2024, Vol.10, No.4, Pages 1 to 14
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۴، ۱۴۰۲، صفحات ۱ تا ۱۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Executive Solutions and Economic Analysis to Reduce Water Consumption in Different Construction Sectors

S. Sadi[1], M. Pourhosein Qadi[2*], M. Faridouni[3]

1- MSc in Water and Energy, Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran. 2- Ph.D. in Water Engineering-Hydraulic Structures, Abfan Consulting Engineers Company, Tehran, Iran. 3- Ph.D., Faculty of Water Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: poorhoseinm@yahoo.com)

Received: 14-05-2023 Revised: 19-11-2023
Accepted: 20-11-2023 Available Online: 03-03-2024

راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمانی

سجاد سعدی[۱]، مهرداد پورحسین قادی[۲*]، مهدی فریدونی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گرایش آب و انرژی، دانشکده عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. ۲- دانش‌آموخته دکتری مهندسی آب - سازه‌های هیدرولیکی، شرکت مهندسین مشاور آبفن، تهران، ایران. ۳- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده مهندسی عمران آب، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: poorhoseinm@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

Abstract

Optimizing water consumption requires four approaches: modifying laws and regulations, modifying facilities and equipment, promoting the use of consumption-reducing equipment, public education, and cultural measures, which are mainly behavioral reforms and instrumental reforms. In this research, implementation solutions and economic analysis of reducing water consumption in different parts of a building were evaluated. For the economic analysis of the amount of water consumption in buildings, first, a series of influential parameters and indicators were taken into account, and then based on that, relationships were extracted and the amount of water saving in different sectors and factors was determined based on the strategies to reduce water consumption in residential buildings. The savings of the proposed solutions to reduce water consumption in different parts of the building were evaluated based on the three prices of mineral water, export water, and government water. In this research, the investment return period based on the price of mineral water after 2.2 years, exported water after 2.7 years, and government water after 3.9 years is possible by applying the suggested solutions such as the use of modern faucets by the European EPA Association, the standards of minimum suitable dimensions in different parts of a building according to the fourth topic of the national building regulations and the elimination of old systems and the use of modern systems in the building. In this research, the solutions proposed in the sanitary and other sectors (including septic tanks, and toilets) have the greatest impact in reducing water consumption in the construction division with 62 and 16 percent, respectively, and as a result, higher savings.

Keywords: Return on Investment, Economic Analysis, Executive Solutions, Residential Building, Reducing Water Consumption.

چکیده

بهینه‌کردن مصرف آب مستلزم چهار رویکرد اصلاح قوانین و مقررات، اصلاح تاسیسات و تجهیزات، ترویج استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف، آموزش همگانی و اقدامات فرهنگی است که در غالب اصلاحات رفتاری و اصلاحات ابزاری شکل می‌یابند. در این تحقیق راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف یک ساختمان ارزیابی شد. برای تحلیل اقتصادی میزان مصرف آب در ساختمان‌ها ابتدا یکسری پارامترها و شاخص‌های تاثیرگذار لحاظ شد و براساس آن روابطی استخراج شد و مقدار صرفه‌جویی آب در بخش‌ها و عامل‌های مختلف براساس راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان مسکونی تعیین شد. صرفه‌جویی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای سه قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی ارزیابی شد. در این تحقیق دوره بازگشت سرمایه بر مبنای قیمت آب معدنی پس از گذشت یک دوره دو سال و دو ماه، آب صادراتی پس از گذشت یک دوره دو سال و هفت ماه و آب دولتی پس از گذشت یک دوره ۳ سال و ۹ ماه با اعمال راهکارهای پیشنهادی همچون استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا، استانداردهای حداقل ابعاد مناسب در بخش‌های مختلف یک ساختمان براساس بخش چهارم مقررات ملی ساختمان و حذف سیستم‌های قدیمی و استفاده از سیستم‌های مدرن در ساختمان، امکان‌پذیر می‌باشد. در این تحقیق راهکارهای پیشنهاد شده در بخش‌های سرویس بهداشتی و سایر (شامل تی‌شورخانه، توالت فرنگی) به ترتیب با ۶۲ و ۱۶ درصد بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف آب در تقسیم‌بندی ساختمانی و در نتیجه صرفه‌جویی بالاتر دارند.

واژه‌های کلیدی: بازگشت سرمایه، تحلیل اقتصادی، راهکارهای اجرایی، ساختمان مسکونی، کاهش مصرف آب.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

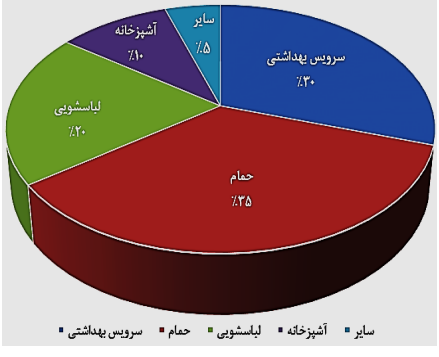
How to cite this article: Sadi, S., Pourhosein Qadi, M. & Faridouni, M. (2024). Executive Solutions and Economic Analysis to Reduce Water Consumption in Different Construction Sectors. Journal of Water and Sustainable Development, 10(4), 1-14. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2305-1242

