



## Assessment of Household Water Saving Due to Using Water-Efficient Fixtures and Faucets

A. Maleki Nasab<sup>1\*</sup>, M. Tabesh<sup>2</sup>  
and M. Ghalibaf Sarshoori<sup>3</sup>

### Abstract

Water resources management bodies are under increasing pressure to meet potable water demands. Population growth and socio-economic development have led to the increase in urban water consumption and costly development and improvement of the water-wastewater systems. Therefore, there is a need to integrate the water resources supply and demand management measures. The main part of the urban water demand is residential consumption. One of the most effective residential water conservation measures can be the use of water-efficient fixtures and faucets. In this study, decrease in water consumption is evaluated due to the use of single handle faucets and water-saving fixtures including low-flow showerheads and aerators in sample households in the city of Shandiz, Iran. An appropriate sample size of 23 households was selected using a two-stage sampling technique. To gauge the end-uses of residential water such as toilets, showers, and lavatories, separated measuring devices were installed for each receiving part. For the base condition the daily end-uses of selected households were recorded for 9 days with their traditional faucets. Water-efficient fixtures and faucets were then installed and water consumption was measured for another 9-day period. Results indicated that installing water-efficient faucets, aerators, and showerheads can reduce total consumption of water in the Shandiz residential sector by about 26 percent arising from a 27 to 34 percent reduction in different end-uses. The cost-effectiveness of a retrofit project for households in Shandiz City is also evaluated in this study. The results indicated that the benefit to cost ratio for the project is greater than 2.

**Keywords:** Demand Management, Low-flow Fixtures, Water-efficient Faucets, Water Conservation, Residential Water Consumption.

## بررسی میدانی تاثیر نصب تجهیزات و شیرآلات کم مصرف در کاهش مصرف آب خانگی

احمد ملکی نسب<sup>۱\*</sup>، مسعود تابش<sup>۲</sup>  
و مهدی قالیباف سرشوری<sup>۳</sup>

### چکیده

منابع تامین آب با فشار فزاینده‌ای برای پاسخ به نیازهای رو به رشد شهرها مواجه هستند. رشد جمعیت و توسعه اقتصادی- اجتماعی موجب افزایش مصرف آب و تحمیل هزینه‌های هنگفت برای توسعه تاسیسات آب و فاضلاب شده است. در این شرایط، مدیریت منابع آب به شدت نیازمند نگاهی جامع می‌باشد که برنامه‌های مدیریت تامین را در کنار مدیریت تقاضا راهبری نماید. مصرف آب خانگی بخش اصلی مصرف آب شهری را به خود اختصاص می‌دهد. از اقدامات معمول و موثر در کاهش مصرف آب خانگی، استفاده از شیرآلات و تجهیزاتی می‌باشد که بدین منظور طراحی شده‌اند. در این مقاله، استفاده از شیرهای بهداشتی اهرمی و تجهیزات کاهنده مصرف شامل درفشان و دوش‌های کم مصرف در سطح شهر شاندیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور پس از تعیین حجم نمونه مناسب، ۲۳ مشترک از میان مشترکین خانگی شهر شاندیز با استفاده از نمونه‌گیری دو مرحله‌ای انتخاب گردیدند. جهت اندازه‌گیری دقیق مصرف آب در قسمت‌های مختلف، کنتورهای مجزا برای کلیه مصارف انتهایی مشترکین منتخب نصب گردید. مصرف آب مشترکین به تفکیک مصارف انتهایی، به صورت روزانه و در یک دوره زمانی ۹ روزه اندازه‌گیری شد. سپس شیرها و تجهیزات کم‌مصرف در منازل مشترکین نصب و مصارف انتهایی برای یک دوره زمانی ۹ روزه دیگر اندازه‌گیری شدند. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که جایگزینی شیرآلات جدید موجب کاهش ۲۷ تا ۳۴ درصدی در مصارف انتهایی مربوطه و به‌طور متوسط موجب کاهش کل مصرف آب خانگی به میزان ۲۶ درصد در شهر شاندیز می‌شود. در این مقاله همچنین طرح نصب تجهیزات کم مصرف در منازل مشترکین خانگی شهر شاندیز مورد ارزیابی مالی- اقتصادی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نسبت درآمد به هزینه اجرای این طرح در شهر شاندیز بیش از ۲ می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** مدیریت تقاضا، تجهیزات کاهنده مصرف، شیرآلات کم مصرف، صرفه‌جویی، مصرف آب خانگی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۵ تیر ۱۳۸۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴ بهمن ۱۳۸۸

1- M.Sc. in Water Engineering, Rayab Consulting Engineers Co., Tehran, Iran, Email: maleki\_nasab@yahoo.com

2- Associate Professor, Center of Excellence for Engineering and Management of Infrastructures, School of Civil Engineering, University of Tehran, Iran, Email: mtabesh@ut.ac.ir

3- M.Sc. in Environmental Engineering, Rayab Consulting Engineers Co., Tehran, Iran, Email: ghalibaf341@yahoo.com

\*- Corresponding Author

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران- آب، شرکت مهندسی مشاور ری آب

۲- دانشیار و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساختها، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، شرکت مهندسی مشاور ری آب

\*- نویسنده مسئول

استفاده از شیرآلات و تجهیزات کم مصرف یکی از رایج ترین و موثرترین اقدامات جهت کاهش مصرف آب شهری می باشد. درفشان ها و سردوش های کاهنده مصرف از جمله این تجهیزات می باشند. این قطعات با مکانیزم خاص خود مثل مخلوط کردن آب با هوا، کاهش فشار و پودر کردن آب، مصرف آب را کاهش می دهند. سردوش های معمولی تا ۲۵ لیتر در دقیقه آب مصرف می کنند؛ این در حالی است که در صورت کیفیت و عملکرد مناسب سردوش، جریان ۹ لیتر آب در دقیقه برای دوش گرفتن کافی می باشد (Day and White, 2003). تحقیقات (Whitcomb 1990) نشان می دهد که استفاده از سردوش های کم مصرف، ۶/۴ درصد مصرف آب خانگی را کاهش می دهد. شیرهای اهرمی نیز از جمله شیرآلاتی می باشند که با تسریع قطع و وصل جریان آب و تنظیم گرمای آن و نیز عدم نیاز به تنظیم گرمای آب خروجی در هر بار باز و بسته کردن، تاثیر کاهنده در میزان آب مصرفی دارند.

