

ارزیابی صرفه‌جویی در مصرف آب خانگی به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف

احمد ملکی نسب^۱ احمد ابریشم‌چی^۲ مسعود تاجریشی^۳

(دریافت ۸۴/۸/۲۲ پذیرش ۸۶/۱/۲۷)

چکیده

رشد جمعیت و توسعه اقتصادی - اجتماعی موجب افزایش تقاضای آب شهری شده است. به طور معمول، مصرف آب خانگی اصلی‌ترین بخش مصرف آب شهری را تشکیل می‌دهد. از جمله مؤثرترین اقدامات برای صرفه‌جویی در مصرف آب خانگی، استفاده از قطعات و تجهیزات می‌باشد که بدین منظور طراحی شده‌اند. در این مقاله، استفاده از قطعات کاهنده مصرف شامل سرشیر و سردوش کم مصرف آب، در سطح شهر کاشان مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور از میان مشترکین خانگی شهر کاشان دو گروه ۴۰ تایی شاهد و تیمار به صورت تصادفی انتخاب شد. قطعات کاهنده مصرف در منازل گروه تیمار نصب گردید و مصرف آب دو گروه در یک دوره یک ماهه بررسی شد. طبق نتایج تحقیق، نصب این قطعات حدود ۲۲ درصد مصرف آب خانگی را کاهش می‌دهد. بررسی تقاضا و تأمین آب شهر کاشان در سالهای آینده نشان می‌دهد که استفاده از این قطعات در سطح شهر می‌تواند نیاز به اجرای طرحهای آینده تأمین آب را تا ۶ سال به تأخیر اندازد. برآورد نسبت سود به هزینه استفاده از این روش صرفه‌جویی برای شهر کاشان در حدود ۵/۸ به ۱ می‌باشد. در انتها، رضایت مصرف‌کنندگان از کیفیت کارکرد قطعات نیز بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: قطعات کاهنده مصرف، صرفه‌جویی آب، مصرف آب خانگی، مدیریت تقاضا، رضایت مصرف‌کننده.

Assessment of Residential Water Conservation due to Using Low-Flow Fixtures

Ahmad Maleki Nasab¹ Ahmad Abrishamchi² Massoud Tajrishy³

(Received Nov. 13, 2005 Accepted Apr. 16, 2007)

Abstract

Increasing population and socioeconomic development have led to increased urban water demand. Residential use forms the principal portion of urban water consumption. One of the most effective conservation measures is using low-flow fixtures and devices designed for this purpose. In this paper, conservation results of using low-flow fixtures including low-flow showerheads and faucet aerators are evaluated in the city of Kashan. For this purpose, two groups of 40 households were randomly selected as experimental and control groups. The fixtures were installed in the houses of the experimental group and water consumption was measured over one month. Results indicate that retrofitting with these fixtures reduces residential water consumption by about 22 percent. Projections of Kashan's future water demand and supply indicate that using these fixtures by Kashan residents can delay the need for new water supply projects by up to 6 years. Cost-benefit ratio of this conservation measure for Kashan is estimated to be 5.8 to 1. Finally, user satisfaction of retrofitting with these fixtures is evaluated.

Keywords: Low-Flow Fixtures, Water Conservation, Residential Water Consumption, Demand Management, User Satisfaction.

1. MSc., Dept. of Civil Engineering, Sharif University of Technology, maleki_nasab@yahoo.com
2. Professor of Civil Engineering, Sharif University of Technology
3. Associate Professor of Civil Engineering, Sharif University of Technology

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران - آب، دانشگاه صنعتی شریف، maleki_nasab@yahoo.com
۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف
۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

صنعت آب کشور برای مصرف آب خانگی، مجموع آب مصرفی دستشویی، آشپزخانه و حمام، حدود ۷۰ درصد مصرف آب خانگی را در بر می‌گیرد. بنابراین کاهش این مصارف می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب خانگی داشته باشد.

لانت^۱ در سال ۱۹۹۳ قابلیت پذیرش ۱۲ فعالیت صرفه‌جویی در مصرف آب را با پیمایش ۲۷۰۰ مشترک خانگی بررسی کرد. طبق نتایج این تحقیق، آموزش عمومی و استفاده از تجهیزات و قطعات کم مصرف آب، بیشترین مقبولیت را در بین مشترکین دارند [۳]. حجم مناسب برای آب خروجی سردوش ۹ لیتر در دقیقه می‌باشد، در حالی که سردوشهای معمولی تا ۲۵ لیتر در دقیقه آب مصرف می‌کنند [۴]. تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از سردوشهای کم مصرف، ۶/۴ درصد مصرف آب خانگی را کاهش می‌دهد [۵]. شمسی و شهیدی پنج‌بار در سال ۲۰۰۴ یک وسیله الکترونیکی اتوماتیک برای باز و بسته کردن دوش حمام طراحی و صرفه‌جویی در مصرف آب به واسطه استفاده از این وسیله را ارزیابی کردند. با به کار بردن این وسیله، آب مورد نیاز برای دوش گرفتن ۷۰ درصد کاهش یافت [۶]. اندرسون^۴ و نرو^۵ در سال ۱۹۹۳ تأثیر نصب سردوش و فلاش‌تانک کم مصرف بر مؤلفه‌های مصرف آب خانگی را با انتخاب ۲۵ مشترک بررسی کردند. با نصب این تجهیزات، مصرف آب داخل منزل ۱۵/۶ درصد کاهش یافت [۷].