مقدمه

ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک است که با نرخ رشد جمعیت بالا در سه دهه اخیر و با جمعیتی نزدیک به ۸۰ میلیون نفر یکی از کشورهای پرجمعیت و پر اهمیت در منطقه خاورمیانه است. بروز خشکسالی در سال‌های اخیر و کاهش بارندگی در سطح کشور باعث شده از مقدار منابع آب تجدیدپذیر کشور به شدت کاسته شود و میزان آب قابل دسترس برای بخش‌های مختلف کشور ازجمله کشاورزی، شرب و صنعت به شدت کاهش یابد. شدت بروز خشکسالی از آنجا نشات می‌گیرد که جمعیت زیاد نیاز به آب دارد و بنابراین کمبود آب اثرات خود را سریع بر بخش زیادی از جامعه نشان می‌دهد و بروز تنش‌های وابسته به آب در مناطقی از کشور، حاکی از بحرانی شدن شرایط کمبود آب و تأثیر تبعات منفی آن است. تبعاتی که در میان‌مدت و درازمدت می‌تواند نشان دهنده ضعف کشور و آسیب‌پذیری تمامیت ارضی و ثبات سیاسی و اقتصادی آن در منطقه بحران زده خاورمیانه باشد و این شرایط می‌طلبد که از هم اکنون به‌طور جدی و عملی تدابیری اندیشیده شود تا از این بحران گذر شود. در چنین شرایطی لزوم به‌کارگیری پدافند غیرعامل در حوزه آب آشامیدنی و کشاورزی اهمیت زیادی دارد. در ایران آب شیرین به‌عنوان یک منبع نامحدود به‌شمار می‌آید که اصلاح نکردن این تفکر در جامعه و نبود زیرساختهای فیزیکی و فرهنگی مناسب برای اصلاح این نگرش، هزینه‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی جبران ناپذیری در برخواهد داشت. مصرف آب در سطح جهان به‌طور مداوم در حال افزایش است و همچنان در سناریوی تجاری معمول خواهد بود. مصرف جهانی آب شیرین در قرن گذشته شش برابر شده است (Ritchie وRoser، ۲۰۲۱). طبق گزارش سازمان ملل متحد (UN)[1]، توسعه جهانی آب (WWDR)[2]، تقاضای آب شیرین از دهه ۱۹۸۰ تا کنون ۱ درصد رشد داشته است (Koncagül و همکاران، ۲۰۲۱). با این سرعت، بیش از نیمی از جمعیت جهان حداقل یک ماه در سال از نوعی کمبود آب رنج می‌برند (Boretti و Rosa، ۲۰۱۹). کم آبی می‌تواند از دو فرآیند بررسی شود، یکی کم آبی فیزیکی و دیگری کم آبی اقتصادی. کم آبی فیزیکی از ناکافی بودن منابع طبیعی برای تامین تقاضای یک ناحیه ناشی می‌شود و کم آبی اقتصادی نتیجه مدیریت ضعیف منابع آب کافی و موجود است (میثم پروازی، ۱۴۰۱). Chebaane و Hoffman (۲۰۱۷) در مورد مصرف آب در ساختمان‌های اداری تحقیق کردند. ایشان فضای سبز ساختمان‌های اداری را بزرگترین بخش مصرف‌کننده در خارج از محدوده ساختمان توصیف کردند و راهکارهایی ازجمله انتخاب مناسب گیاهان برای هر اقلیم و انتخاب صحیح روش‌های آبیاری با استفاده از کودهای مناسب برای دستیابی به صرفه‌جویی در مصرف آب ارائه کردند. بخش بعدی تحقیق آنها مربوط به نوع خاک در مناطق است که نشان‌دهنده تأثیر قوی بر میزان مصرف آب در فضای سبز است. پورحسین و سعدی (۱۴۰۲) تحلیل اقتصادی منابع تامین آب و رتبه‌بندی آن با رویکرد کاهش مصرف آب را بررسی کردند. آن‌ها سودآوری و دوره بازگشت سرمایه در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تامین آب بر مبنای سه قیمت مختلف آب یعنی قیمت آب معدنی، قیمت آب صادراتی و قیمت آب دولتی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین هزینه اجرایی و بهره‌برداری متعلق به روش‌های رطوبتی و کمترین هزینه مربوط به روش‌های تصفیه آب شور دریا و اقیانوس با روش‌های نوین بوده است. بیشترین سوددهی اقتصادی بر مبنای قیمت آب معدنی و آب صادراتی در روش‌های نوین تصفیه آب شور بوده و بر مبنای قیمت آب دولتی نیز در روش تامین آب از طریق آب‌سطحی و زیرسطحی است و کمترین سوددهی اقتصادی نیز در روش‌های تامین آب از طریق روش‌های رطوبتی بوده است فریدونی و همکاران (۱۳۹۷) شاخص‌های کاهش الگوی مصرف آب در ساختمان‌های اداری را معرفی کردند. آن‌ها در این تحقیق نحوه الگوی مصرف آب در یک ساختمان اداری را بررسی و شاخص‌های اساسی جهت بهبود الگوی مصرف آب را معرفی کردند. طبق مطالعات انجام شده می‌توان یک ساختمان اداری را به شیوه‌های مختلف به بخش‌های متعدد تقسیم‌بندی کرد. حمام، سرویس بهداشتی، آشپزخانه و فضای سبز تقسیم‌بندی انجام شده برای یک ساختمان اداری در این تحقیق است. برای طراحی و معرفی شاخص‌ها ابتدا بخش‌های تاثیرگذار در مصرف آب برای هر یک از تقسیمات ساختمانی، شناسایی شده و باتوجه‌به ابزارهای کنترل مصرف و یا ابزارهای بهبود مصرف، به طراحی شاخص آن بخش پرداخته شده است. در نهایت ۲۲ شاخص مهم و کاربردی که نشان‌دهنده کل آب مصرفی در یک ساختمان اداری بوده تدوین شد. Sadi و همکاران (۲۰۲۲) توسعه شاخص‌های صرفه‌جویی در مصرف آب برای ساختمان‌های اداری با استفاده از روش دلفی را بررسی کردند. یکی از اهداف تحقیق آن‌ها شناسایی و تدوین شاخص‌های مناسب مصرف آب در یک ساختمان اداری می‌باشد. در مرحله اول یک ساختمان اداری به بخش‌های مختلفی ازجمله دوش، حمام، آشپزخانه، فضای سبز تقسیم می‌شود. سپس از روش دلفی برای تهیه شاخص‌های موثر مصرف آب برای هر بخش استفاده می‌شود. با تعیین عوامل ذکر شده در هر بخش، ۳۸ شاخص تایید شده برای مصرف آب در یک ساختمان اداری ارائه شد. در پایان، ۳۶ شاخص که روایی و پایایی خوبی با مقادیر آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷۹ و همچنین نسبت روایی محتوا (CVR) بالاتر از ۰/۵۳ نشان دادند.

Zoghi Moghadam (۲۰۰۹) در دانشگاه Farmingdale درشهر نیویورک، منابع آب را به‌عنوان یک منبع محدود در زندگی انسان معرفی کرده است. وی با اشاره به اینکه از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ میلادی جمعیت در کشور آمریکا نزدیک به دو برابر شده و به‌طور

متوسط هر فرد ۵۰ گالن آب در روز استفاده می‌کند، به بررسی ساختمان سبز در آمریکا پرداخته است. وی با بررسی ضریب کارایی آب در حالات مختلف دریافتند که بخش‌های حمام، سرویس بهداشتی، آشپزخانه و خرابی‌های ناشی‌از آن‌ها در مجموع بیش از ۹۶ درصد از آب کل مصرفی در یک ساختمان را در بر می‌گیرد. لذا پژوهش آن‌ها این بخش‌ها نیز به‌عنوان بخش‌های اصلی جهت تعیین شاخص مناسب در نظر گرفته شدند.



شکل ۱- تقسیم‌بندی مختلف یک ساختمان مسکونی (Zoghi Moghadam، ۲۰۰۹)

Hoffman (۲۰۱۶) میزان مصرف آب یک کشور در بخش‌های مختلف را بررسی و ساختمان‌های مسکونی را با مصرف بیش از ۳۸ درصد از آب مصرفی کل یک کشور به‌عنوان مهمترین بخش مصرف‌کننده آب معرفی کردند. طبق مطالعات صورت گرفته توسط ایشان، آشپزخانه، سرویس بهداشتی، حمام و فضای سبز بیش از ۹۷ درصد از آب‌های مصرفی یک ساختمان مسکونی را شامل می‌شود. Willis و همکاران (۲۰۱۱)، Athuraliya و همکاران (۲۰۱۲) و Hay و همکاران (۲۰۱۲) انواع استفاده از آب خانگی را به‌عنوان آب غیراختیاری یا اختیاری طبقه‌بندی کردند. طبق این تعریف، مصرف آب عیراختیاری ۴۰ تا ۷۰ LPCD[۳] است و هر مصرف آبی بالاتر از این مقدار صرف‌نظر از اینکه برای چه چیزی استفاده می‌شود، باید مصرف اختیاری آب در نظر گرفته شود. تعدادی از مطالعات مصرف آب خانگی را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری، بررسی‌ها و روش‌های دیگر بررسی کردند و مقادیر معمولی را از ۹۳ LPCD تا ۴۳۰ LPCD به‌دست آوردند. Biswas و Gangwa (۲۰۲۰) گزارش دادند که عرضه آب در دهلی هند از ۲۹ LPCD در مناطق با خدمات ضعیف تا ۵۰۹ LPCD در مناطق مسکونی ممتاز متفاوت است.

Lauren Croucha و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی مصرف آب خانگی براساس فعالیت‌های مصرف شخصی آب را ارزیابی کردند. در این پژوهش یک مدل نظری برای توصیف تصادفی ۲۱ فعالیت شخصی مصرف آب ایجاد شد که مطابق با سطوح سبک زندگی براساس سلسله مراتب نیازهای فیزیولوژیکی هرم مزلو است. این پژوهش مصرف پایه مطلق (ABC)[۴] یک فرد را، صرف‌نظر از مکان مصرف آب یا منبع آب، با تمرکز بر فعالیت‌های شخصی مصرف آب به‌جای مصرف خانگی اندازه‌گیری شده را کمی می‌کند.