در میان مصارف مختلف آب شهری، مصرف آب خانگی با توجه به اینکه سهم بیشتری را به خود اختصاص می دهد نیازمند توجه ویژه در طرح های مدیریت تقاضا می باشد. اجزای مصرف آب خانگی و مقدار مصرف آب در هر بخش با توجه به شرایط آب و هوایی و میزان توسعه اقتصادی - اجتماعی تغییر می کند. بخش های مختلف مصرف آب خانگی می تواند شامل مصارف داخل منزل<sup>۱</sup> مثل مصارف آشپزخانه و حمام و مصارف خارج منزل<sup>۲</sup> مثل آبیاری باغچه ها و شستشوی حیاط گردد. در این مقاله منظور از مصرف آب خانگی، کل مصرف آب خانه اعم از داخل منزل و خارج منزل می باشد. طبق الگوی پیشنهادی استاندارد مهندسی آب کشور برای مصرف آب خانگی در نشریه شماره ۳-۱۱۷ سازمان برنامه و بودجه (۱۳۷۱)، مجموع آب مصرفی دستشویی، آشپزخانه و حمام در حدود ۷۰ درصد مصرف آب خانگی را در بر می گیرد. بنابراین کاهش مصرف در این بخش ها می تواند تاثیر قابل ملاحظه ای در مصرف آب خانگی داشته باشد.

در تحقیقی که توسط Anderson and Nero (1993) انجام پذیرفته است، تاثیر نصب سردوش و فلاش تانک کم مصرف بر مولفه های مصرف آب ۲۵ مشترک خانگی مورد ارزیابی قرار گرفت. نصب این تجهیزات موجب کاهش مصرف آب داخل منزل به میزان ۱۵/۶ درصد گردید. ملکی نسب و همکاران (۱۳۸۶) استفاده از قطعات کاهنده مصرف شامل درفشان و سردوش کم مصرف آب را در سطح مشترکین خانگی شهر کاشان مورد ارزیابی قرار دادند. طبق نتایج این تحقیق، نصب کامل این تجهیزات در حدود ۲۲ درصد

امروزه شهرها به عنوان کانون اصلی تمرکز جمعیت و فعالیتهای صنعتی، تجاری و خدماتی، با توجه به رشد جمعیت، توسعه روزافزون، محدودیت منابع تامین آب شرب و ملاحظات اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و زیست محیطی، به شدت نیازمند مدیریت جامع منابع آب می باشند. شرایط موجود در بسیاری از شهرهای ایران از نظر منابع و مصارف آب در حال و آینده، توجه به امر مدیریت تقاضا را در کنار برنامه ریزی و مدیریت تامین آب اجتناب ناپذیر می سازد. در شهرهای بیشتر مناطق کشور عموماً منابع ارزان و محلی تامین آب قبلاً مورد بهره برداری قرار گرفته و سایر منابع تامین آب، از محل مصرف دور بوده و نیازمند صرف هزینه زیاد برای بهره برداری می باشند. با توجه به اینکه در اغلب موارد بازدهی طرح های مدیریت تقاضا بیشتر از طرح های افزایش ظرفیت تامین خصوصاً در شرایط محدودیت منابع آب می باشد، تخصیص اعتبار و سرمایه گذاری در این بخش می تواند منافع بسیاری را به همراه داشته باشد.

اگر چه مصارف آب شهری در مقایسه با مصرف کشاورزی درصد کمتری را به خود اختصاص می دهد ولی با توجه به هزینه های هنگفت انتقال، تصفیه و توزیع آب شرب، صرفه جویی در مصرف آب در این بخش نیز می تواند منافع قابل ملاحظه ای به همراه داشته باشد. همچنین تامین مصارف آب شرب به علت مسائل بهداشتی و نیاز اولیه و اساسی انسان به آب و نیز احتمال بروز تنش های اجتماعی، از حساسیت و اولویت بیشتری برخوردار است که خود لزوم آینده نگری و بهره برداری بهینه از منابع موجود در این بخش با هدف تامین نیازهای آتی را بیش از پیش نمایان می سازد. کمبود منابع آب با کیفیت مناسب و هزینه هنگفت طرح های توسعه تامین آب، در نهایت سازمان ها را مجبور خواهد ساخت تا به مدیریت تقاضا و اجرای برنامه های مدیریت مصرف آب به عنوان یک راه حل نسبتاً کم هزینه، پایدار و قابل اعتماد روی آورند. مدیریت تقاضا کمک می کند که بیشترین خدمات آبی با حداقل حجم آب ممکن فراهم شود. برقراری تعادل مناسب بین گسترش ظرفیت تامین و مدیریت تقاضای آب می تواند علاوه بر کاهش هزینه های بهره برداری، منافع زیادی از جمله حذف، کاهش و یا به تاخیر انداختن هزینه های بالای توسعه ظرفیت تامین و آثار مخرب زیست محیطی ناشی از آن را به همراه داشته باشد (Baumann et al., 1998). صرفه جویی در مصرف آب همچنین موجب کاهش هزینه های هنگفت تصفیه آب و فاضلاب و آثار مخرب زیست محیطی دفع فاضلاب (Paulsen et al., 2007) و نیز صرفه جویی در مصرف انرژی می گردد (Cheng, 2002).

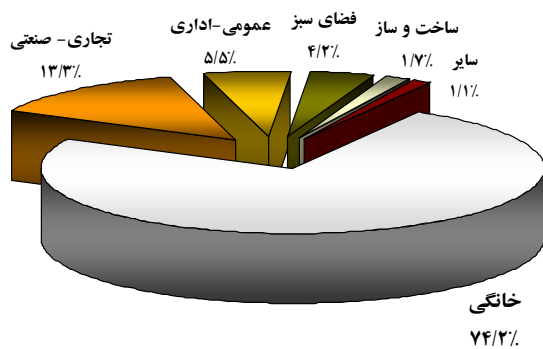
تانک‌های معمولی و کم مصرف را با نصب در داخل دانشگاه اندازه‌گیری کرد. طبق نتایج این تحقیق، استفاده از فلاش تانک‌های کم مصرف به جای فلاش تانک‌های معمولی در حدود ۵۰ درصد مصرف آب در این بخش را کاهش می‌دهد. استفاده از تجهیزات کم مصرف از جمله اقدامات صرفه جویی می‌باشد که از قابلیت پذیرش مناسبی در میان مصرف‌کنندگان برخوردار است. در یک تحقیق پیمایشی که توسط Lant (1993) انجام پذیرفته، قابلیت پذیرش ۱۲ فعالیت صرفه‌جویی در مصرف آب با پیمایش ۲۷۰۰ مشترک خانگی بررسی گردیده است. طبق نتایج این تحقیق، آموزش عمومی و استفاده از تجهیزات کم مصرف، بیشترین مقبولیت را در بین مشترکین داشته‌اند. یکی از عوامل موثر در تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف، قیمت آب است. برای تکمیل طرح استفاده از این تجهیزات، نیاز به تعیین ساختار تعرفه‌ای مناسب برای آب می‌باشد (Donald and Billings, 1996). همچنین استفاده گسترده از تجهیزات و شیرآلات کم مصرف نیازمند فرهنگ سازی و استفاده از ساختارهای انگیزشی، ترویجی و تشویقی مناسب می‌باشد. (Wallace and Barrett (2007) استفاده از تکنیک بازاریابی اجتماعی برای فرهنگ سازی جایگزینی سردوش‌های کم مصرف در منازل مشترکین خانگی را مورد بررسی قرار داده‌اند.

