درنظر گرفته شود، با اندازه‌گیری حداقل

جریان شبانه در فشار متفاوت P_1، P_2 و P_3 رابطه (۳) حاصل می‌شود.

$$
\begin{aligned}
&f_1^T = f_1^{BL} + f_1^{RL} + f_1^{RD} \\
&f_2^T = f_2^{BL} + f_2^{RL} + f_2^{RD} = \\
&f_1^{BL}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1.5} + f_1^{RL}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{0.5} + f_2^{RD} \\
&f_3^T = f_3^{BL} + f_3^{RL} + f_3^{RD} = \\
&f_1^{BL}\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{1.5} + f_1^{RL}\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{0.5} + f_3^{RD} \\
&f_1^{RD} = f_2^{RD} = f_3^{RD}
\end{aligned}
\qquad (۳)
$$

با حل سیستم معادلات خطی رابطه (۳)، مقادیر سه مؤلفه حداقل جریان شبانه تعیین می‌شود.

در سال ۲۰۰۵ مطالعه‌ای به‌منظور تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در یک ناحیه مجزا با ۲۰۰۰ اشتراک در شهر بانکوک تایلند انجام گرفت. به‌همین منظور تمامی کنتورهای ۱۷۵۰ اشتراک خانگی موجود در محدوده مورد مطالعه به‌صورت مجزا در هر شب بین ساعات ۲۴ تا ۴ بامداد، دو بار قرائت شد. به‌دلیل زیاد بودن تعداد اشتراکات خانگی، این عملیات به‌مدت یک هفته در ماه ژوئن به‌طول انجامید. در این مطالعه به‌منظور تعیین میانگین مصرف شبانه از مصرف‌های اندازه‌گیری شده بزرگتر از ۲۵۰ لیتر بر ساعت چشم‌پوشی شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که میانگین مصرف شبانه در ناحیه مجزا ۱۸/۲ مترمکعب بر ساعت است. با توجه به‌وجود اشتراکات غیرخانگی در محدوده مورد مطالعه، میانگین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی ۱۴/۴ مترمکعب بر ساعت که معادل ۸/۲۳ لیتر به ازای هر نفر در ساعت است و میانگین مصرف شبانه مشترکین غیرخانگی (با استعلام میزان مصرف آب از سازمان‌های مرتبط)، ۳/۸ مترمکعب بر ساعت تعیین شده است (Islam, 2005). در کشورهای دیگر مطالعاتی برای پیش‌بینی مصرف‌های شبانه آب مشترکین خانگی انجام گرفته است که نتایج به صورت خلاصه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- تحقیقات انجام شده در زمینه تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی (Fantozzi and Lambert, 2012; Amoatey et al., 2014)

منطقه مورد مطالعه	شرایط درنظر گرفته شده در تعیین مصرف شبانه	سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی*
آفریقای جنوبی، ۱۹۹۹	۶ درصد جمعیت فعال در بازه حداقل جریان شبانه (حجم ۱۰ لیتری مخازن آب شست‌وشو دهندهٔ توالت)	۱/۷ L/household/h ۰/۶ L/person/h
انگلستان، ۲۰۰۱	مشخص نشده	۱/۷ L/household/h
آلمان، ۲۰۰۳	جمعیت ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ نفری در هر منطقه مجزا بدون مصرف‌های صنعتی	۰/۶ L/person/h
استرالیا، ۲۰۰۹	حجم مخزن آب شست‌وشو دهندهٔ توالت و نشت از شیرآلات	۱/۰۸ L/household/h
ایالات متحده، تنسی، ۲۰۱۰	اشتراک روستایی- حجم مخزن آب شست‌وشو دهندهٔ توالت	۵/۶۸ L/household/h
اوگاندا، کامپالا، ۲۰۱۲	تحلیل حداقل جریان شبانه	۳ L/household/h
استرالیا	جمعیت ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ نفری در هر منطقه مجزا بدون مصرف‌های صنعتی	۰/۴ تا ۰/۸ L/person/h
کانادا	مشخص نشده	۳ L/household/h
مالزی	مشخص نشده	۵ L/ household /h
منطقه‌ای در جنوب شرق آسیا	۳ تایی بودن بعد خانوار و استفاده ۳ درصد جمعیت فعال از توالت، حمام و شیر آب	۱/۴ L/household/h ۰/۴۵ L/person/h

* L/household/h: برابر میزان مصرف هر اشتراک (با توجه به بعد خانوار در آن) به ازای لیتر در هر ساعت و L/person/h: میزان مصرف هر نفر به‌ازای لیتر در هر ساعت است.