شهریار پناه (۱۳۹۰) شیرآلات و تجهیزات کاهنده مصرف آب و تاثیر آن جهت کاهش مصرف آب آشامیدنی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد نصب شیرآلات و تجهیزات جدید موجب کاهش ۱۵ تا ۵۰ درصدی در مصارف مربوطه و به‌طور متوسط موجب کاهش مصرف آب خانگی به میزان ۳۲ درصد در شهر می‌شود.

در این پژوهش برای بررسی راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمانی پارامترها و شاخص‌های تاثیرگذار مصرف آب شناسایی شده و براساس آن روابطی برای میزان صرفه‌جویی مصرف آب استخراج شد. برای بررسی اقتصادی این پژوهش، راهکارهای ارائه شده برای صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش‌های مختلف باید پس از محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، آن را با معیار و مبنای مناسبی به واحد پولی تبدیل کرد تا باتوجه‌به هزینه‌ای که برای پیاده‌سازی راهکارها داده می‌شود، بتوان اقتصادی بودن راهکارها، مقدار سوددهی و دوره بازگشت سرمایه را محاسبه و راهکارهای بیان شده را از لحاظ اقتصادی تحلیل کرد. لذا فرآیند تحلیل اقتصادی درمدل، با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB بر مبنای سه قیمت آب معدنی (هر گونه آب طبیعی که حاوی حداقل ۲۵۰ واحد در میلیون، کل ماده جامد محلول (TDS)[۵] باشد و از طریق شرکت‌های مختلف در سطح یک کشور بسته‌بندی و به فروش برسد)، آب صادراتی (آبی که روش‌های مختلف شامل لوله‌های انتقال آب و یا آب مجازی در اختیار کشورهای دیگر قرار می‌گیرد) و آب دولتی (آبی تصفیه شده که به‌صورت لوله‌کشی، از طریق آب آشامیدنی در اختیار شهروندان قرار می‌گیرد) تحلیل و ارزیابی شد (پورحسین و سعدی، ۱۴۰۲). در این پژوهش این سه نوع دسته بندی جزء فرضیات تحقیق بوده و قیمت آن ها ملاک بررسی اقتصادی در تحقیق است.

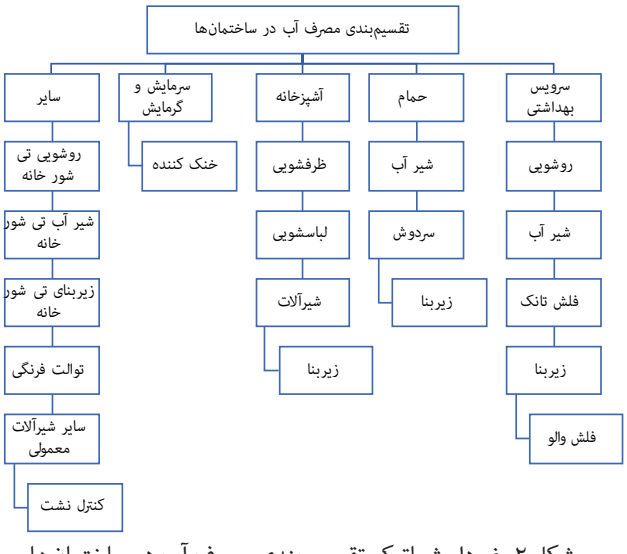
مواد و روش‌ها

• دسته‌بندی درون ساختمانی

باتوجه‌به مطالعات صورت گرفته، مشاهده می‌شود در کشورهای زیادی بحران و نگرانی کاهش و کمبود آب به چشم خورده و هر کشور باتوجه‌به میزان بحران و نگرانی موجود به دنبال راه‌حلی برای جبران کمبود آب هستند. تمامی پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه به دنبال راهکارهایی برای صرفه‌جویی در مصرف آب آشامیدنی در ساختمان‌ها هستند. برای تقسیم‌بندی کامل یک ساختمان مسکونی باید عوامل مختلف مصرف آب در هر بخش شناسایی شده و شاخص‌های مناسب گردآوری و نگارش شود. در بخش حمام مواردی مانند شیرآلات، سردوش حمام، متراژ و تعداد حمام‌ها ازجمله مواردی

هستند که نقش کلیدی در مصرف آب در این بخش دارند. در بخش سرویس بهداشتی مواردی مانند مخزن سیفون، فلاش والو، شیرآلات، متراژ و تعداد ازجمله مهمترین موارد مصرف آب در این بخش هستند. در تقسیم‌بندی آشپزخانه، بخش‌های عمده مصرف آب مربوط به شیرآلات و زیربنای آشپزخانه می‌باشد. سرمایش-گرمایش یکی دیگر از بخش‌های تقسیم شده یک ساختمان مسکونی است که باتوجه‌به نوع سیستم مورد استفاده از آب برای دستیابی به هدف خود استفاده می‌کنند. در این بخش میزان آب مصرفی هر دستگاه، در معرض آفتاب بودن کولرها و عایق‌بندی لوله‌ها ازجمله مواردی هستند که می‌توانند بر میزان مصرف آب در این بخش تأثیرگذار باشند.

علاوه‌بر موارد اشاره شده، عوامل متعدد دیگری هستند که در مجموع می‌توانند بر میزان مصرف آب در یک ساختمان مسکونی تأثیرگذار باشند. ازجمله مهمترین این عوامل، می‌توان به فنّاوری به‌کار رفته در ساختمان، فشار آب، آب خاکستری، مخازن، مصرف آب کل ساختمان و تجهیزات به‌کار رفته در ساختمان اشاره کرد. در این پژوهش با بهره‌گیری از الگوهای مطالعات پیشین یک ساختمان مسکونی به بخش‌های مختلفی تقسیم‌بندی شد. در شکل (۲) فلوچارت تقسیم‌بندی مصرف آب در ساختمان‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار شماتیک تقسیم بندی مصرف آب در ساختمان‌ها (به‌عنوان نمونه ساختمان مسکونی)

• پارامترها، هزینه‌ها و شرایط شبیه‌سازی

برای تحلیل اقتصادی میزان مصرف آب در ساختمان‌ها ابتدا باید یکسری پارامترها و شاخص‌های تاثیرگذار را برای آن لحاظ کرده و براساس آن روابطی را استخراج کرد و مقدار صرفه‌جویی آب در بخش‌ها و عامل‌های مختلف براساس راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان تعیین شود. جدول (۱) بخش‌ها و عامل‌های مختلف اعمال راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان را که در مدل تحلیل و ارزیابی شده، نشان داده است.

جدول ۱- بخش‌ها و عامل‌های مختلف اعمال راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان

عامل مصرف در بخش	بخش مصرف آب	معادل انگلیسی
روشویی	سرویس بهداشتی	Toilet_Toiletmilk
شیر آب		Toilet_Faucet
فلش تانک		Toilet_FlushTank
فلش والو		Toilet_FlushValve
زیربنا		Toilet_Foundation
شیر آب	حمام	Bathroom_Toiletmilk
سردوش		Bathroom_Shower
زیربنا		Bathroom_Foundation
شیرآلات	آشپزخانه	Kitchen_Toiletmilk
زیربنا		Kitchen_Foundation
لباسشویی		Kitchen_WashingMachine
ظرفشویی		Kitchen_Dishwasher
خنک کننده	سرمایش و گرمایش	Cooling_Heating
زیربنای تی شور خانه	سایر	Other_WSFoundation
روشویی تی شور خانه		Other_WSToiletmilk
شیر آب تی شور خانه		Other_WSFaucet
توالت فرنگی		Other_ForeignToilet
سایر شیرآلات معمولی		Other Faucet
کنترل نشت		Other_Leakage Control