پروژه‌های مدیریت مصرف آب با توجه به اینکه در ارتباط مستقیم با جامعه و رفتار مصرف‌کنندگان هستند قبل از طراحی و اجرا عموماً نیازمند بررسی‌های موردی و آزمایش‌های میدانی جهت ارزیابی قابلیت اجرا و برآورد مناسب سود، هزینه‌ها و نتایج حاصل از اجرا می‌باشند. در اختیار داشتن برآوردهای قابل اعتماد از سود و هزینه‌های بالقوه طرح‌های مختلف مدیریت مصرف آب و میزان صرفه‌جویی به واسطه اجرای چنین طرح‌هایی می‌تواند این امکان را به مدیران و برنامه‌ریزان بدهد که آگاهانه و دقیق‌تر تصمیم بگیرند. در ایران اگر چه طرح‌های مدیریت مصرف آب در برنامه‌های توسعه مورد توجه قرار گرفته و در سالهای اخیر اعتبارات خاصی جهت اجرای این برنامه‌ها در نظر گرفته شده است ولی عدم برنامه‌ریزی مناسب و شناخت کافی از ماهیت طرح‌های مدیریت مصرف عموماً باعث اتلاف هزینه‌ها در طرح‌های مطالعاتی شده که به بیان مطالب نظری در خصوص مدیریت تقاضا اکتفا نموده و برنامه اجرایی مناسبی جهت پیاده‌سازی طرح‌های مدیریت مصرف در جامعه و حصول نتایج عملی از آنها ارائه نمی‌دهند. بررسی میدانی طرح‌های مدیریت مصرف از جمله نصب تجهیزات و شیرآلات کم مصرف می‌تواند با ایجاد شناخت مناسب از نتایج و بازخوردهای احتمالی آن، زمینه ساز اجرای موفق این طرح‌ها در مقیاس وسیع تر و در سطح

مصرف آب خانگی شهر کاشان را کاهش داده و می‌تواند نیاز به اجرای طرح‌های آینده تامین آب در این شهر را تا ۶ سال به تاخیر اندازد. برآورد نسبت درآمد به هزینه استفاده از این روش صرفه‌جویی برای شهر کاشان در حدود ۵/۸ به ۱ می‌باشد. بررسی رضایت مصرف‌کنندگان از کیفیت کارکرد تجهیزات نصب شده از بخش‌های دیگر تحقیق انجام شده در شهر کاشان می‌باشد. از نواقص این تحقیق می‌توان به عدم اندازه‌گیری مصارف انتهایی<sup>۳</sup> در بخش‌های مختلف مصرف آب خانگی و میزان کاهش مصرف آب در هر بخش به واسطه نصب تجهیزات کاهنده اشاره نمود. بنابراین لازم است این نقص برطرف شده و به منظور شناخت بهتر عادات مصرف در شهر شاندیز و تاثیرات استفاده از تجهیزات کم مصرف در بخش‌های مختلف، مصارف انتهایی آب با نصب کنتورهای مجزا اندازه‌گیری شود.

Levin et al. (2006) یک مدل تقاضای آب با استفاده از مدل‌سازی مصارف انتهایی با هدف پیش‌بینی تقاضای آب و پتانسیل صرفه جویی در سانفرانسیسکو طراحی نمودند. استفاده از مدل پیش‌بینی تقاضا که بر پایه مدل‌سازی مصارف انتهایی مانند توالی و دوش حمام می‌باشد، به تحلیل‌گران این اجازه را می‌دهد که تاثیرات استفاده از تجهیزات کم‌مصرف و کاهنده مصرف در کاهش تقاضا را به صورت مشخص مشاهده نمایند. Funk (2007) تاثیرات سه روش نوین برای صرفه جویی در مصرف آب خانگی در کاهش مصرف آب و انرژی و صرفه جویی اقتصادی حاصل از آن را مورد آزمایش و ارزیابی قرار داد. این سه روش عبارت بودند از نصب فلاش‌تانک‌های دوگانه<sup>۴</sup>، استفاده از دوش‌های کم‌مصرف و جمع‌آوری و استفاده از آب باران. نتایج این تحقیق نشان دهنده صرفه جویی قابل توجه در مصرف آب خانگی با بکارگیری روش‌های مذکور می‌باشد. همچنین در تحقیقی که توسط Shamsi and Shahidi Bonjar (2004) انجام پذیرفته، صرفه‌جویی در مصرف آب به‌واسطه استفاده از یک وسیله الکترونیکی اتوماتیک که برای باز و بسته کردن دوش حمام طراحی شده بود مورد ارزیابی قرار گرفت. با بکارگیری این وسیله، آب مورد نیاز برای دوش گرفتن به میزان ۷۰ درصد کاهش می‌یابد.

مقادیر اعلام شده برای میزان کاهش مصرف آب توسط تجهیزات کم مصرف توسط شرکت‌های سازنده ملاک بسیاری از طرح‌های مدیریت مصرف آب قرار می‌گیرد. در حالی که این مقادیر مربوط به شرایط آزمایشگاهی بوده و لازم است که تاثیر این تجهیزات بر مصرف آب در شرایط واقعی و در ارتباط با عادات مصرف مشترکین مشخص گردد. (Hwang (2003) مصرف واقعی چند نوع از فلاش



شکل ۱- سهم کاربریهای مختلف از مصرف آب شهر شاندیز در سال ۱۳۸۴

هزینه‌ها و محدودیت‌های اجرای آزمایشات و گردآوری داده‌ها، کاهش حجم نمونه را تا اندازه‌ای که دقت پارامترهای برآورد شده با توجه به اهداف آزمایش قابل قبول باشد توجیه پذیر می‌سازد. برای جمع آوری داده‌ها محدودیت‌های عملی وجود دارد. محدودیت‌های اصلی عبارتند از هزینه، زمان و در دسترس بودن. از سوی دیگر هرچه اندازه نمونه بزرگتر باشد، نتایج حاصل به واقعیت موجود در جامعه نزدیک‌تر خواهد بود. بنابراین باید بین هزینه‌های ناشی از تعیین حجم بزرگتر برای نمونه و افزایش صحت نتایج حاصل از آن، تعادل<sup>۶</sup> ایجاد شود. با استفاده از رابطه ۱ می‌توان اندازه مناسب برای نمونه را بر اساس سطح دقت<sup>۸</sup> و سطح اعتماد<sup>۹</sup> مطلوب محاسبه نمود (عمیدی، ۱۳۷۸).

$$n = \frac{NZ^2}{Nd^2 + Z^2} \quad (1)$$

که  $n$ : اندازه نمونه،  $N$ : اندازه جامعه،  $Z$ : مقدار آماره  $Z$  از توزیع نرمال با توجه به سطح اعتماد و  $d$ : سطح دقت به صورت ضربی از انحراف معیار می‌باشد. بدین ترتیب خواهیم داشت:

$$\Pr(|\mu - \bar{x}| \leq d\sigma) = 1 - 2\alpha \quad (2)$$

به عبارت دیگر، احتمال کمتر بودن اختلاف میانگین جامعه ( $\mu$ ) و نمونه ( $\bar{x}$ ) از سطح دقت ( $d\sigma$ )، برابر سطح اعتماد  $(1 - 2\alpha)$  خواهد بود.