در سال ۱۳۹۰ در ایران طبق مطالعه‌ای، مصرف شبانه مشترکین خانگی به‌کمک روش ناحیه پایش مصرف در روستای خلازیر از توابع شهرستان تهران تعیین شد. به‌همین منظور داده‌های جریان ورودی به ناحیه به مدت شش ماه در طی فصول تابستان و پاییز سال ۱۳۹۰ ثبت شد. برای تعیین مصرف شبانه مشترکین، بازه شبانه بدین‌صورت تعیین شد که در هر شب کم‌ترین جریان ثبت شده توسط کنتور شناسایی شده و سپس با ایجاد یک بازه دو ساعته (یک ساعت قبل و بعد از زمان وقوع کم‌ترین جریان ثبت شده توسط کنتور)، بازه شبانه انتخاب شد. مصرف شبانه مشترکین با میانگین‌گیری از جریان ورودی به ناحیه در بازه شبانه و کم کردن مقدار نشت شبکه از آن تعیین شد. در این مطالعه سرانه مصرف شبانه مشترکین خانگی

روستایی، ۲/۱۵ لیتر به‌ازای هر نفر در ساعت تعیین شد (مالمیر، ۱۳۹۰).

در یک جمع‌بندی کلی از مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که متداول‌ترین روش‌ها برای تخمین و برآورد مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی با کم‌ترین میزان خطا عبارتند از:

۱- بررسی مصرف شبانه هر یک از مشترکین ناحیه به‌صورت مجزا از یکدیگر (روش مستقیم)؛

۲- ایجاد مناطق پایش مصرف‌ها و ثبت مقدار جریان ورودی به این ناحیه در فواصل زمانی بسیار کوتاه (روش غیرمستقیم).

مزیت روش اول در آن است که اندازه‌گیری مصرف‌ها با دقت بسیار زیاد صورت می‌پذیرد و لیکن در این روش‌ها کفایت نمونه انتخاب شده از نظر کمیت و تناسب با جامعه بسیار حائز اهمیت است و از سویی اجرای آن‌ها مستلزم صرف هزینه زیاد است.

مزیت روش دوم در آن است که اولاً مناطق پایش مصرف تعداد نسبتاً زیادی از مشترکین را دربر می‌گیرند و مشکل نمونه‌گیری در آن کم‌تر است. ثانیاً به‌علت برهم نهی مصرف‌های جزئی مشترکین و افزایش حجم کلی آن‌ها در ورودی شبکه، امکان شناسایی و ثبت این‌گونه مصرف‌هایی که حجم آن‌ها کمتر از آستانه اندازه‌گیری کنتورهای مشترکین است و این کنتورها قادر به ثبت آن‌ها نیستند فراهم می‌شود. نقطه ضعف این روش آن است که در وهله اول از دقت کم‌تری در محاسبه مصرف‌ها برخوردار است و دوم آن‌که وجود مشترکین پرمصرف و مشترکین غیرخانگی در ناحیه می‌تواند موجب انحراف نتایج شود.

۳- جمع‌بندی

در این مقاله مروری بر مطالعات تعیین مصرف شبانه آب مشترکین خانگی انجام گرفت. با بررسی مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که برای تعیین مصرف‌های شبانه مشترکین خانگی، روش‌های مختلفی وجود دارد که تمامی آن‌ها بر پایه برآورد و تخمین است و هیچ‌کدام از این روش‌ها توانایی محاسبه دقیق مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی را ندارد.

مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در هر یک از مطالعات انجام شده، مقداری خاص و متفاوت بوده و دامنه تغییرات این مقادیر در حدود ۱/۴ تا ۸/۲۳ لیتر بر هر اشتراک در ساعت است. علت را می‌توان علاوه بر تفاوت‌های موجود در روش‌های برآورد مصرف، در تفاوت‌های موجود در موقعیت جغرافیایی، فرهنگی، وضعیت اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، مذهبی، شرایط آب و هوایی و غیره دانست. لذا استفاده از مقادیر مصرف شبانه آب مشترکین خانگی اندازه‌گیری شده در سایر مطالعات، در منطقه‌ای دیگر لزوماً صحیح نیست و منجر به تولید خطا در تخمین نشت خواهد شد. بنابراین مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی با توجه به عوامل تأثیرگذار بر آن باید در منطقه‌ای که مورد نیاز است، اندازه‌گیری شود. در نقد و بررسی مطالعات انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بازه حداقل جریان شبانه از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تعیین مصرف شبانه آب خانگی است. به‌صورت استاندارد بازه حداقل جریان شبانه، حداقل بازه یک ساعته است. این مسئله در هر دو روش مستقیم و غیرمستقیم باید مدنظر قرار گیرد و درصورت استفاده از بازه‌های دیگر (نظیر بازه ۲ ساعته و یا ۱۵ دقیقه‌ای)، مقدار مصرف اندازه‌گیری شده را باید اصلاح کرد (Farley and Trow, 2007)؛
- در روش غیرمستقیم، تخمین نشت ناحیه ایزوله شده از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تعیین مصرف شبانه آب خانگی است. در مطالعات صورت‌گرفته به کمک این روش، عموماً با فرض ناچیز بودن مقدار نشت داخلی منازل، اقدام به تعیین نشت ناحیه می‌شود. استفاده از این روش در مناطقی با ساختمان‌های مسکونی قدیمی با مقادیر نشت داخلی زیاد، کارآمد نبوده و باعث بروز خطا در محاسبات می‌شود؛
- در تعیین مصرف شبانه خانگی به‌کمک روش غیرمستقیم، قبل از اندازه‌گیری جریان ورودی به ناحیه، باید عملیات نشت‌یابی فعال انجام شود. از این‌طریق احتمالاً تنها نشت موجود در ناحیه، نشت زمینه خواهد بود. علاوه‌بر این باید تغییرات فشار در زمان اندازه‌گیری جریان ورودی به ناحیه حداقل باشد؛ چرا که تغییرات فشار موجب تغییرات مقدار نشت و به تبع از آن موجب تغییرات و احتمال بروز خطا در تعیین مقدار مصرف شبانه خانگی می‌شود؛
- در روش مستقیم، تخمین مصرف شبانه مشترکین خانگی به نشت شبکه وابسته نبوده و به‌دلیل اندازه‌گیری میزان نشت داخلی منازل به‌عنوان مصرف شبانه، از دقت بهتری نسبت به روش غیرمستقیم برخوردار است؛
- در روش مستقیم احتمال بروز خطا در خواندن کنتورها زیاد است. استفاده از کنتورهای قرائت از راه دور ترجیح داده می‌شود؛
- مصرف شبانه تعیین‌شده در مطالعه انجام شده در ایران، مربوط به مناطق روستایی است و نمی‌توان از آن در مناطق شهری استفاده نمود؛
- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در مناطق گردشگری (هم‌چون شهر بانکوک)، به‌دلیل فعال بودن بیشتر افراد در طول شب، بیش‌تر از مناطق غیر گردشگری است؛

- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین در کشورهای اسلامی (هم‌چون مالزی)، به‌دلیل تفاوت در عادات و رفتارهای مذهبی نسبت به کشورهای غیر اسلامی (هم‌چون انگلستان، آلمان و استرالیا)، احتمالاً بیش‌تر است؛
- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین خانگی در روزهای تعطیل و یا آخر هفته، به‌دلیل فعال‌بودن بیش‌تر مشترکین در بازه شبانه، بیش‌تر از مصرف شبانه در روزهای کاری هفته است؛
- مقدار مصرف شبانه آب مشترکین روستایی به‌دلیل وجود دام و طیور در این مناطق و هم‌چنین متفاوت بودن عادات اجتماعی این مشترکین نسبت به مشترکین شهری، متفاوت و احتمالاً بیش‌تر است؛
- در کشور ایران مصرف شبانه آب مشترکین خانگی براساس نشریه ۵۵۶، برابر با مقدار ۰/۶ لیتر زای هر نفر در هر ساعت پیشنهاد شده است، که این مقدار برگرفته از تحقیقات انجام شده در انگلستان در دهه ۱۹۹۰ میلادی و براساس ویژگی‌های محلی است. لذا با توجه به تفاوت‌های موجود به لحاظ فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی، مذهبی، جغرافیایی و غیره، بین کشور ایران و انگلستان و از طرفی با توجه به تأثیرگذاری مصرف‌های شبانه آب مشترکین خانگی بر تخمین میزان نشت شبکه و اهمیت این موضوع در تدوین برنامه‌ها و سیاست‌های کنترل تلفات لازم است که به‌منظور تعیین مقادیر ملی و منطقه‌ای سرانه مصرف‌های شبانه مشترکین خانگی، مطالعات گسترده‌ای در سطح کشور در این خصوص انجام شود.

۴- پی‌نوشت‌ها

1- Water Loss
2- Non-Revenue Water (NRW)
3- Top-Down Water Balance
4- Bursts and Background Estimates (BABE)
5- Minimum Night Flow (MNF) Analysis
6- District Metered Areas (DMAs)
7- Household Night Consumption
8- Consumption Monitor Areas (CMAs)
9- Net Night Flow (NNF)
10- Automatic Meter Reading (AMR)
11- Average Zone Night Pressure (AZNP)

۵- مراجع

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری- امور نظام فنی، (۱۳۹۱)، راهنمای *شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن*، نشریه ۵۵۶، وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا.

مالمیر، ج.، (۱۳۹۰)، "بررسی میدانی مصرف شبانه آب مشترکین خانگی و عوامل موثر بر آن (مطالعه موردی روستای خلازیر - شهرستان تهران)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Amoatey, P. K., Minke, R., and Steinmetz, H., (2014), "Leakage estimation in water networks based on two categories of night-time users: A case study of a developing country network", *Water Science and Technology: Water Supply*, 14(2), 329-336.

Creasey, J., Joy, J., and Oakes, A., (1996), *Direct assessment of district leakage levels, water research centre*. Report No. PT 1097. United Kingdom.

Fanner, P., Davis, S., Hoogerwerf, T., Liemberger, R., Sturm, R., and Thornton, J., (2008), *Leakage management technologies*, Water Environment Research Foundation.

Fantozzi, M., and Lambert, A., (2012), "Residential night consumption-assessment, choice of scaling units and calculation of variability", *Proceedings of the IWA Water Loss Conference*, Manila, Philippines, pp. 26-29.

Farley, M., and Trow, S., (2007), *Losses in water distribution networks*, UK: IWA Publishing.

Hunaidi, O., (2010), "Leakage management for water distribution infrastructure, Report 1: Results of DMA experiments in Regina, SK", *National Research Council Canada*, June.

Hunaidi, O., and Brothers, K., (2007), "Night flow analysis of pilot dmas in ottawa", In *Proceedings of the Water Loss Specialist Conference*, Canada, pp. 32-46.

Industry, U. K. W., (1994), *Managing leakage report e: Interpreting measured night flows*, WRc plc/Water Service Association/Water Companies Association, Swindon, UK.

Islam, M. S., (2005), *Analysis and management of leakage in a selected area of bangkok water distribution network*, Asian Institute of Technology.

Kingdom, B., Liemberger, R., and Marin, P., (2006), "The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries: How the private sector can help", *Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion*, No. 8.

Thornton, J., Sturm, R., and Kunkel, G., (2008), *Water loss control*, 2nd Edition, New York: McGraw-Hill Education.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.