رسیدن به شاخص‌های نهایی در گرو داشتن مراجع اطلاعاتی و مجموعه‌ای کامل از اطلاعات خام است تا بتوان از میان اطلاعات موجود، باتوجه‌به ساختار نظری و تمرکز بر روی هدف اصلی شاخص‌سازی، متغیرها و شاخص‌ها را انتخاب کرد. برای اجرای فرآیند تحلیل اقتصادی در مدل، نیاز به برخی شاخص‌ها و پارامترهایی در زمینه‌های مصرف آب، تعداد وسایل، مدت استفاده از ابزار مصرف آب، دبی‌های خروجی، مساحت‌ها و مدت زمان شستشوی محیط و غیره می‌باشد که در شرایط مختلف قابل ویرایش توسط کاربر می‌باشد. در مورد روش و مراحل لازم برای ساخت یک شاخص از روش ارائه شده در پروژه تحقیقاتی مشترک میان سازمان توسعه و همکاری اقتصادی اداره علم آمار، تکنولوژی و صنعت و کمیسیون اروپایی واحد آمار کاربردی و اقتصادسنجی مرکز تحقیقات استفاده شد. پس از تعداد زیادی شاخص و پارامترها بهترین آنها که وزن بیشتری در کار دارند انتخاب شدند، شاخص‌های بیان شده براساس شرایط کشور ایران انتخاب شدند. جداول (۲) و (۳) مجموعه این شاخص‌ها و پارامترهای گفته شده به همراه مقادیر استاندارد را نشان می‌دهد.

جدول (۴) نیز بخشی از پژوهش‌های مورد استفاده برای شناسایی و معرفی شاخص‌های این پژوهش را نشان می‌دهد. در این جدول پژوهشگران به همراه سال انتشار و بخش‌های مورد نظر در ساختمان و معیارهای اندازه‌گیری هر شاخص ارائه شده است.

• استخراج روابط صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف از ساختمان‌های مسکونی

برای بررسی مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی باید عوامل مختلف مصرف آب در هر بخش شناسایی شده و سپس راهکارهای مناسب بررسی شود. همانطور که در بخش قبلی مهمترین بخش‌ها و عوامل یک ساختمان مسکونی ارائه شد اولین قدم برای شناسایی صرفه‌جویی‌های احتمالی آب، بررسی میزان جریان و حجم آب مصرفی هر وسیله در بخش‌های مختلف ساختمان است. محصولات قدیمی بیشترین تاثیر را در هدر رفت آب دارند و نسبت به محصولات جدید آب بیشتری مصرف می‌کنند، همچنین هزینه‌های نگهداری آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. با جایگزینی وسایل قدیمی با مدل‌های جدیدتر و دارای برچسب، هم در مصرف آب و هم در هزینه قبوض آب و هم در تعمیر و نگهداری صرفه‌جویی می‌شود. باتوجه‌به تقسیم‌بندی و همچنین مطالعات صورت گرفته در زمینه راهکارهای بهبود مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی، مواردی که پژوهشگران کشورهای مختلف برای کاهش مصرف آب در ساختمان ارائه و پیشنهاد کرده‌اند جمع‌آوری شده و در این پژوهش ارائه شده تا میزان صرفه‌جویی در مصرف آب محاسبه شود. این روابط در بخش نتیجه و بحث آورده شده است. جدول (۵) قیمت انواع آب معدنی، دولتی و صادراتی به همراه قیمت وسایل قدیم و جدید در ساختمان براساس سال ۱۴۰۰ استفاده شده در این پژوهش ارائه شده است.

• استخراج روابط صرفه‌جویی آب

در بخش قبل نقاط مختلف یک ساختمان از دیدگاه صرفه‌جویی در مصرف آب بررسی شد. در این قسمت روابطی برای محاسبه این میزان صرفه‌جویی در حالت قدیمی و حالت جایگزینی ارائه می‌شود. که در بخش نتیجه و بحث این روابط ارائه شده است.

• تحلیل اقتصادی و دور بازگشت سرمایه

برای تحلیل اقتصادی راهکارهای ارائه شده برای صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش‌های مختلف باید پس از محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، آن را با معیار و مبنای مناسبی به واحد پولی تبدیل کرد تا باتوجه‌به هزینه‌ای که برای پیاده‌سازی راهکارها داده می‌شود، بتوان اقتصادی بودن راهکارها، مقدار سوددهی و دوره بازگشت سرمایه را محاسبه و راهکارهای بیان شده را از لحاظ اقتصادی تحلیل کرد. در این پروژه تمامی راهکارها بر مبنای سه قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی تحلیل و ارزیابی شد.

جدول ۲- پارامترهای تاثیرگذار در تحلیل اقتصادی راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان

ردیف	شاخص	ردیف	شاخص
۱	قیمت هر لیتر آب دولتی	۸	تعداد استفاده یک نفر در روز
۲	قیمت هر لیتر آب صادراتی	۹	تعداد نفرات ساکن
۳	قیمت هر لیتر آب معدنی	۱۰	تعداد روز در سال
۴	دقیقه بر حمام	۱۱	مساحت کنونی
۵	دبی شیرآلات سابق	۱۲	مساحت استاندارد
۶	دبی شیرآلات جایگزین	۱۳	دقیقه بر مترمربع شست‌وشو
۷	مقدار نشت آب	۱۴	تعداد شستشو در روز

جدول ۴- پژوهش‌های مختلف برای شناسایی شاخص‌های کاربردی برای صرفه‌جویی آب در ساختمان‌ها

معیارهای اندازه‌گیری (ایده‌هایی برای تعریف شاخص‌ها)	بخش مورد نظر در ساختمان	منابع
دبی جریان، مخازن تخلیه	توالت، شیرآلات	Proença و Ghisi (۲۰۱۰)
میزان بازیافت آب، نرخ مصرف تجهیزات	آب باران، آب خاکستری، تجهیزات، توالت‌ها	Ghisi و همکاران (۲۰۱۴)
دبی جریان، تخلیه مخزن، نرخ مصرف تجهیزات	تجهیزات لوله‌کشی، اتصالات، توالت	Soares و همکاران (۲۰۲۱)
مقدار بازیافت آب، دبی، تخلیه مخازن، نرخ مصرف تجهیزات	آب باران، سرویس بهداشتی، لوله‌کشی	Praveena و Themudu (۲۰۲۱)
میزان بازیافت آب، نرخ مصرف تجهیزات	آب باران، آب خاکستری، تجهیزات	Marinoski و همکاران (۲۰۱۸)
مصرف در اقلیم‌های مختلف	فضای سبز	Bennett و Kruger (۲۰۱۵)
مقدار آب بازیافت شده	آب باران، آب خاکستری	Shikuku و همکاران (۲۰۲۱)
مقدار بازیافت آب، دبی، تخلیه مخازن، نرخ مصرف تجهیزات	آب باران، توالت، حمام	Şahin و Manioğlu (۲۰۱۹)
میزان بازیافت آب	آب باران، آب خاکستری	Chu (۲۰۲۱)
میزان بازیافت آب	آب خاکستری	Beithou و همکاران (۲۰۱۱)