تعداد مشترکین خانگی شهر شاندیز در سال ۱۳۸۵ برابر ۱۹۵۰ بوده است ( $N = 1950$ ). در این آزمایش با توجه به مشکلات اجرایی و عدم همکاری مناسب برخی از مشترکین، در نهایت امکان اندازه گیری کامل مصارف آب در منازل ۲۳ مشترک خانگی در شهر شاندیز فراهم شد. با انتخاب سطح اعتماد ۹۰ درصد ( $Z = 1.64$ ) و با در نظر گرفتن  $n = 23$ ، سطح دقت ( $d$ ) از رابطه ۱ برابر با ۰/۳۴ بدست می‌آید. بنابراین با احتمال ۹۰ درصد، میانگین مصارف

جامعه باشد. اگرچه جهت ارزیابی نتایج حاصل از جایگزینی قطعات و تجهیزات کم مصرف در کشورهای پیشرفته مطالعاتی انجام پذیرفته و در این مقاله نیز به برخی از آنها اشاره گردید ولی نیاز به بررسی میدانی نتایج نصب این تجهیزات در شهرهای کشور با توجه به الگوی مصرف و ویژگی‌های بومی و خاص اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی حاکم، همواره وجود داشته است. با توجه به این نیاز، در این تحقیق جایگزینی شیرهای بهداشتی اهرمی و تجهیزات کاهنده مصرف شامل درفشان و دوش‌های تلفنی کم مصرف با انتخاب نمونه از میان مشترکین خانگی شهر شاندیز و اندازه گیری مصرف آب، قبل و بعد از جایگزینی شیرآلات با نصب کنتورهای مجزا برای کلیه مصارف انتهایی در بخش‌های مختلف بررسی شده است. همچنین طرح نصب تجهیزات کم مصرف در منازل کلیه مشترکین خانگی شهر شاندیز مورد ارزیابی مالی- اقتصادی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- انتخاب محل

شهر شاندیز با جمعیت ۶۴۰۰ نفر در سال ۱۳۸۵، در ۱۵ کیلومتری غرب شهر مشهد واقع شده است. میانگین سالیانه دما در این شهر ۱۳ درجه سانتیگراد و متوسط بارش در حدود ۳۰۰ میلیمتر در سال می‌باشد. با توجه به این مقادیر، اقلیم منطقه در تقسیم‌بندی‌های آمبرژه<sup>۵</sup> و دومارتن<sup>۶</sup> نیمه خشک می‌باشد. شهر شاندیز با توجه به جاذبه‌های طبیعی و گردشگری، پذیرای مسافران و گردشگران بسیاری می‌باشد. منابع تامین آب شهر شاندیز شامل ۱ رشته قنات و ۳ حلقه چاه است. کاربری خانگی در حدود ۷۵ درصد مصرف آب این شهر را به خود اختصاص می‌دهد. شکل ۱، سهم مصرف آب کاربری‌های مختلف در شهر شاندیز از کل مصرف آب این شهر را نشان می‌دهد. سرانه کل مصرف آب شهر شاندیز در حدود ۲۱۰ لیتر (بدون احتساب آب به حساب نیامده) و سرانه مصرف آب خانگی آن در حدود ۱۶۰ لیتر به‌ازای هر نفر در روز می‌باشد. با توجه به رشد جمعیت شاندیز در سالهای اخیر و محدودیت منابع تامین آب و نیز شرایط خاص تفریحی و گردشگری آن، مدیریت مصرف آب و تاثیرات آن در کاهش بحران‌های احتمالی ناشی از کمبود آب در این شهر امری حیاتی و ضروری می‌باشد.

### ۲-۲- تعیین اندازه مناسب نمونه

یکی از مهمترین مراحل نمونه گیری، تعیین حداقل اندازه مناسب نمونه براساس اهداف تحقیق و دقت مورد نیاز آن می‌باشد.

آب مشترکین خانگی شهر شاندیز در دوره زمانی آزمایش (میانگین جامعه)، بیشتر از مقدار ۰/۳۴ برابر انحراف معیار، از میانگین نمونه فاصله نخواهد داشت. انحراف معیار مصرف آب مشترکین منتخب در دوره زمانی ۹ روزه قبل از نصب شیرآلات برابر ۱۳۹۵ لیتر می‌باشد؛ بنابراین سطح دقت یا به عبارت دیگر خطای برآورد میانگین مصرف آب مشترکین برابر با ۴۷۴ لیتر خواهد بود. میانگین مصرف مشترکین منتخب در دوره مذکور برابر ۶۳۰۱ لیتر می‌باشد، لذا میزان خطای نسبی ۷/۵ درصد به دست می‌آید که با توجه به اهداف تحقیق پیمایشی حاضر و هزینه‌های اجرای آن که اصلی‌ترین عامل محدود کننده تعداد نمونه‌ها است، رقم مناسبی می‌باشد.

### ۲-۳- انتخاب نمونه

جهت انتخاب نمونه مناسب از بین مشترکین خانگی شهر شاندیز و اطمینان از پراکندگی کافی نمونه در سطح شهر به شکلی که برآیند سطوح مختلف اقتصادی و فرهنگی ساکنین شهر شاندیز و نیز توپوگرافی متغیر این شهر باشد، از نمونه‌گیری دو مرحله‌ای به این شرح استفاده شد:

#### مرحله اول: انتخاب از میان بلوک‌های شهر به صورت نمونه‌گیری با احتمال متغیر

برای انتخاب از میان بلوک‌های شهر شاندیز با احتمال متغیر از روش RHC<sup>10</sup> استفاده شده است. با توجه به مکانیزم دو مرحله‌ای این روش (عمیدی، ۱۳۷۸)، ابتدا ۸۵ بلوک شهر شاندیز در ۵ گروه ۱۱ تایی و ۳ گروه ۱۰ تایی به صورت تصادفی گروه‌بندی شدند. سپس یک بلوک از هر گروه با روش نمونه‌گیری احتمالی متناسب با حجم (pps<sup>11</sup>) انتخاب گردید. احتمال انتخاب بلوکها متناسب با تعداد خانوار ساکن در آنها بوده است. بدین ترتیب به بلوک‌هایی که دارای خانوار بیشتری هستند احتمال انتخاب بیشتری داده می‌شود. برآورد واریانس مقادیر جامعه در روش RHC با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد (عمیدی، ۱۳۷۸).