بسیاری از مطالعات در این حوضه، بر پایه مقادیری است که شرکت‌های سازنده در مورد تجهیزات خود اعلام می‌کنند، در حالی که این مقادیر مربوط به شرایط آزمایشگاهی بوده و لازم است تأثیر این تجهیزات بر مصرف آب در شرایط واقعی و همچنین رضایتمندی مصرف‌کنندگان از نحوه کارکرد آنها مشخص شود. هوانگ^۶ در سال ۲۰۰۳ مصرف واقعی چند نوع از فلاش‌تانک‌های معمولی و کم مصرف را با نصب در داخل دانشگاه اندازه‌گیری کرد. طبق نتایج این تحقیق، استفاده از فلاش‌تانک‌های کم مصرف به جای فلاش‌تانک‌های معمولی، حدود ۵۰ درصد مصرف آب در این بخش را کاهش می‌دهد [۸]. ونکامامیدی^۷ در سال ۲۰۰۴ رضایتمندی مصرف‌کنندگان از فلاش‌تانک‌ها و شیرهای اتوماتیک و دستی را بررسی کرد. نتایج تحقیق وی نشان می‌داد که مصرف‌کنندگان از تجهیزات کم مصرف دستی رضایت داشته ولی از نوع اتوماتیک آنها راضی نبودند [۹]. یکی از عوامل مؤثر در تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف، قیمت آب

رشد جمعیت، توسعه صنعت، گسترش شهرنشینی و بالا رفتن سطح رفاه، سبب افزایش تقاضای آب شده است. این در حالی است که عموماً منابع ارزان و محلی تأمین آب قبلاً مورد بهره‌برداری قرار گرفته و سایر منابع تأمین آب، از محل مصرف دور بوده و نیازمند صرف هزینه زیاد برای بهره‌برداری می‌باشد. در میان مصارف مختلف آب، تأمین آب شهری به علت مسائل بهداشتی و نیاز اولیه و اساسی انسان به آب و نیز احتمال بروز تنش‌های اجتماعی، از حساسیت و اولویت بیشتری برخوردار است. کمبود آب و هزینه بالای توسعه طرح‌های تأمین آب، سازمانها را مجبور می‌سازد تا به مدیریت تقاضا و اجرای برنامه‌های صرفه‌جویی آب به عنوان یک راه حل کم هزینه، پایدار و قابل اعتماد روی آورند. مدیریت تقاضا کمک می‌کند که بیشترین خدمات آبی با حداقل حجم آب ممکن فراهم شود [۱]. برقراری تعادل مناسب بین گسترش ظرفیت تأمین و مدیریت تقاضای آب می‌تواند منافع زیادی از جمله به تأخیر انداختن هزینه‌های بالای تأمین آب و آثار منفی زیست محیطی آن، کاهش در هزینه‌های بهره‌برداری، کاهش فاضلاب، کاهش مصرف آب گرم و صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی را به همراه داشته باشد [۲].

از مؤثرترین اقدامات به منظور کاهش مصرف آب شهری استفاده از قطعات و تجهیزات کم مصرف آب می‌باشد. سرشیرها و سردوشهای کاهنده مصرف، از جمله این قطعات می‌باشند. این قطعات با مکانیسم خاص خود مثل مخلوط کردن آب با هوا، کاهش فشار و پودر کردن آب، مصرف آب را کاهش می‌دهند. در شهرهای بزرگ، کمبود آب شرب در ساعات اوج مصرف خصوصاً در فصول گرم سال، از مشکلات مهم تأمین آب می‌باشد. در این ساعات، برخی از مشترکین به علت جوابگو نبودن ظرفیت شبکه، به آب شرب دسترسی ندارند. با توجه به تأثیر تجهیزات کم مصرف روی کاهش مصرف آب در ساعات اوج مصرف، استفاده از این روش صرفه‌جویی می‌تواند تا حد زیادی به رفع این مشکل کمک کند.

آب خانگی اصلی‌ترین مؤلفه مصرف آب شهری می‌باشد. اجزای مصرف آب خانگی و مقدار مصرف آب در هر بخش با توجه به شرایط آب و هوایی و میزان توسعه اقتصادی - اجتماعی تغییر می‌کند. بخشهای مختلف مصرف آب خانگی می‌تواند شامل مصارف داخل منزل^۱ مثل مصارف آشپزخانه و حمام و مصارف خارج منزل^۲ مثل آبیاری باغچه‌ها و شستشوی حیاط گردد. در این مقاله منظور از مصرف آب خانگی، کل مصرف آب خانه اعم از داخل منزل و خارج منزل می‌باشد. طبق الگوی پیشنهادی استاندارد

¹ Lant

⁴ Anderson

⁵ Nero

⁶ Hwang

⁷ Vankamamidi

¹ Indoor

² Outdoor

است. برای تکمیل طرح استفاده از این تجهیزات، نیاز به تعیین ساختار تعرفه‌های مناسب برای آب می‌باشد [۱۰].

در اختیار داشتن برآوردهای قابل اعتماد از سود و هزینه‌های بالقوه طرح‌های مختلف صرفه‌جویی 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 این مقاله، صرفه‌جویی در مصرف آب به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف، با اجرای مطالعه میدانی در سطح شهر کاشان ارزیابی شده است.

۲- مشخصات شهر کاشان

۲-۱- مشخصات عمومی

شهر کاشان مرکز شهرستان کاشان می‌باشد و در استان اصفهان واقع است. مقدار متوسط بارندگی سالانه در این شهر ۱۳۹ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۹/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به این ارقام، اقلیم این شهر در تقسیم‌بندی آمبروزه^۱ خشک سرد و در تقسیم‌بندی دومارتن^۲ خشک می‌باشد. جمعیت کاشان در سال ۱۳۸۱ بالغ بر ۲۴۰ هزار نفر بوده است. نرخ رشد جمعیت در شهر کاشان بالاست که علت آن مهاجرپذیر بودن این شهر می‌باشد. با توجه به رشد و گسترش شهر و همچنین انتقال آب از سد زاینده‌رود، پیش‌بینی می‌شود رشد بالای جمعیت شهر در سالهای آینده نیز ادامه داشته باشد. بنابراین برای تخمین جمعیت کاشان در سالهای آینده، از آمار موجود در سرشماریهای اخیر و برآزش منحنی بر روی این نقاط استفاده شده است. جدول ۱، مقادیر تخمین زده شده برای جمعیت کاشان در ۳۰ سال آینده را نشان می‌دهد.