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف ساختمان‌های مسکونی

بخش‌های مختلف ساختمان و اجزای آن			دبی با شیرآلات سابق یا ماشین قدیمی یا نشت (لیتر بر دقیقه)	دبی با شیرآلات جایگزین یا ماشین جدید یا نشت (لیتر بر دقیقه)	تعداد استفاده یک نفر در روز	تعداد نفرات ساکن	تعداد روز در سال	مساحت کنونی (مترمربع)	مساحت استاندارد (مترمربع)	دقیقه بر مترمربع شست‌وشو	تعداد شستشو در روز	دقیقه بر حمام	تعداد مورد	میزان صرفه‌جویی (لیتر بر سال)
Toilet_Toiletmilk	سرویس بهداشتی	روشویی	۹/۴۶	۴/۹۲	۵	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۲۴۲۷۱/۵۵
Toilet_Faucet		شیر آب	۱۱/۳۵	۵/۶۷	۳	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹۳۲۰۳/۶۶
Toilet_FlushTank		فلش‌تانک	۱۸/۹۲	۴/۸۴	۳	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲۳۱۱۴۵/۰۸
Toilet_FlushValve		فلش والو	۱۱/۳۵	۴/۱۶	۳	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱۸۰۵۷/۹۷
Toilet_Foundation		زیربنا	۱۱/۳۵	۵/۶۷	۱	۱	۳۶۵	۲	۱/۳۲	۲	۱	۱	۵	۲۸۱۶/۸۲
Bathroom_Toiletmilk	حمام	شیر آب	۸/۳۲	۵/۶۷	۱	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۴۴۹۸/۳۵
Bathroom_Shower		سردوش	۹/۴۶	۶/۸۱	۰/۷۰	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۷/۸	۱	۷۹۱۶۰/۹۸
Bathroom_Foundation		زیربنا	۱۱/۳۵	۷/۵۷	۱	۱	۳۶۵	۳	۲/۴	۲	۰/۲	۱	۳	۳۳۱/۳۹
Kitchen_Toiletmilk	آشپزخانه	شیرآلات	۹/۴۶	۴/۹۲	۴	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹۹۴۱۷/۲۴
Kitchen_Foundation		زیربنا	۱۱/۳۵	۷/۵۷	۱	۱	۳۶۵	۶/۵	۵/۶	۲	۱	۱	۲	۲۴۸۵/۴۳
Kitchen_WashingMachine		لباسشویی	۱۷/۰۲	۱۳/۲۴	۱	۱	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳۸۰/۸۰
Kitchen_Dishwasher		ظرفشویی	۱۷/۰۲	۱۳/۲۴	۱	۱	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۳۸۰/۸۰
Cooling_Heating	سرمایش و گرمایش	کولر	۱۵۱/۳۲	۱۰۵/۹۲	۱	۱	۱۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۵۴۴۷/۵۲
Other_WSFoundation	سایر	زیربنای تی شور خانه	۱۱/۳۵	۷/۵۷	۱	۱	۳۶۵	۶	۵/۶	۲	۱	۱	۲	۱۱۰۴/۶۴
Other_WSToiletmilk		روشویی تی شور خانه	۹/۴۶	۴/۹۲	۵	۱	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۸۲۸۴/۷۷
Other_WSFaucet		شیر آب تی شور خانه	۱۱/۳۵	۵/۶۷	۵	۱	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱۰۳۵۵/۹۶
Other_ForeignToilet		توالت فرنگی	۱۳/۲۴	۶/۰۵	۳	۱۵	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱۸۰۵۷/۹۷
Other_Faucet		سایر شیرآلات معمولی	۱۱/۳۵	۵/۶۷	۵	۱	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۴	۱۰۳۵۵/۸۶
Other_LeakageControl		کنترل نشت	۰/۳۸	۰	۱۶/۷	۱	۳۶۵	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۲۳۰۵/۹۳

جدول ۵- قیمت انواع آب معدنی، دولتی و صادراتی به همراه قیمت وسایل قدیم و جدید در ساختمان (ریال)

نام وسیله		قیمت هر لیتر آب معدنی (ریال)	قیمت هر لیتر آب صادراتی (ریال)	قیمت هر لیتر آب دولتی (ریال)	قیمت وسیله قدیمی (ریال)	قیمت وسیله جدید (ریال)	تعدادوسیله برای بررسی اقتصادی
Toilet_Toiletmilk	روشویی سرویس بهداشتی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۲۵۶۷۸۷۳	۲۳۳۴۴۳۰۰	۵
Toilet_Faucet	شیر آب سرویس بهداشتی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۱۱۶۷۲۱۵	۲۱۰۰۹۸۷۰	۵
Toilet_FlushTank	فلش تانک سرویس بهداشتی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۴۲۰۱۹۷۴	۱۹۸۴۲۶۵۵	۵
Toilet_FlushValve	فلش والو سرویس بهداشتی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۴۶۶۸۸۶۰	۲۲۴۱۰۵۲۸	۵
Bathroom_ Toiletmilk	شیر آب حمام	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۲۸۰۱۳۱۶	۲۵۶۷۸۷۳۰	۳
Bathroom_ Shower	سردوش حمام	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۱۸۶۷۵۴۴	۱۴۰۰۶۵۸۰	۳
Kitchen_ Toiletmilk	شیرآلات آشپزخانه	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۲۵۶۷۸۷۳	۲۵۶۷۸۷۳۰	۲
Kitchen_ WashingMachine	لباسشویی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۸۶۳۷۳۹۱۰	۱۸۶۷۵۴۴۰۰	۰/۵
Kitchen_ Dishwasher	ظرفشویی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۱۲۸۳۹۳۶۵۰	۲۲۱۷۷۰۸۵۰	۰/۵
Cooler_ Arrangements	تمهیدات کولر	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۰	۱۴۰۰۶۵۸۰	۵
Other_ WSToiletmilk	روشویی تی شور خانه	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۲۵۶۷۸۷۳	۲۲۴۱۰۵۲۸	۲
Other_WSFaucet	شیر آب تی شور خانه	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۱۱۶۷۲۱۵	۲۱۰۰۹۸۷۰	۲
Other_ ForeignToilet	توالت فرنگی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۱۷۵۰۸۲۲۵	۹۸۰۴۶۰۶۰	۱
Other_Faucet	سایر شیرآلات معمولی	۱۳۲۵۴۹	۸۸۳۶۷۵	۲۲۹۷۵	۱۱۶۷۲۱۵	۲۱۰۰۹۸۷۰	۴

نتایج و بحث

• بررسی مصرف آب در بخش‌های مختلف و شناسایی عوامل تاثیرگذار

برای بررسی مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی باید عوامل مختلف مصرف آب در هر بخش شناسایی شده و سپس راهکارهای مناسب را بررسی کرد. در جدول (۶) تقسیم‌بندی نهایی مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی به همراه روابط استخراج شده برای بررسی بهبود مصرف آب نشان داده شده است.

در تمام روابط جدول (۶) برای تبدیل واحد گالن بر دقیقه به لیتر بر دقیقه عدد ۳/۷۸۳ در روابط ضرب می‌شود. روابط جدول (۶) منحصراً در این پژوهش به‌دست‌آمده و از هیچ منبع دیگری گرفته نشده است.

جدول ۶- تقسیم‌بندی بخش‌های مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی به همراه روابط استخراج شده برای کاهش مصرف آب