(۳)

$$s_{RHC}^2 = \frac{n}{N^2} \left( \frac{N-1}{N-n} \right) \left[ \left( \sum_{K=1}^n N_K^2 - N \right) / \left( N^2 - \sum_{K=1}^n N_K^2 \right) \right] \left[ \sum_{K=1}^n \left( \frac{Y_{iK}}{P_{iK}} - \hat{T}_{RHC} \right)^2 P_K \right]$$

که  $N$ : تعداد اعضای جامعه،  $n$ : تعداد اعضای نمونه،  $N_K$ : تعداد اعضای گروه  $K$  ام،  $Y_{iK}$ : عضو  $i$  ام از گروه  $K$  ام،  $P_{iK}$ : احتمال تخصیص یافته به عضو  $i$  ام از گروه  $K$  ام که در این آزمایش

متناسب با تعداد خانوار ساکن در بلوک می‌باشد،  $\hat{T}_{RHC}$ : برآورد مجموع مقادیر جامعه و  $P_K$ : مجموع احتمالات اعضای گروه  $K$  ام می‌باشد.

در این تحقیق به منظور انتخاب نمونه از میان بلوک‌های شهر شاندیز، برنامه نمونه‌گیری به روش RHC در نرم افزار S-Plus نوشته شده و اجرا گردید. نرم افزار S-Plus یک محیط قوی برای تحلیل‌های آماری و گرافیکی داده‌ها می‌باشد. این نرم افزار با برخورداری از کارایی وسیع در نظریه‌های مختلف آمار در سطوح مقدماتی و پیشرفته، توسط پژوهشگران در سال‌های اخیر به عنوان ابزاری مهم در عمده تحلیل‌های کمی داده‌ها و مدل‌های آماری و استخراج نتایج مورد استفاده قرار گرفته است (Venables and Ripley, 2002).

#### مرحله دوم: انتخاب نمونه از میان مشترکین خانگی بلوک‌های منتخب

در مرحله دوم، مشترکین خانگی نمونه از بین مشترکین بلوک‌های منتخب با استفاده از روش نمونه‌گیری سیستماتیک<sup>۱۲</sup> انتخاب شدند. در نمونه‌گیری سیستماتیک نیاز به یک عدد مبدأ و یک عدد فاصله می‌باشد. در این آزمایش، اولین خانوار ساکن در گوشه جنوب غربی هر بلوک به عنوان مبدأ در نظر گرفته شد. عدد فاصله نیز از تقسیم تعداد مشترکین خانگی ساکن در هر بلوک به تعداد نمونه اختصاص یافته به آن بدست می‌آید. جهت تعیین سهم مشترکین خانگی نمونه در هر یک از بلوک‌های منتخب نسبت به کل حجم نمونه، از روش تخصیص متناسب استفاده شده است. به این ترتیب از هر یک از بلوک‌های منتخب به نسبت تعداد مشترکین خانگی آنها اقدام به انتخاب نمونه شد.

### ۲-۴- سیر مراحل آزمایش

جهت اندازه‌گیری مصارف انتهایی در بخش‌های مختلف مصرف آب مشترکین خانگی نمونه، از کنتورهای توریبی با کوپلینگ مغناطیسی و دقت اندازه‌گیری در حد کلاس C استفاده شد. تعدادی از کنتورهای مورد استفاده به صورت تصادفی انتخاب و صحت کارکرد آنها در حالت‌های افقی و عمودی و برای شدت‌های مختلف جریان آب با استفاده از ظرف ۲۰ لیتری مدرج تست گردید. پس از انتخاب مشترکین خانگی جهت انجام آزمایش در سطح شهر شاندیز، کلیه مصارف انتهایی در منازل این مشترکین شناسایی و جهت نصب کنتور آماده شدند. پس از نصب، کارکرد کنتورها برای یک دوره

### ۳- تحلیل نتایج

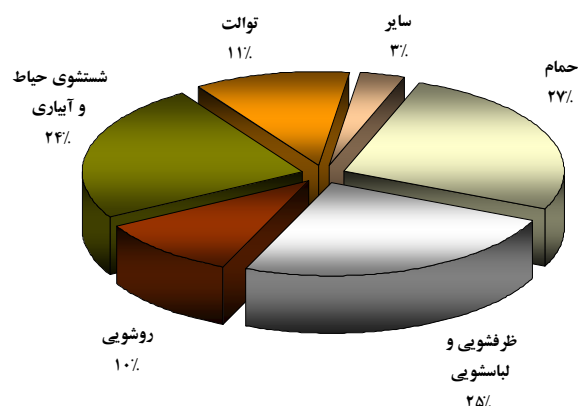
#### ۳-۱- تحلیل آماری

شکل ۳، درصد کاهش مصرف آب مشترکین در مرحله بعد از نصب شیرآلات کم مصرف را نسبت به مرحله قبل از آن نشان می‌دهد. مقادیر منفی به منزله افزایش نسبی در مصرف آب می‌باشند. همچنین در جدول ۱، متوسط مصرف آب مشترکین در بخش‌های مختلف، قبل و بعد از جایگزینی شیرآلات با توجه به تعداد کل ساکنین منازل مشترکین برحسب لیتر به ازای هر نفر در روز ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نصب شیرآلات جدید به طور متوسط موجب کاهش مصرف آب مشترکین به میزان ۲۶ درصد شده است، به‌طوری‌که مصرف سرانه مشترکین از ۱۷۱ لیتر در روز در مرحله قبل از نصب به ۱۲۸ لیتر در روز در دوره زمانی بعد از آن کاهش یافته است. مطابق جدول ۱، نصب شیرآلات کم مصرف موجب کاهش ۲۷ تا ۳۴ درصدی در مصارف بخش‌هایی شده که جایگزینی شیرآلات به طور کامل انجام پذیرفته است.

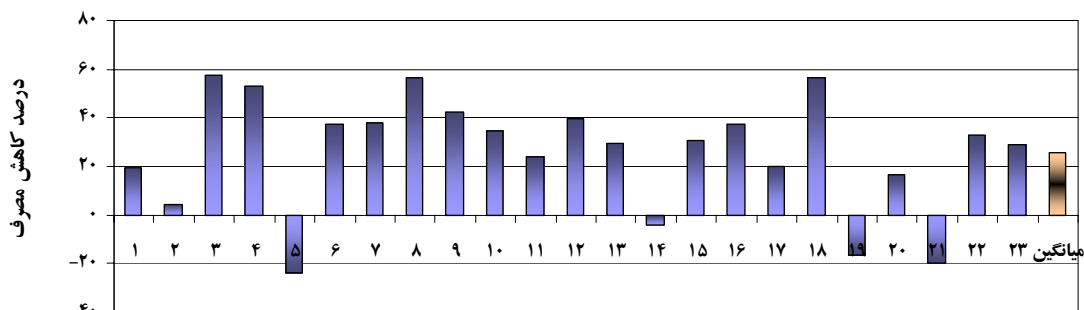
برای تشخیص معنی‌دار بودن اختلاف میانگین مصارف آب مشترکین نمونه، قبل و بعد از نصب شیرآلات کم‌مصرف از آزمون تی-استیودنت جفتی<sup>۱۳</sup> استفاده شده است. کاربرد این آزمون در مواردی می‌باشد که به جای انتخاب دو گروه نمونه به عنوان شاهد و تیمار برای اندازه‌گیری تاثیر متغیر آزمایش در مقادیر آزمودنی‌ها<sup>۱۴</sup>، تنها یک نمونه انتخاب و مقادیر آزمودنی‌ها قبل و بعد از اعمال تغییر، اندازه‌گیری می‌شود. مقدار  $t$  با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$t = \frac{\bar{d}}{S(d)/\sqrt{n}} \quad (4)$$