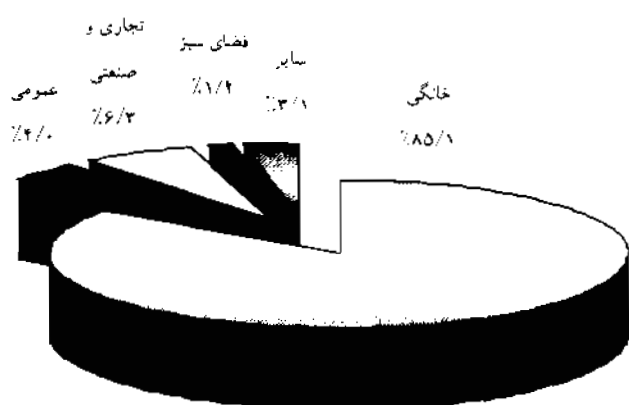
۲-۲- منابع تأمین آب

آب مورد نیاز شهر کاشان از طریق ۷۰ حلقه چاه در محدوده شهر و حومه آن و آب انتقالی از چاه‌های نایب تأمین می‌شود. میانگین مجموع املاح محلول آب چاهها ۱۶۶۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. با توجه به فقر منابع آب سطحی در کاشان و کیفیت نامطلوب آب زیرزمینی، در سالهای گذشته نسبت به انتقال آب از سد زاینده‌رود به این شهر اقدام شده است. بهره‌برداری از فاز اول این طرح در سال ۱۳۸۴ با دبی ۴۰۰ لیتر در ثانیه آغاز شد. پس از بهره‌برداری کامل سهم کاشان از این خط انتقال، یک متر مکعب در ثانیه خواهد بود. برداشت بیش از اندازه از چاه‌های آب در کاشان، سبب پایین رفتن مداوم سطح آب زیرزمینی و بدتر شدن کیفیت آب شده است. شرایط خاص منطقه از جمله مجاورت با دریاچه نمک، بر وخامت

موضوع افزوده است. بنابراین استفاده بهینه از منابع موجود به وسیله اجرای برنامه‌های مدیریت تقاضا و صرفه‌جویی آب امری ضروری می‌باشد. شایان ذکر است که افزایش فشار آب و تأمین نیاز آبی مشترکین پس از اجرای طرح‌های بهسازی شبکه و انتقال آب زاینده‌رود می‌تواند منجر به تغییر نگرش مصرف‌کنندگان و ایجاد نگرش فراوانی آب در ایشان شود که این امر مصرف سرانه را در شهر کاشان افزایش خواهد داد. ضمن این که هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از طرح زاینده‌رود موجب بالا رفتن قیمت تمام شده آب انتقالی می‌شود که این خود ضرورت صرفه‌جویی و مدیریت مصرف آب را بیش از پیش نمایان می‌کند. نظریات و همکاری‌ها در سال ۱۳۸۲ با انجام تحقیق پیمایشی در سطح شهر کاشان، آگاهیها و نگرشهای مردم نسبت به تأمین آب شهر و ضرورت صرفه‌جویی در مصرف آب را بررسی کردند. طبق نتایج این تحقیق، آگاهیها و نگرشهای مردم نسبت به آب، در رفتار آنها به سمت صرفه‌جویی تأثیر بسزایی دارد [۱۱].

۲-۳- مصارف آب

اصلی‌ترین و تعیین‌کننده‌ترین مؤلفه مصرف آب در شهر کاشان، کاربری خانگی می‌باشد (شکل ۱). مصرف سرانه آب خانگی شهر کاشان در سال ۱۳۸۱، ۱۳۱ لیتر در روز بوده است. مصرف سرانه کل آب شهر در این سال بدون در نظر گرفتن تلفات آب، ۱۵۸/۲ لیتر در روز بوده است. میزان آب به حساب نیامده در سال ۱۳۸۱، ۲۲/۶ درصد محاسبه شده است. بنابراین نیاز آبی سرانه شهر کاشان در سال ۱۳۸۱، ۲۰۵ لیتر در روز می‌باشد. چنانچه مصرف آب را تابعی از شرایط فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی مردم در نظر بگیریم مسلماً در طی سالهای آتی با افزایش همزمان نیازها و امکانات رفاهی می‌توان پذیرفت که مصرف آب نیز به طور مستمر افزایش یابد. اما با توجه به وابسته بودن میزان مصرف به حجم



شکل ۱- سهم مصرف آب کاربریهای مختلف شهر کاشان در سال ۱۳۸۳

¹ Emberger
² De Martonne

جدول ۱- مقادیر تخمین زده شده برای جمعیت کاشان در سالهای آینده

سال	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰	۱۴۱۵
جمعیت (هزار نفر)	۲۷۷	۳۲۲	۳۷۱	۴۲۵	۴۸۲	۵۴۴	۶۰۹
نرخ رشد متوسط سالانه (درصد)	۳/۵	۳/۱	۲/۹	۲/۷	۲/۵	۲/۴	۲/۳

جدول ۲- پیش بینی مصرف سرانه آب شرب شهر کاشان در سالهای آینده، به تفکیک کاربری (لیتر در روز)

کاربری	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰
خانگی	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰	۱۵۴	۱۵۸	۱۶۰
عمومی	۷	۱۰	۱۳	۱۵	۱۵	۱۵
تجاری و صنعتی	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۲۵	۲۵
فضای سبز	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	۱۵	۱۵
تلفات (درصد)	%۲۱	%۱۹	%۱۷	%۱۶	%۱۶	%۱۶
مصرف سرانه کل	۲۱۱	۲۲۵	۲۳۷	۲۴۹	۲۵۴	۲۵۶