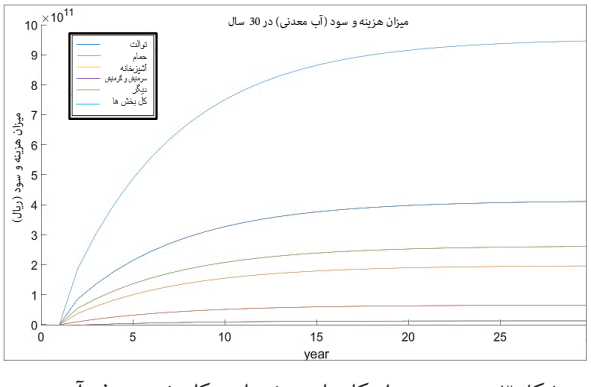
ردیف	بخش ساختمان	روابط محاسباتی الگوی مصرف	توضیحات
۱	سرویس بهداشتی -شیرآلات (روشویی) Toilet_ (Toiletmilk	$TT= [U_O-U_n]\times N_1\times N_2\times 365$ U_O(gpm)= جریان آب شیرآلات قدیمی U_n(gpm)= جریان آب شیرآلات جایگزین: gpm ۱/۳ یا کمتر N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۵ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک روشویی بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • یکی از بهترین روش‌های کاهش مصرف آب استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا است (شیرآلات جایگزین با جریان آب ۱، ۱/۲ و ۱/۵ gpm). • جریان آب شیرآلات قدیمی با ۲/۵ gpm یا بیشتر می باشد.
۲	سرویس بهداشتی - شیرآلات (شیرآب) Toilet_ (Faucet	$TFa=[U_O-U_n]\times N_1\times N_2\times 365$ U_O(gpm)= جریان آب شیرآلات قدیمی U_n(gpm)= جریان آب شیرآلات جایگزین: gpm ۱/۵ یا کمتر N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک شیر آب سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • یکی از بهترین روش‌های کاهش مصرف آب استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا است (شیرآلات جایگزین با جریان آب ۱/۵ gpm). • جریان آب یک شیر معمولی بین ۲ تا ٤ گالن در دقیقه متغیر است.
۳	سرویس بهداشتی-فلاش تانک Toilet_ (FlushTank	$TFT=[U_{tO}-U_{tn}]\times N_1\times N_2\times 365$ U_{tO}(gpf)= جریان آب در فلاش تانک قدیمی U_{tn}(gpf)= جریان آب در فلاش تانک جایگزین: gpf ۱/۲۸ یا کمتر N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک فلاش تانک سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • برای تخلیه ضایعات به فاضلاب است. • حجم فلاش‌تانک‌ها در نمونه‌های قدیمی‌تر حدود ۲۱ لیتر است. • حجم فلاش تانک ها در نمونه‌های جدیدتر حدود٦ تا ۱۰ لیتر است. • توالت‌های مخزن‌دار با برچسب (نوع جدید) دارای مجوز مستقل هستند که جریان موثر فلاش ۱/۲۸ gpf یا کمتر دارد. • فلاش تانک‌های قدیمی جریان موثر ٤ gpf الی ٦ یا بیشتر دارد.
۴	سرویس بهداشتی - فلاش والو Toilet_ (FlushValve	$TFV=[U_{vO}-U_{vn}]\times N_1\times N_2\times 365$ U_{vO}(gpm) = جریان آب در فلاش والو قدیمی U_{vn}(gpm)=جریان آب در فلاش والو جایگزین: gpm ۱/۱ یا کمتر N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک فلاش والو سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • فلاش والو، برخلاف فلاش تانک، فاقد مخزن ذخیره آب است و در زمان فعال شدن، با استفاده از یک لوله با قطر زیاد حجم مشخصی از آب را با دبی زیاد در کاسه سرویس بهداشتی تخلیه می‌کند. • مطابق بخش شانزدهم مقررات ملی ساختمان، در هر بار ریزش، فلاش تانک‌ها و فلاش والوها باید حداکثر ۱/۵ گالن (معادل ٦ لیتر) آب به داخل کاسه سرویس بهداشتی تخلیه کنند. • جایگزینی فلاش والوهای قدیمی با ۲ تا ۳ gpf یا بیشتر با مدل‌های دارای برچسب که با ۱، ۱/۱ و ۱/۲۸ gpf شستشو می‌دهند، میتواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجه آب شود.
۵	سرویس بهداشتی-زیربنا Toilet_ (Foundation	$TFO=[A_n-A_s]\times T\times[U_O-U_n]\times N\times 365$ An=مساحت کنونی(m^2) As=مساحت استاندارد (m^2): ۱/۱ × ۱/۲ T= مدت زمان شستشوی هر مترمربع (۲ دقیقه بر مترمربع) U_O(gpm)= جریان آب در شیرآلات قدیمی U_n(gpm)=جریان آب در شیرآلات مدرن:۲gpm N= تعداد شستشو در یک روز (۱مرتبه) ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از شستشوی زیر بنای یک سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • طبق مقررات ملی مبحث چهارم ساختمان حداقل ابعاد مناسب سرویس بهداشتی ۱/۱ در ۱/۲ است. • حداقل ۲ دقیقه از شیر آب برای شستشوی هر مترمربع استفاده می‌شود. • شیرآلات مدرن دارای جریان ۲ گالن بر دقیقه و شیرآلات قدیمی ۳ تا ۵ گالن بر دقیقه است. • در صورت استفاده از واترجت می‌توان مقدار محاسبه شده از معادله ردیف ٤ را در ۱/۳ ضرب کرد.

ردیف	بخش ساختمان	روابط محاسباتی الگوی مصرف	توضیحات
۶	حمام-شیرآلات (Bathroom_ Toiletmilk)	$BT=V\times N\times 365$ V=حجم آب صرفه‌جویی‌شده در یک روز برای یک نفر(گالن): ۰/۶ گالن N= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک شیر حمام که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • در شیرها و لوازم جانبی شیر آب ۲ گالن در دقیقه یا بیشتر در ۶۰ پوند بر اینچ مربع (psi) فشار آب جریان دارند. • تعویض شیرها یا هواده‌های شیر آب با جریان gpm ۲ یا بیشتر با مدل‌های دارای برچسب با جریان gpm ۱/۵ یا کمتر می‌تواند به کاهش مصرف آب کمک کند.
۷	حمام-سردوش (Bathroom_ Shower)	$BSH=[U_{dO}-U_{dn}]\times T\times N_1\times N_2\times 365$ U_{dO} (gpm)= جریان آب در شیرآلات قدیمی U_{dn} (gpm)= جریان آب در شیرآلات جایگزین: gpm ۱/۸ یا کمتر T= مدت زمان (دقیقه) حمام کردن: ۷/۵ دقیقه N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۰/۷ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک شیر حمام که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • بیشتر دوش‌های معمولی ۲ تا ۳ gpm با فشار آب psi ۶۰ استفاده می‌کنند. که در استانداردهای جدید ملزم به استفاده از سر دوش جریان حدود gpm ۲/۵ است. • سردوش‌های دارای برچسب دارای حداکثر جریان gpm ۲ هستند. • برای برآورد صرفه‌جویی در مصرف آب از جایگزینی دوش‌های قدیمی و موجود با مدل‌های دارای برچسب که در ۱/۵، ۱/۸ و gpm ۲ جریان دارند، از این رابطه می‌توان استفاده کرد.
۸	حمام-زیربنا (Bathroom_ Foundation))	$BFO=[A_n-A_s]\times T\times[U_O-U_n]\times N\times 365$ A_n=مساحت کنونی(m^2) A_s=مساحت استاندارد (m^2): ۱/۵ × ۱/۶ T= مدت زمان شستشوی هر مترمربع (۲ دقیقه بر مترمربع) U_O(gpm) = جریان آب در شیرآلات قدیمی U_n(gpm)= جریان آب در شیرآلات مدرن: gpm ۲ N= تعداد شستشو در یک روز (۰/۲ مرتبه) ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از شستشوی زیر بنای یک حمام که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • طبق مقررات ملی مبحث چهارم حداقل ابعاد مناسب حمام ۱/۶ در ۱/۵ بوده و حداقل ۲ دقیقه از شیر آب برای شستشوی هر متر مربع استفاده می‌شود. • شیرآلات مدرن دارای جریان آب ۲ گالن بر دقیقه و شیرآلات قدیمی دارای جریان آب ۳ تا ۵ گالن در دقیقه می‌باشند. • در صورت استفاده از واترجت می‌توان مقدار محاسبه شده فوق را در ۱/۳ ضرب کرد.
۹	آشپزخانه-شیرآلات (Kitchen_ Toiletmilk)	$KT=[U_O-U_n]\times T\times N\times 365$ U_O(gpm)= جریان آب با شیرآلات قدیمی U_n(gpm)= جریان آب با شیرآلات جایگزین: gpm۱/۳ یا کمتر T= مدت زمان(دقیقه) استفاده یک نفر در روز (۴ دقیقه) N= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک شیر آشپزخانه که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • یکی از بهترین روش‌های کاهش مصرف آب استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا است. (شیرآلات جایگزین با جریان آب ۱، ۱/۲ و gpm ۱/۵) جریان آب شیرآلات قدیمی با gpm ۲/۵ یا بیشتر می‌باشد.
۱۰	آشپزخانه-زیربنا (Kitchen_ Foundation)	$KFO=[A_n-A_s]\times T\times[U_O-U_n]\times N\times 365$ A_n=مساحت کنونی(m^2) A_s=مساحت پیشنهادی (m^2): ۵/۶ T= مدت زمان شستشوی هر مترمربع (۲ دقیقه بر متر مربع) U_O(gpm)= جریان آب در شیرآلات قدیمی U_n(gpm)= جریان آب در شیرآلات مدرن: gpm۲ N= تعداد شستشو در یک روز (۱ مرتبه) ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از شستشوی زیر بنای یک آشپزخانه که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • حداقل ابعاد پیشنهادی برای آشپزخانه ۵/۶ متر مربع بوده و حداقل ۲ دقیقه از شیر آب برای شستشوی هر متر مربع استفاده می‌شود. • شیرآلات مدرن دارای جریان آب ۲ گالن بر دقیقه و شیرآلات قدیمی دارای جربان آب ۳ تا ۵ گالن در دقیقه می‌باشند.