زمانی ۹ روزه به منظور اندازه‌گیری مصرف آب معمول مشترکین در بخش‌های مختلف قبل از نصب شیرآلات کم‌مصرف به صورت روزانه قرائت گردید. در شکل ۲، درصد مصرف آب مشترکین در بخش‌های مختلف مصرف آب خانگی نشان داده شده است. در مرحله بعد، تجهیزات کم مصرف شامل درفشان و دوش تلفنی کم مصرف و نیز شیرهای بهداشتی تک اهرمی در منازل مشترکین نصب و کارکرد کنتورها برای یک دوره زمانی ۹ روزه دیگر به‌صورت روزانه قرائت شد. آزمایش در اوایل فصل پاییز انجام پذیرفت. افزایش بازه زمانی قرائت کنتورها با توجه به تاثیر تغییرات آب و هوا در مصرف آب و لزوم انتخاب گروه شاهد جهت برآورد این تاثیرات موجب مضاعف شدن هزینه‌های اجرای آزمایش می‌گردید که به علت محدودیت منابع مالی در این آزمایش امکان‌پذیر نشد. افزایش دوره قرائت کنتورها در آزمایشات آتی و در صورت امکان، انجام آزمایش در فصول مختلف سال با انتخاب گروه شاهد می‌تواند نتایج دقیق‌تری به همراه داشته باشد.



شکل ۲- درصد مصرف آب مشترکین در بخش‌های مختلف، قبل از نصب شیرآلات کم مصرف



شماره مشترک

شکل ۳- درصد کاهش مصرف آب مشترکین بعد از نصب شیرآلات کم مصرف

جدول ۱- مصرف آب مشترکین نمونه، در مرحله اول و دوم آزمایش بر حسب لیتر به ازای هر نفر در روز

بخش مصرف	قبل از نصب شیرآلات	بعد از نصب شیرآلات	درصد کاهش
ظرفشویی و شستشوی لباس	۴۲/۳	۲۷/۸	۳۴
توالت	۱۹/۶	۱۳/۴	۳۲
روشویی	۱۷/۹	۱۲/۵	۳۰
حمام	۴۴/۸	۳۲/۹	۲۷
شستشوی حیاط و آبیاری	۴۱/۰	۳۴/۵	۱۶
سایر	۵/۸	۶/۵	-۱۲
مجموع	۱۷۱	۱۲۸	۲۶

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار مقادیر مصرف مشترکین در مرحله اول و دوم و اختلاف مقادیر دو مرحله (لیتر)

آماره	مرحله اول	مرحله دوم	اختلاف
میانگین	۶۳۰.۱	۴۶۹.۴	-۱۶۰.۷
انحراف معیار	۱۳۹.۵	۲۰۶.۷	۱۶۳.۰

جدول ۳- آزمون معنی دار بودن اختلاف میانگین‌های مصرف آب مشترکین در مرحله اول و دوم آزمایش

میانگین اختلاف مقادیر دو مرحله	انحراف معیار اختلاف	df	t	p-value
-۱۶۰.۷	۱۶۳.۰	۲۲	-۴/۶۳	۰/۰۰۰۱ (یک طرفه ۱۷)

### ۳-۲- تحلیل مالی - اقتصادی

با توجه به هزینه نسبتاً زیاد جایگزینی شیرهای بهداشتی معمولی در منازل با شیرهای تک اهرمی، در بررسی‌های اقتصادی از هزینه تهیه شیرهای اهرمی و درمقابل تاثیر جایگزینی آنها در کاهش مصرف آب منازل مشترکین خانگی صرف نظر می‌شود. برای این منظور نیاز به تخمین جداگانه تاثیر جایگزینی شیرهای اهرمی در کاهش مصرف آب می‌باشد که جزو اهداف طراحی آزمایش حاضر نبوده است. اما بررسی‌های کلی تغییرات مصرف آب در مصارف انتهایی منازل مشترکین شرکت کننده در آزمایش نشان می‌دهد که تاثیر کاهش جایگزینی شیرهای اهرمی در مصرف آب عمدتاً به علت درفشان کم مصرف استفاده شده در این شیرها بوده و مکانیزم قطع و وصل و تنظیم حرارت جریان آب در این شیرها سهم کمتری از این تاثیر را به خود اختصاص می‌دهد. بر این اساس و نیز با توجه به مطالعات قبلی درخصوص تجهیزات کاهنده مصرف (ملکی نسب و همکاران، ۱۳۸۶)، ارزیابی مالی - اقتصادی در این مقاله با فرض تاثیر کاهشی به میزان ۲۰ درصد برای استفاده از درفشان‌ها و سردوش‌های کم مصرف در منازل مشترکین خانگی شهر شاندیز انجام می‌پذیرد.

که  $\bar{d}$ : میانگین اختلاف جفت‌های متشکل از داده‌های مرحله اول و دوم آزمایش،  $S(d)$ : انحراف معیار اختلاف داده‌ها و  $n$ : تعداد داده‌ها می‌باشد. در جدول ۲، میانگین و انحراف معیار مقادیر مصرف آب مشترکین در مرحله اول و دوم آزمایش و میانگین و انحراف معیار اختلاف مقادیر مصرف دو مرحله ارائه شده است.

با استفاده از آزمون تی - استیودنت جفتی، معنی دار بودن اختلاف میانگین‌های مصرف آب مشترکین در مرحله اول و دوم آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. فرض صفر<sup>۱۵</sup>  $(H_0)$  و فرض مقابل<sup>۱۶</sup>  $(H_A)$  آزمایش به قرار زیر می‌باشند:

$$H_0 : \bar{x}_2 = \bar{x}_1$$

$$H_A : \bar{x}_2 < \bar{x}_1$$

در جدول ۳، پارامترهای به کار رفته در محاسبات و مقدار احتمال بدست آمده از آزمون ارائه شده است. بر این اساس، اختلاف میانگین‌های مرحله اول و دوم آزمایش با سطح احتمال ۹۹ درصد معنی دار می‌باشد. بنابراین نصب کامل شیرآلات و تجهیزات کم مصرف به کار رفته در این آزمایش می‌تواند تا ۲۶ درصد، مصرف آب خانگی شهر شاندیز را کاهش دهد.