آمده از این شیوه کمتر می باشد [۱۲]. در صورتی که تعداد عناصر جامعه به اندازه کافی زیاد باشد، برآورد پارامترهای جامعه در این روش نمونه گیری با استفاده از روابط ۱ تا ۳ انجام می پذیرد.

$$\bar{x}_p = \frac{\sum_{h=1}^L N_h \bar{x}_h}{N} \quad (1)$$

$$S_p^2(\bar{x}) = \sum_{h=1}^L \left(\frac{N_h}{N} \right)^2 \frac{S_h^2(x)}{n_h} \quad (2)$$

$$S_p^2(x) = n \cdot S_p^2(\bar{x}) \quad (3)$$

در این روابط، \bar{x}_p برآورد میانگین مقادیر x برای جامعه L تعداد طبقات، N_h تعداد عناصر جامعه در طبقه h ، N کل تعداد عناصر، \bar{x}_h برآورد میانگین مقادیر x برای طبقه h ، $S_p^2(x)$ برآورد واریانس توزیع x برای کل جامعه، $S_h^2(x)$ برآورد واریانس توزیع x برای طبقه h و n_h تعداد عناصر نمونه در طبقه h می باشد.

در آزمایش حاضر، از طرح پیش آزمون و پس آزمون با گروه شاهد^۲ استفاده شده است. در این طرح عناصر نمونه به صورت تصادفی انتخاب و در دو گروه شاهد و تیمار قرار می گیرند. قبل از اعمال متغیر آزمایش (X)، آزمودنی های هدف در هر دو گروه شاهد و تیمار، به وسیله پیش آزمون اندازه گیری می شوند. سپس متغیر مورد نظر به گروه تیمار اعمال شده و آزمودنی ها یک بار دیگر به

منابع تأمین آب، قطعا یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر مصرف سرانه، محدودیت منابع آب خواهد بود. با در نظر گرفتن این موارد، متوسط سرانه مصرف آب کاشان برای کاربریهای مختلف، طبق مقادیر مندرج در جدول ۲ تخمین زده شده است.

۳- روش تحقیق

۳-۱- آزمایش میدانی

به منظور برآورد پتانسیل صرفه جویی در مصرف آب به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف شامل سرشیر دستشویی و آشپزخانه و سردوش حمام، و همچنین آگاهی از رضایت مصرف کنندگان از نحوه کارکرد این قطعات، در فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۸۴ آزمایش میدانی در سطح شهر کاشان طراحی و اجرا گردید.

۳-۲- انتخاب نمونه

برای نمونه گیری از مسترکین خانگی شرکت آب و فاضلاب شهر کاشان، از روش نمونه گیری تصادفی طبقه بندی شده^۱ استفاده شد. در این روش، جامعه به گروهها یا طبقه هایی افراز شده و نمونه گیری در داخل هر طبقه به صورت تصادفی انجام می پذیرد. نمونه گیری طبقه بندی شده یکی از مناسب ترین روشها برای کاهش واریانس داده ها می باشد. با شرایط معین، دقت این روش نسبت به نمونه گیری تصادفی ساده بیشتر است؛ یعنی خطاهای معیار به دست

^۲ Pretest-Posttest Control Group Design

^۱ Stratified Random Sampling

وسيله پس آزمون اندازه‌گیری می‌شوند. نقش گروه شاهد در این طرح، اعمال کنترل و مقایسه می‌باشد؛ در نتیجه می‌توان پی برد که تغییر ایجاد شده ناشی از اجرای متغیر آزمایشی بوده یا عوامل دیگری موجب آن شده‌اند. شکل ۲، نگاره این طرح را نشان می‌دهد. برای تشخیص معنی‌دار بودن اختلاف میانگین دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌های تیمار و شاهد، از آزمون تی-استیودنت جفتی^۱ استفاده شده است.

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

در این رابطه، \bar{d} میانگین اختلاف جفتهای متشکل از داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون، $S(d)$ انحراف معیار اختلاف داده‌ها و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳-۳- سیر مراحل آزمایش

تعداد ۳۰۰ مشترک خانگی از بین مشترکین آب و فاضلاب شهر کاشان به روش طبقه‌بندی تصادفی انتخاب شد. مشترکین براساس مصرف آب سال ۱۳۸۳ در سه گروه زیر الگوی مصرف، یک تا دو برابر الگوی مصرف و بیش از دو برابر الگو طبقه‌بندی شده بودند. از هر گروه به نسبت سهم آن از جامعه، نمونه انتخاب گردید. با انجام مصاحبه اولیه و تکمیل پرسشنامه، خانواده‌هایی که تمایل به همکاری داشتند مشخص شدند. از میان مشترکینی که جهت همکاری اعلام آمادگی کرده بودند، ۴۰ مشترک به عنوان شاهد و ۴۰ مشترک به عنوان تیمار، به صورت تصادفی انتخاب گردیدند. ۱۰ مشترک از بین ۸۰ مشترک ذکر شده، به صورت تصادفی انتخاب و درستی کارکرد کنتور آب منزل آنها بررسی شد. در تاریخ شروع آزمایش کارکرد کنتور آب منازل ۸۰ مشترک تیمار و شاهد، با مراجعه حضوری قرائت گردید. دو هفته بعد از اولین قرائت، کارکرد کنتور آب منازل برای بار دوم قرائت شد. در این تاریخ، قطعات کاهنده مصرف شامل سرشیر دستشویی، سرشیر آشپزخانه و سردوش حمام در منازل ۴۰ مشترک تیمار توسط مأمورین شرکت آب و فاضلاب نصب شدند. مشخصات محصولات انتخاب شده برای انجام آزمایش، در جدول ۳ ارائه شده است. پس از گذشت دو هفته دیگر، کنتور آب ۸۰ مشترک شاهد و تیمار برای بار سوم قرائت شد. همچنین فرم‌های نظرخواهی درباره کیفیت کارکرد قطعات که توسط مشترکین تیمار تکمیل شده بودند، در این تاریخ جمع‌آوری گردید.