ردیف	بخش ساختمان	روابط محاسباتی الگوی مصرف	توضیحات
۱۱	سایر- تی‌شور خانه Other_) (WSFaucet	$OW=[U_O-U_n]\times N_1\times N_2\times 365$ U_O(gpm) = جریان آب شیرآلات قدیمی U_n(gpm)= جریان آب شیرآلات جایگزین: ۱/gpf۳ یا کمتر N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۵ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک روشویی در تی‌شور خانه که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • جایگزینی روشویی‌های قدیمی با جریان ۱/٦ gpf یا بیشتر با مدل‌های دارای برچسب EPA که با ۱/۲۸ gpf یا کمتر شستشو می‌دهند، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجه آب شود.
۱۲	سایر- توالت فرنگی Other_) Foreign (Toilet	$OFT=[U_{tO}-U_{tn}]\times N_1\times N_2\times 365$ U_{tO}(gpf)= جریان آب در شیرالات قدیمی U_{tn}(gpf)= جریان آب در شیرآلات جایگزین: gpf ۱/۲۸ یا کمتر N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک توالت فرنگی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • سه نوع عمده توالت فرنگی شامل فلاش گرانشی، شیر آب‌شویی و نوع مخزن تحت فشار است که توالت‌های فلاش گرانشی رایج‌ترین توالت‌ها هستند • جایگزینی روشویی‌های قدیمی با جریان ۱/٦ gpf یا بیشتر با مدل‌های دارای برچسب که با جریان ۱/۲۸ gpf یا کمتر شستشو می‌دهند، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجه آب شود.
۱۳	کنترل نشت- حمام Other_ Leaks) (Control	$OLC=Q\times T\times N_1\times N_2\times 365$ Q= نرخ نشت اندازه گیری شده در دقیقه T= مدت زمان (دقیقه) حمام کردن: ۷/۸ دقیقه N_1= تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۰/۷ مرتبه) N_2= تعداد نفرات ساکن ۳۶۵= تعداد روز در سال	• صرفه‌جویی آب ناشی از کنترل نشت آب در یک حمام بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود. • برای کنترل نشت آب حمام و دوش که برای شیرآلات معمولی با نرخ نشتی بیشتر از gpm ۰/۱ رخ می‌دهد را باید با مدل‌های جدیدتری که نشت نمی‌کنند جایگزین کنند. • با استفاده از سطل یا کیسه‌ای می‌توان میزان نشت حمام و دوش را برای جمع دستی آب در زیر دهانه شیر هنگام دوش گرفتن تعیین کرد. برای اینکار باید آب جمع‌آوری شده در سطل یا کیسه را در مدت یک دقیقه اندازه‌گیری کرد.

• سوددهی بر مبنای آب معدنی

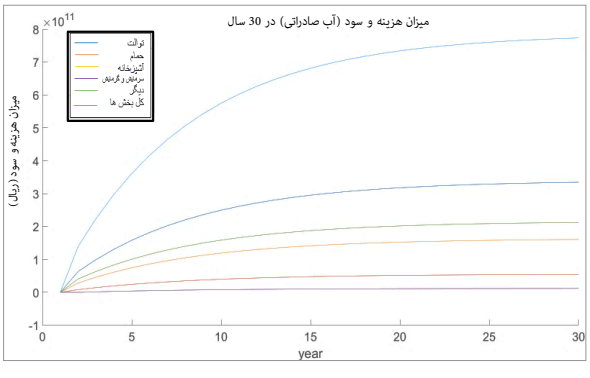
شکل (۳) نمودار سوددهی بر مبنای آب معدنی در بخش‌های مختلف: سرویس بهداشتی، حمام، آشپزخانه، سرمایش-گرمایش و سایر را در یک ساختمان مسکونی نشان می‌دهد. چنانچه در شکل (۳) مشاهده می‌شود، راهکارهای ارائه شده در بخش سرویس بهداشتی بیشترین سودآوری را به همراه داشته، در حالی‌که پژوهش‌ها نشان داده دو مصرف سرویس بهداشتی و حمام بیشترین مصرف کننده آب در بخش‌های مختلف ساختمانی هستند. پس از آن سایر مصارف که شامل توالت فرنگی، تی‌شورخانه، سایر شیرآلات و غیره می‌باشد راهکارهای مقرون‌به‌صرفه با سوددهی بالایی دارند. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد حتی اگر در چند سال نخست راهکارهای ارائه شده وارد مرحله سوددهی نشوند، پس از گذشت چند سال بخش‌ها با راهکارهای پیشنهادی وارد مرحله سوددهی می‌شوند. این راهکارها علاوه‌بر کاهش مصرف قابل توجهی آب، از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه هستند. در شکل (۳) مجموع سوددهی کل بخش‌های ساختمان، نیز در صورت اعمال تمامی راهکارهای پیشنهادی برمبنای قیمت آب معدنی نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است پس از گذشت حدود ۲ سال، راهکارهای پیشنهادی باتوجه‌به کاهش مصرفی که به همراه دارند می‌توانند هزینه اولیه را جبران کرده و پس از آن وارد مرحله سوددهی شوند. یعنی قبل از رسیدن به سال دوم مقادیر روی خطوط منفی یا صفر قرار دارند که جبران هزینه اولیه می‌باشد و از سال دوم به بعد وارد مرحله سوددهی می‌شوند.



شکل ۳- سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب معدنی

• سوددهی بر مبنای آب صادراتی

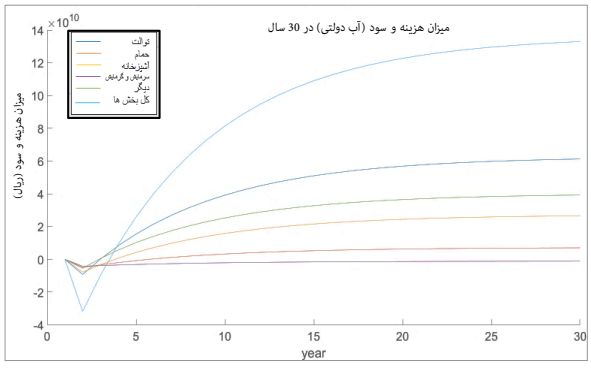
یکی دیگر از قیمت‌هایی که بر مبنای آن می‌توان عملکرد راهکارهای پیشنهادی در صرفه‌جویی مصرف آب و در نتیجه برآورد مقدار سوددهی را ارزیابی کرد، قیمت آب صادراتی می‌باشد. شکل (۴) سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان برمبنای قیمت آب صادراتی را نشان می‌دهد. همانطورکه مشاهده می‌شود، مانند نمودار نشان داده شده در شکل (۳) راهکارهای پیشنهاد شده در بخش‌های سرویس بهداشتی، سایر و آشپزخانه، بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف آب و درنتیجه سوددهی بالاتر دارند. در شکل (۴) مجموع مقادیر سوددهی برای تمامی راهکارهای پیشنهادی در تمامی بخش‌های یک ساختمان مسکونی را نیز نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود، پس از گذشت یک دوره حدود ۲ سال و ۶ ماه با اعمال تمامی راهکارهای پیشنهادی می‌توان وارد مرحله سوددهی شود و از همه مهمتر گام بزرگی در صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف یک ساختمان برداشت.