قیمت تمام شده استحصال، انتقال، تصفیه و توزیع آب صرفه‌جویی شده به واسطه نصب تجهیزات کم مصرف طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳، به‌عنوان درآمد حاصل از طرح در نظر گرفته شده است. قیمت تمام شده هر مترمکعب آب طی این سالها در شهر شان‌دیز برابر ۱۰۱۸۰ ریال می‌باشد. جدول ۵، محاسبات درآمد حاصل از طرح را ارائه می‌دهد. مقادیر این جدول بدون لحاظ نمودن نرخ تورم تنظیم شده‌اند.

در جدول ۶ سود حاصل از طرح نصب تجهیزات کم مصرف در منازل مشترکین خانگی شهر شان‌دیز برای نرخ‌های بهره ۵ و ۸ درصد ارائه شده است. نسبت درآمد به هزینه برای نرخ‌های مذکور به ترتیب برابر ۲/۳۵ و ۲/۱۸ می‌باشد.

جهت ارزیابی مالی استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف در شهر شان‌دیز از تخمین هزینه‌ها و درآمدهای حاصل از طرح فرضی نصب کامل تجهیزات در منازل مشترکین خانگی این شهر برای دوره زمانی ۵ ساله طی سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳، با توجه به در دسترس بودن اطلاعات مصرف آب مشترکین برای این سالها استفاده شده است. هزینه تهیه تجهیزات کم مصرف برای هر مشترک خانگی در شهر شان‌دیز به قرار جدول ۴ می‌باشد. مطابق این جدول، هزینه تهیه تجهیزات برای هر مشترک خانگی در سال مبدأ به‌طور متوسط برابر ۱۰۴۰۰۰ ریال می‌باشد. شهر شان‌دیز در سال ۱۳۷۹، ۱۲۴۱ مشترک خانگی داشته است. بنابراین کل هزینه تهیه تجهیزات در حدود ۱۲۹ میلیون ریال خواهد بود. در صورتی که از هزینه‌های نصب و نگهداری صرف نظر نماییم، با توجه به عمر مفید تجهیزات که به‌طور متوسط ۵ سال است، کل هزینه‌های طرح برای یک دوره ۵ ساله برابر ۱۲۹ میلیون ریال خواهد بود که در ابتدای طرح هزینه می‌گردد.

جدول ۴- هزینه تهیه تجهیزات کم مصرف برای مشترکین خانگی در سال مبدأ

عنوان	تعداد متوسط برای هر مشترک خانگی (مفروض)	دبی خروجی (L/min)	میزان صرفه جویی (درصد)	قیمت متوسط (ریال)	هزینه متوسط هر مشترک (ریال)
درفشان ثابت	۲	۷-۹	۵۰-۶۰	۱۰.۰۰۰	۲۰.۰۰۰
درفشان مفصلی	۱/۲	۷-۹	۵۰-۶۰	۲۰.۰۰۰	۲۴.۰۰۰
سردوش کم مصرف	۱/۲	۹-۱۲	۴۰-۶۰	۵۰.۰۰۰	۶۰.۰۰۰
مجموع	-	-	-	-	۱۰۴.۰۰۰

جدول ۵- درآمد حاصل از طرح نصب تجهیزات کم مصرف در منازل مشترکین خانگی شهر شان‌دیز

سال	تعداد مشترکین خانگی	نسبت مشترکین تجهیز شده	مصرف آب خانگی (هزار مترمکعب)	کاهش مصرف (هزار مترمکعب)	درآمد (میلیون ریال)	ارزش درآمد در سال مبنا (میلیون ریال، $i=0.08$ )	ارزش درآمد در سال مبنا (میلیون ریال، $i=0.05$ )
۱۳۷۹	۱۲۴۱	۱	۳۲۲	۶۴	۷۶	۷۰	۷۲
۱۳۸۰	۱۳۲۷	۰/۹۳	۳۳۸	۶۳	۷۴	۶۳	۶۷
۱۳۸۱	۱۴۴۴	۰/۸۶	۳۴۸	۶۰	۷۱	۵۶	۶۱
۱۳۸۲	۱۶۴۱	۰/۷۶	۳۶۵	۵۵	۶۵	۴۸	۵۳
۱۳۸۳	۱۷۵۱	۰/۷۱	۳۸۰	۵۴ ( $=0.2 \times 0.71 \times 380$ )	۶۴	۴۴	۵۰
مجموع	-	-	۱۰۷۵۳	۲۹۶	-	۲۸۱	۳۰۳

جدول ۶- سود حاصل از اجرای طرح ۵ ساله نصب تجهیزات کم مصرف در شهر شان‌دیز

نرخ بهره	درآمد (B) (میلیون ریال)	هزینه (C) (میلیون ریال)	B-C (میلیون ریال)	B/C
۰/۰۵	۳۰۳	۱۲۹	۱۷۴	۲/۳۵
۰/۰۸	۲۸۱	۱۲۹	۱۵۲	۲/۱۸



#### ۴- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق نتایج استفاده از شیرآلات و تجهیزات کم مصرف در کاهش مصرف آب ساختمان‌های مسکونی با انتخاب نمونه آزمایشی از بین مشترکین خانگی شهر شاندیز بررسی گردید. همچنین طرح استفاده از تجهیزات کم مصرف آب در شهر شاندیز مورد ارزیابی مالی اولیه قرار گرفت. نتایج بدست آمده و نکات قابل توجه در این خصوص شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- جایگزینی تجهیزات کم مصرف آب شامل درفشان و دوش کم مصرف و شیرهای بهداشتی اهرمی موجب کاهش ۲۷ تا ۳۴ درصدی در مصارف انتهایی مربوطه و به‌طور متوسط موجب کاهش کل مصرف آب خانگی به میزان ۲۶ درصد در شهر شاندیز می‌شود.

۲- این میزان کاهش مصرف با توجه به درصد کاهش اسمی تجهیزات به کار رفته در آزمایش، دور از انتظار نبوده است. با این حال بایستی در نظر داشت که کاهش مذکور در شرایط کاملاً کنترل شده و نصب صحیح تجهیزات در کلیه مصارف انتهایی که امکان نصب وجود داشته بدست آمده است. کاهش مصرف حاصل از طرح‌های جایگزینی تجهیزات کم مصرف در سطح جامعه، به علل مختلف از جمله عدم پوشش کامل مشترکین در طرح، نصب نادرست تجهیزات و نشت آب، استفاده از قطعات با کیفیت نامناسب، رسوب گذاری و خوردگی آب، عدم نصب تجهیزات در کلیه مصارف انتهایی و همچنین عدم رضایت برخی مصرف‌کنندگان از عملکرد تجهیزات، به خصوص در مورد دوش‌های کم مصرف (ملکی نسب و همکاران، ۱۳۸۶) و جایگزینی سردوش‌های معمولی پس از گذشت مدت زمانی از نصب، کمتر از این میزان خواهد بود. درصد موارد مذکور را می‌توان در طرح‌های اجرایی تخمین زده و با در نظر گرفتن ۲۶ درصد کاهش به عنوان حد بالای صرفه‌جویی، میزان صرفه‌جویی مورد انتظار طرح را برآورد نمود.