پس از سه مرحله قرائت توسط مأمورین شرکت آب و فاضلاب، فرم‌های ثبت کارکرد کنتور جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. تعدادی از فرم‌ها تکمیل نشده، تعدادی ناقص بوده و

برخی دارای مقادیر غیر منطقی و مخدوش برای کارکرد کنتور بودند که همگی حذف گردیدند. در نهایت ۲۸ مشترک شاهد و ۲۴ مشترک تیمار برای انجام تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج آماری

به وسیله روابط ۱ تا ۳ می‌توان میانگین و انحراف معیار هر یک از گروه‌های شاهد و تیمار را با استفاده از میانگین و انحراف معیار زیرگروه‌هایشان به دست آورد. نتایج آماری آزمایش در شکل‌های ۳ تا ۶ و جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین مصرف آب مشترکین شاهد در دو هفته دوم آزمایش نسبت به دو هفته اول، ۸/۴ درصد افزایش داشته است. همچنین میانگین مصرف آب مشترکین تیمار ۱۳/۶ درصد کاهش نشان می‌دهد. با استفاده از آزمون تی-استیودنت جفتی، معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌های مرحله اول و دوم آزمایش برای هر یک از گروه‌های شاهد و تیمار بررسی شد (جدول ۶). بر این اساس، اختلاف میانگین‌های مرحله اول و دوم آزمایش در هر دو گروه شاهد و تیمار، با سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند. علت اصلی افزایش مصرف آب گروه شاهد، گرم‌تر شدن هوا بود. با توجه به آمار اعلام شده توسط سازمان هواشناسی شهر کاشان، متوسط دمای هوا در مرحله دوم آزمایش نسبت به مرحله اول، ۸/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. بنابراین نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که نصب قطعات کاهنده مصرف شامل سردوش حمام، سرشیر آشپزخانه و سرشیر دستشویی، ۲۲ درصد (مجموع کاهش مصرف گروه تیمار و افزایش مصرف گروه شاهد) مصرف آب خانگی را کاهش می‌دهد.

۴-۲- عرضه و تقاضای آب در سالهای آینده

از مهم‌ترین منافع اجرای طرح‌های مدیریت تقاضای آب، به تأخیر انداختن طرح‌های تأمین آب یا طراحی آنها با ظرفیت کمتر و یا حتی حذف آنها می‌باشد. طرح انتقال آب زاینده رود به کاشان در سال ۱۳۸۷ به بهره‌برداری کامل خواهد رسید، بهره‌برداری از فاز اول این

پیش‌آزمون	متغیر آزمایشی	پس‌آزمون	
O _۱	X	O _۲	گروه ۱ (تیمار)
O _۳	-	O _۴	گروه ۲ (شاهد)

شکل ۲- نگاره طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه شاهد

^۱ Paired Student's t-test

جدول ۳- قطعات انتخاب شده برای انجام آزمایش‌ها

نام محصول	کشور سازنده	دبی خروجی (لیتر در دقیقه)	میزان صرفه جویی (درصد)	واحد قیمت (ریال)
سرشیر دستشویی	آلمان	۹-۷	۶۰-۵۰	۱۰/۰۰۰
سرشیر مفصلی آشپزخانه	آلمان	۹-۷	۶۰-۵۰	۲۰/۰۰۰
سردوش حمام	سوئد	۱۲-۹	۶۰-۴۰	۴۹/۵۰۰

جدول ۴- میانگین و انحراف معیار گروه شاهد برای مرحله اول و دوم و اختلاف مقادیر دو مرحله (لیتر)

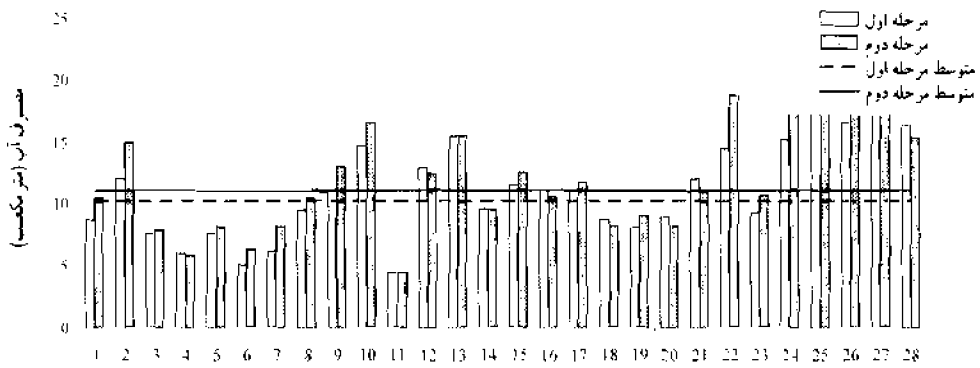
آماره	الگوی مصرف (n=۱۲)	دو برابر الگوی مصرف (n=۱۱)	بیش از دو برابر	کل نمونه شاهد (n=۲۸)
میانگین	مرحله اول	۸۸۴۴	۱۰۹۸۶	۱۰۳۱۶
	مرحله دوم	۹۹۲۳	۱۱۴۸۰	۱۱۱۸۴
اختلاف		۱۰۹۹	۴۹۴	۸۶۸
انحراف معیار	مرحله اول	۳۲۹۱	۲۳۵۸	۳۰۸۲
	مرحله دوم	۳۷۵۲	۳۲۱۴	۳۶۸۴
اختلاف		۱۰۳۱	۱۴۸۱	۱۳۱۸

جدول ۵- میانگین و انحراف معیار گروه تیمار برای مرحله اول و دوم و اختلاف مقادیر دو مرحله (لیتر)

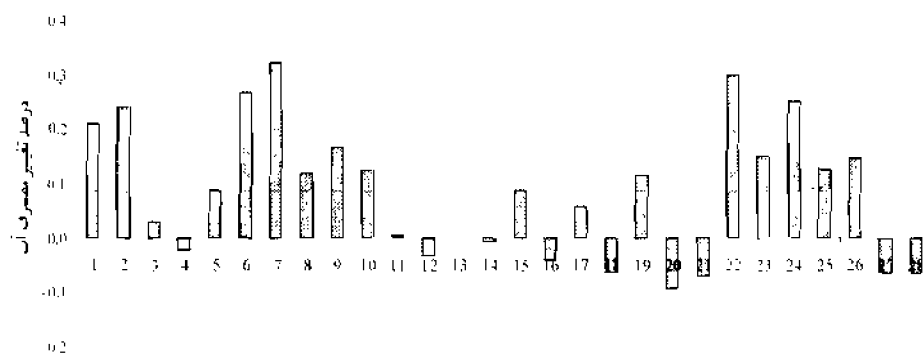
آماره	الگوی مصرف (n=۱۵)	دو برابر الگوی مصرف (n=۷)	بیش از دو برابر	کل نمونه تیمار (n=۲۴)
میانگین	مرحله اول	۸۳۵۴	۱۰۶۸۷	۹۳۸۸
	مرحله دوم	۷۷۳۳	۸۴۹۹	۸۱۰۷
اختلاف		-۶۲۱	-۲۱۸۸	-۱۲۸۱
انحراف معیار	مرحله اول	۳۰۳۱	۱۸۱۲	۲۶۰۵
	مرحله دوم	۳۱۳۳	۱۵۱۶	۲۵۵۵
اختلاف		۱۶۵۵	۲۰۰۹	۱۸۵۶

جدول ۶- آزمون معنی دار بودن اختلاف میانگینهای مرحله اول و دوم در گروههای شاهد و تیمار

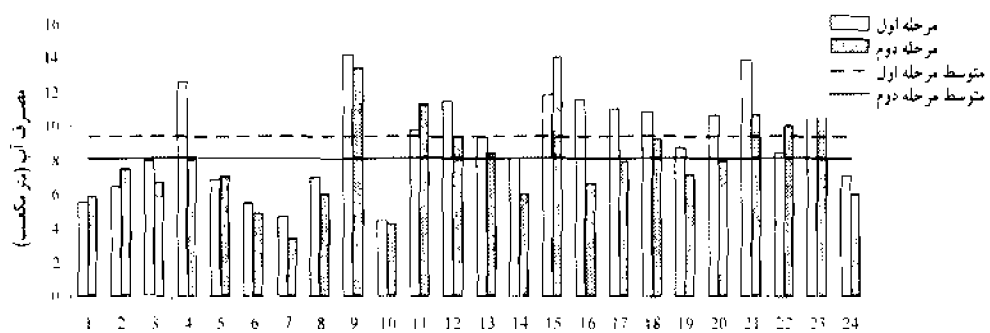
گروه	میانگین اختلاف	انحراف معیار اختلاف	df	t	p-value
شاهد	۸۶۸	۱۳۱۸	۲۷	۳/۴۸	۰/۰۰۱۷ (دو طرفه)
تیمار	-۱۲۸۱	۱۸۵۶	۲۳	-۳/۳۸	۰/۰۰۱۳ (یک طرفه)



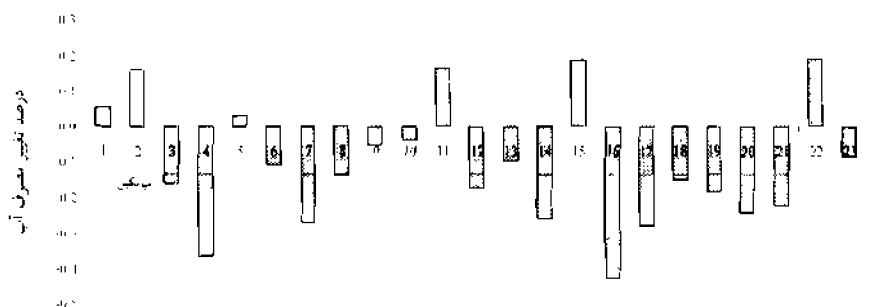
شکل ۳- مصرف آب مشترکین شاهد در مرحله اول و دوم آزمایش



شکل ۴- درصد تغییر مصرف آب مشترکین شاهد در مرحله دوم نسبت به مرحله اول



شکل ۵- مصرف آب مشترکین تیمار در مرحله اول و دوم آزمایش



شکل ۶- درصد تغییر مصرف آب مشترکین تیمار در مرحله دوم نسبت به مرحله اول

طرح در سال ۱۳۸۴ آغاز شده است. مدت زمان در نظر گرفته شده برای بهره‌برداری از این طرح ۳۰ سال می‌باشد. سؤالی که مطرح می‌شود این است که آیا انتقال آب زاینده‌رود به همراه استحصال آب از چاهها می‌تواند جوابگوی تقاضای آب کاشان در ۳۰ سال آینده باشد؟ در صورتی که جواب منفی باشد، آیا می‌توان با اجرای طرح استفاده گسترده از قطعات کاهنده مصرف در شهر کاشان، نیاز به اجرای طرحهای آینده تأمین آب را به تأخیر انداخت؟