۳- احتمال تغییر رفتار مشترکین در جهت صرفه‌جویی در مصرف آب در مرحله پس از نصب شیرآلات و تجهیزات کم‌مصرف و در نتیجه اریب بودن نتایج آزمایش وجود دارد؛ با این حال با توجه به موارد زیر، این احتمال اندک است:

الف) مشترکین به منظور حفظ رفتار معمول مصرف خود توجیه شده و توضیحات کافی به آنها داده شده بود.

ب) با توجه به نصب کنتورهای آب قبل از شروع مرحله اول آزمایش، تاثیر روانی احتمالی آزمایش در تغییر رفتار مشترکین و

کاهش مصرف آب آنها مربوط به هر دو مرحله آزمایش بوده است.

به هر حال افزایش مدت زمان اجرای آزمایش می‌توانست موجب کاهش احتمال اریب بودن نتایج گردد که البته نیازمند صرف هزینه بیشتری می‌بود.

۴- کاهش ۲۶ درصدی در مصرف آب خانگی، در مقایسه با برخی مقادیر گزارش شده در کشورهای پیشرفته در موارد مشابه بیشتر می‌باشد. علت این امر می‌تواند متفاوت بودن الگوی مصرف آب خانگی در ایران و برخی کشورهای در حال توسعه با کشورهای توسعه‌یافته باشد. در شهر شاندیز، مصارف آب خانگی از تنوع زیادی برخوردار نبوده و بهره‌وری استفاده از آب در بیشتر مصارف انتهایی را می‌توان با نصب تجهیزات استفاده شده در این آزمایش افزایش داد. مسلماً درصد کاهش مصرف آب در مناطقی که از سطح رفاهی بالاتری برخوردار بوده و مصارف آب خانگی تنوع بیشتری دارد، کمتر از این میزان خواهد بود. با وجود کمتر بودن درصد کاهش مصرف آب در این مناطق، ممکن است مقدار مطلق کاهش مصرف سرانه آب، از مقدار بدست آمده در این آزمایش نیز بیشتر باشد.

۵- نسبت درآمد به هزینه نصب کامل تجهیزات کم مصرف آب در منازل مشترکین خانگی شهر شاندیز در یک دوره زمانی ۵ ساله برای نرخ‌های بهره ۵ و ۸ درصد به ترتیب برابر ۲/۳۵ و ۲/۱۸ می‌باشد که نشان دهنده توجیه اقتصادی اجرای طرح‌های مشابه در این شهر است.

#### ۵- تشکر

از مدیریت محترم و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی و شرکت مهندسی مشاور ری‌آب که امکانات انجام این تحقیق را فراهم آورده و کمال همکاری را در اجرای آن داشته‌اند سپاسگزاری می‌گردد.

#### پی‌نوشت‌ها

1. Indoor
2. Outdoor
3. End Uses
4. Dual Flush Toilets
5. Emberger
6. De Martonne
7. Sampling Tradeoffs
8. Precision Level
9. Reliability Level
10. Rao, Hartley and Cochran (1962)
11. Probability Proportional to Size

- fixtures." *J. Water Resource Planning and Management*, 122(1), pp. 20-23.
- Funk, A. (2007). "The Potential of Water Saving and Water Capturing Innovations: A Case Study of Albuquerque Single Family Homes." Professional Project Report, University of New Mexico.
- Hwang, B.H. (2003). "The Cost-Effectiveness of Retrofitting Sanitary Fixtures in Restrooms of a University Building." MSc. Thesis, Hanyang University, Korea.
- Lant, C.L. (1993). "Social acceptability of water conservation in Springfield, Ill." *J. American Water Works Association*, 85(8), pp. 85-89.
- Levin, E. R.; Maddaus, W. O.; Sandkulla, N. M. and Pohl, H. (2006), "Forecasting Wholesale Demand and Conservation Savings." *J. American Water Works Association*, 98(2), pp. 102-111.
- Paulsen, K.; Featherstone, J. and Greene, S. (2007). "Conservation-Induced Wastewater Flow Reductions Improve Nitrogen Removal: Evidence from New York City." *Journal of the American Water Resources Association*, 43(6), pp. 1570-1582.
- Shamsi, M. and Bonjar, G.H.S. (2004). "Evaluation of a New Device, Automated Showerhead on Water Conservation in Bath Showers." *American J. of Applied Sciences*, 1(4), pp. 273-275.
- Venables, W.N. and Ripley, B.D. (2002). "Modern Applied Statistics with S." Springer, 495 p.
- Wallace, M. and Barrett, G. (2007). "Social Marketing of Water Conservation: The Impact of Privatisation and Government Regulation on Australian Water Utilities." *J. Public Policy*, 2(2), pp. 141-154.
- Whitcomb, J.B. (1990). "Water use reductions from retrofitting indoor water fixtures." *Water Resources Bulletin*, 26(6), pp. 921-926.
12. Systematic Sampling  
13. Paired Student's T-Test  
14. Subjects  
15. Null Hypothesis  
16. Alternative Hypothesis  
17. One-Tailed

## ۶- مراجع

عمیدی، ع. (۱۳۷۸). "نظریه نمونه‌گیری و کاربردهای آن." مرکز نشر دانشگاهی، جلد اول، ۲۲۳ ص.

ملکی نسب، ا.؛ ابریشم‌چی، ا. و تجریشی، م. (۱۳۸۶). "ارزیابی صرفه جویی در مصرف آب خانگی به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف." *مجله آب و فاضلاب*، شماره ۶۲، ص ۱۱-۲.

Anderson, D.L. and Nero, W.L. (1993). "The impact of water conservation fixtures on residential water use characteristics in Tampa Florida." *Proc. of Conserve 93; The new water agenda*, ASCE; AWRA and AWWA, Las Vegas, pp. 611-628.

Baumann, D.D.; Boland, J.J. and Hanemann, W.M. (1998). "Urban water demand management and planning." Mc Graw-Hill, 350 p.

Cheng, C.L. (2002). "Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building." *J. Energy and Buildings*, 34(3), pp. 261-266.

Day, D. and White, S. (2003). "Minimum Performance Standards for Showerheads in Australia- the Benefits and the Barriers." *J. Water Science & Technology: Water Supply*, 3(3), pp. 239-245.

Donald, E.A. and Billings, R.B. (1996). "Water-price effect on residential and apartment Low-Flow