با توجه به سهم در نظر گرفته شده برای شهر کاشان از آب انتقالی زاینده‌رود، سقف استحصال آب از این طرح برای کاشان ۳۱/۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. برای تأمین آب شرب شهر کاشان در سالهای آینده، از آب چاهها نیز استفاده خواهد شد. تا قبل از بهره‌برداری طرح انتقال آب زاینده‌رود به کاشان، استحصال آب از چاههای این شهر بیش از ۲۰ میلیون متر مکعب در سال بوده است. این میزان استحصال آب از چاهها، با توجه به روند کاهشی منابع آب زیرزمینی منطقه، توجیه‌پذیر نمی‌باشد. اگر سقف استحصال آب از چاهها پس از بهره‌برداری از طرح زاینده‌رود را ۱۵ میلیون مترمکعب در سال در نظر بگیریم، حداکثر آب قابل تأمین برای شهر کاشان در سالهای آینده ۴۶/۵ میلیون مترمکعب خواهد بود در صورتی که از قطعات کاهنده مصرف آب در شهر کاشان در سالهای آینده استفاده نشود. میزان آب موجود تنها تا سال ۱۴۰۸ جوابگوی تقاضا خواهد بود. در حالی که با برنامه‌ریزی و استفاده گسترده از این قطعات می‌توان این زمان را تا سال ۱۴۱۴ یعنی تا شش سال بعد به تأخیر انداخت. با توجه به هزینه بالای طرحهای تأمین آب، شش سال تعویق در اجرای چنین طرحهایی می‌تواند از نظر اقتصادی بسیار سودمند باشد.

۴-۳- تحلیل اقتصادی

کل اعتبار در نظر گرفته شده برای طرح انتقال آب زاینده‌رود به کاشان ۱۱۰۰ میلیارد ریال و مدت زمان در نظر گرفته شده برای بهره‌برداری از این طرح ۳۰ سال می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن ۳/۳۳ درصد نرخ استهلاک و ۳ درصد هزینه بهره‌برداری، برآورد تقریبی قیمت تمام شده یک مترمکعب آب انتقال داده شده ۲۲۱۰ ریال خواهد بود. در صورتی که طرح استفاده از قطعات کاهنده مصرف از سال ۱۳۸۶ در شهر کاشان آغاز شود، با توجه به اینکه عمر مفید قطعات پنج سال می‌باشد مقدار آب صرفه جویی شده در پنج سال بالغ بر ۱۷/۴ میلیون مترمکعب می‌شود. بنابراین سود حاصل ۳۸/۴ میلیارد ریال برای پنج سال خواهد بود. در صورتی که تعداد متوسط مشترکین آب و فاضلاب شهر کاشان را در این سالها ۶۰ هزار نفر در نظر بگیریم و هزینه تهیه قطعات مزبور برای هر مشترک ۱۱۰ هزار ریال باشد، کل هزینه مورد نیاز ۶/۶ میلیارد

ریال خواهد بود. بنابراین برآورد تقریبی نسبت سود به هزینه ۵/۸ به ۱ می‌باشد که عدد بسیار مناسبی است.

استفاده از قطعات کاهنده مصرف برای مشترکین نیز از نظر اقتصادی سودمند خواهد بود. در صورتی که متوسط تعداد افراد ساکن در یک واحد مسکونی را پنج نفر در نظر بگیریم. با مصرف سرانه ۱۵۰ لیتر در روز، میزان مصرف آب خانوار در یک ماه برابر ۲۲/۵ مترمکعب خواهد بود. اگر قیمت هر مترمکعب آب ۱۰۰۰ ریال، الگوی مصرف ۱۸ مترمکعب در ماه و جریمه مصرف بالاتر از الگو، ۱/۵ برابر قیمت آب در نظر گرفته شود، هزینه آب مصرفی ۲۹۲۵۰ ریال در ماه به دست می‌آید. در صورت استفاده از قطعات کاهنده مصرف، این مقدار به ۱۷۶۰۰ ریال کاهش می‌یابد. بنابراین در مدت کمتر از ۱۰ ماه، هزینه تهیه قطعات برگشت داده می‌شود در حالی که عمر مفید قطعات ۵ سال می‌باشد.

۴-۴- رضایت مصرف‌کنندگان

به منظور بررسی رضایت مصرف‌کنندگان از کیفیت کارکرد قطعات مورد استفاده در این طرح، فرم‌های نظرخواهی در اختیار مشترکین تیمار قرار داده شد. قریب به اتفاق مشترکین از کیفیت کارکرد سرشیرهای آشپزخانه و دستشویی راضی بودند. طبق نظرات مصرف‌کنندگان، این دو قطعه با وجود اینکه میزان آب خروجی را کاهش می‌دهند، تأثیر منفی در کیفیت شست‌وشو ندارند. حدود ۲۷ درصد مشترکینی که فرم نظرخواهی را تکمیل کرده بودند، از کیفیت عملکرد سردوش حمام راضی نبودند. برخی از علل نارضایتی عبارت‌اند از: ناکافی بودن آب خروجی، قطر کم پاشش، اختلاط آب با هوا و خروج آب از اتصالات علّم در نتیجه افزایش فشار آب داخل علّم.

سه مورد اول از دلایل نارضایتی برخی از مشترکین، به علت نبود فرهنگ استفاده از سردوشهای جدید می‌باشد. همان گونه که برخی از مشترکین نیز در فرم‌های نظرخواهی اشاره کرده‌اند بایستی با اتخاذ تدابیر مناسب و افزایش آگاهی عمومی، فرهنگ استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف آب در جامعه رواج داده شود. برخلاف سه مورد اول که به خاطر عادات قبلی مشترکین در استفاده از سردوشهای معمولی می‌باشد، مورد چهارم از مشکلاتی است که استفاده از سردوشهای کاهنده مصرف می‌تواند به دنبال داشته باشد. این مشکل در شهری مثل کاشان بیشتر نمود پیدا می‌کند. زیرا شیرآلات تعداد قابل توجهی از منازل به علت اصلاح بالای آب شهر، فرسوده می‌باشد و کنترل فشار آب توسط سردوش باعث افزایش هدر رفت آب از اتصالات علّم می‌شود که بایستی نسبت به تعمیر یا تعویض آن اقدام نمود.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با انتخاب نمونه تصادفی از منازل شهر کاشان و نصب برخی از قطعات کاهنده مصرف، صرفه‌جویی آب ارزیابی شد. نتایج به دست آمده به طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد:

۱- نصب قطعات کاهنده مصرف آب شامل سرشیر آشپزخانه و دستشویی و سردوش حمام، حدود ۲۲ درصد مصرف آب خانگی را کاهش می‌دهد.

۲- این میزان کاهش مصرف آب، بیشتر از مقادیر به دست آمده از تحقیقات صورت گرفته در کشورهای پیشرفته می‌باشد. علت این امر متفاوت بودن الگوی مصرف آب خانگی در ایران و بیشتر کشورهای در حال توسعه، با کشورهای توسعه یافته می‌باشد. در شهر کاشان مصارف آب خانگی از تنوع زیادی برخوردار نیست و بیشتر آب مصرفی خانگی شامل آب خروجی از شیر آشپزخانه، شیر دستشویی و دوش حمام می‌شود. مسلماً درصد کاهش مصرف آب در مناطقی که از سطح رفاهی بالاتری برخوردار بوده و مصارف آب خانگی تنوع بیشتری دارند، کمتر از این میزان خواهد بود. با وجود کمتر بودن درصد نسبی کاهش مصرف آب در این مناطق، ممکن است مقدار مطلق کاهش مصرف سرانه آب، حتی از مقدار به دست آمده در این آزمایش نیز بیشتر باشد.

۳- با توجه به اینکه در پرسشنامه‌های اولیه، توضیح کوتاهی در مورد اهداف طرح داده شده بود، به منظور کاهش اثرات روانی ناشی از اطلاع مشترکین تیمار از اهداف آزمایش بر کاهش مصرف آنها، فاصله زمانی توزیع پرسشنامه‌های اولیه با زمان انجام آزمایش، ۲ ماه در نظر گرفته شد. در طول مدت یک ماهه انجام آزمایش نیز

ارتباط با مشترکین به سه مرتبه فرائت کنتور محدود شد. بنابراین احتمال تأثیر تغییر رفتار مصرف مشترکین تیمار در کاهش مصرف آب آنها و در نتیجه آریب بودن نتایج آزمایش کم می‌باشد. با این حال افزایش مدت زمان انجام آزمایش می‌توانست این احتمال را کمتر نماید.

۴- استفاده گسترده از این قطعات در شهر کاشان می‌تواند کمبود آب در این شهر را تا شش سال به تأخیر اندازد.

۵- نسبت سود به هزینه استفاده از این قطعات برای شهر کاشان با در نظر گرفتن هزینه انتقال آب زاینده‌رود، در حدود ۵/۸ به ۱ می‌باشد که رقم بسیار مناسبی است.

۶- هزینه تهیه این قطعات برای مشترکین خانگی، در مدت ۱۰ ماه با کاهش هزینه آب بها برگشت داده می‌شود در حالی که عمر مفید قطعات پنج سال می‌باشد.

۷- قریب به انفساق مشترکین از کیفیت کارکرد سرشیرها رضایت داشتند؛ با این وجود ۲۷ درصد آنها از سردوشها ناراضی بودند.

۶- تشکر و قدردانی

از دفتر مطالعات آب و محیط‌زیست دانشگاه صنعتی شریف که امکانات انجام این تحقیق و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی که بخشی از هزینه‌های اجرای این مطالعه را فراهم آورده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از مدیریت محترم و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب کاشان و آقای مهندس مهدی نظرزاده که کمال همکاری را در اجرای این پروژه داشتند سپاسگزار می‌گردم.

۷- مراجع

- 1- Baumann, D.D., Boland, J.J., and Hanemann, W.M. (1998). *Urban water demand management and planning*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- 2- Cheng, C.L. (2002). "Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building." *J. Energy and Buildings*, 34(3), 261-266.
- 3- Lant, C.L. (1993). "Social acceptability of water conservation in Springfield, Ill." *J. American Water Works Association*, 85(8), 85-89.
- 4- 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), 239-245.
- 5- Whitcomb, J.B. (1990). "Water use reductions from retrofitting indoor water fixtures." *Water Resources Bulletin*, 26(6), 921-926.
- 6- 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), 273-275.

7- 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, AWWA, and AWWA. Las Vegas, 611-628.

8- Hwang, B.H. (2003). "The cost-effectiveness of retrofitting sanitary fixtures in restrooms of a university building." MSc. Thesis, Hanyang University, Korea.

9- Vankamamidi, N.R. (2004). "Assessment of user satisfaction of restrooms with existing toilet fixtures and new low consumption fixtures." MSc. Thesis, Jawaharlal Nehru Technological University, India.

10- Donald, E.A., and Billings, R.B. (1996). "Water-price effect on residential and apartment low-flow fixtures." *J. Water Resource Planning and Management*, 122(1), 20-23.

۱۱- نظرزاده، م.، ایریشمچی، ا.، و تجریشی، م. (۱۳۸۲). "ارزیابی نگرش و نیات رفتاری شهروندان کاشان نسبت به آب شهری." م.

آب و فاضلاب، ۲۸-۲۱، ۴۶.

۱۲- له وی، پ. س.، و لیمی شو، س. (۱۳۸۱). نمونه‌گیری، روشها و کاربردها، ترجمه کیتی مختاری امیرمجدی، مرکز آمار ایران،

پژوهشکده آمار، چاپ اول، تهران.