شکل ۴- سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب صادراتی

• سوددهی بر مبنای آب دولتی

مهمترین هدف دولت در تامین آب، رفع نیازهای مردم در کشور بوده، ازاین‌رو تصمیمات اتخاذی را بر مبنای همان بهاء آبی که مردم پرداخت می‌کنند لحاظ می‌کنند. مردم با نگاه بر همین قیمت آب هر تصمیمی در زمینه صرفه‌جویی مصرف آب پیشنهاد شود لحاظ می‌کنند زیرا نگاه مردم نگاه اقتصادی بوده و نگاه مدیریتی برای مصرف آب ندارند. راهکارهای پیشنهادی در مجموع باید منجر به سوددهی در یک بازه قابل قبول شود تا مردم و سازمان‌های مختلف تمایل به اجرای آن داشته باشند. تحلیل راهکارهای پیشنهادی برمبنای قیمت دولتی می‌تواند در تحلیل راهکارها در بخش‌های مختلف بسیار مهم و تاثیرگذار باشد. شکل (۵) سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان برمبنای قیمت آب دولتی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود راهکارهای ارائه شده در بخش‌های مختلف بعد از گذشت یک بازه حدود ۳ الی ۴ ساله وارد مرحله سوددهی می‌شوند. برای بررسی بهتر این موضوع می‌توان در شکل (۵) نمودار کل بخش ها را درنظر گرفت. این شکل مقدار سوددهی به‌دست آمده از به‌کار بردن تمام راهکارها در تمام بخش‌های یک ساختمان بر مبنای آب دولتی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با اعمال تمام راهکارها پس از گذشت یک دوره حدود ۳/۹ ساله می‌توان وارد مرحله سوددهی شد. نمودارهای نشان داده شده در این سه بخش (شکل‌های ۳ تا ۵) نشان می‌دهد که تحت هر شرایطی با روی آوردن به تکنولوژی‌های نوین با وجود هزینه اولیه بالایی که می‌توانند داشته باشند، علاوه‌بر کاهش قابل توجهی در مصرف آب، سودآوری اقتصادی قابل قبولی را برای مصرف‌کننده (شخصی، سازمانی و دولتی) و دولت می‌تواند به همراه داشته باشد.



شکل ۵- سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب دولتی

• محاسبه و تحلیل دوره بازگشت سرمایه

همانطور که اشاره شد در زمینه صرفه‌جویی در مصرف آب، مردم برای اجرای راهکارها نگاه اقتصادی دارند، بنابراین باید راهکارهایی ارائه شود که از لحاظ اقتصادی برای مردم مقرون‌به‌صرفه باشد. هرچند دولت می‌تواند در اجرای این راهکارها با کمک به مردم در تامین اولیه تجهیزات پیشگام بوده و درنتیجه منجر به کاهش قابل توجهی در مصرف آب شده و خود را از هزینه‌های سرسام آور تامین آب به روش‌های مختلف و استفاده بیش از حد از منابع ارزشمند آب زیرزمینی رهایی دهد. ضمن آنکه با تغییر اندکی در بهاء آب دولتی در چند سال نخست می‌توان مقدار هزینه اولیه تجهیزات را جبران کرد. به‌هرحال راهکارهای مدیریتی بسیاری برای اجرای این طرح وجود دارد که به شرایط و ضوابط تعریف شده در ارگان‌های دولتی بستگی دارد. به‌طورکلی چیزی که می‌تواند در اتخاذ این تصمیم برای دولت و مردم تاثیرگذار باشد، دانستن این موضوع است که درصورت هزینه کردن برای راهکارهای پیشنهادی در هر مجموعه یا ساختمان، پس از گذشت چند سال می‌توان هزینه تجهیزات اولیه را جبران کرد؟ برای پاسخ

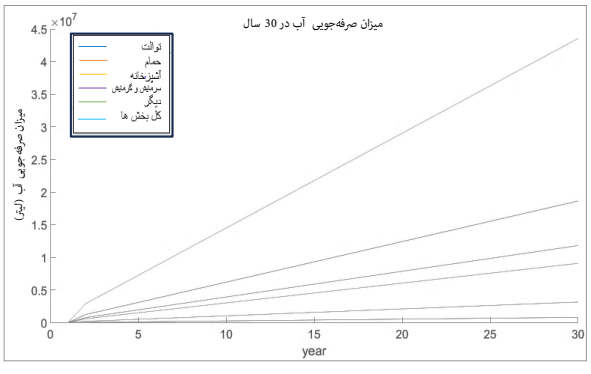
به این سوال در جدول (۷) محاسبه دوره بازگشت سرمایه در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب برمبنای هر سه قیمت آب معدنی، صادراتی و دولتی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اجرای راهکارهای کاهش مصرف آب باتوجه‌به نرخ آب معدنی پس از گذشت ۲/۲ سال و با نرخ آب صادراتی پس از گذشت ۲/۷ سال وارد مرحله سوددهی می‌شوند. اما آنچه که می‌تواند مهم و تاثیرگذار باشد، بررسی سودآوری با نرخ آب معدنی می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود، با درنظر گرفتن نرخ آب دولتی به‌طورکلی نهایتا پس از گذشت ۳/۹ سال مجموعه یا ساختمان مورد نظر می‌تواند هزینه اولیه تجهیزات و اقدامات اولیه را جبران کرده و علاوه بر کاهش قابل توجهی در مصرف آب، وارد مرحله سودآوری شود. دوره بازگشت سرمایه در این تحقیق با نرخ بازده (ROR) ۱۵ درصد، تعداد سال مورد بررسی ۳۰ سال، ارزش خالص کنونی (NPW)، محاسبه شده است. این قسمت از پژوهش با کدنویسی در نرم‌افزار متلب انجام شد تا دوره بازگشت سرمایه استخراج شود.

جدول ۷- محاسبه دوره بازگشت سرمایه در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب (سال)

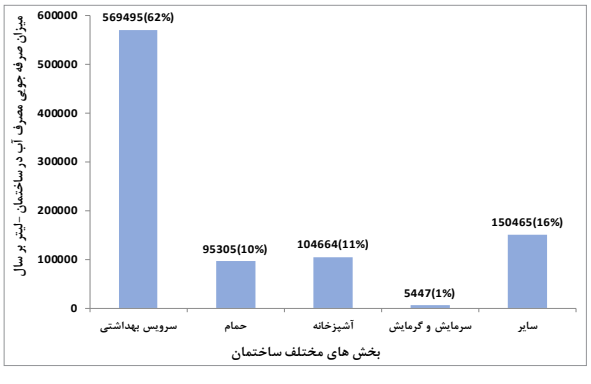
بخش‌های مصرف آب	بر مبنای قیمت آب معدنی	بر مبنای قیمت آب دولتی	بر مبنای قیمت آب صادراتی
توالت (Toilet)	۲	۳/۵	۲
حمام (Bathroom)	۲	۳/۵	۲/۵
آشپزخانه (Kitchen)	۲	۴	۲/۵
سرمایش و گرمایش (Cooling and heating)	۳	۴/۵	۲/۵
سایر (Other)	۲	۴	۴
همه (All)-میانگین همه بخش‌ها	۲/۲	۳/۹	۲/۷

• محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب

پس از اتمام تحلیل اقتصادی باید به سوال «ارائه راهکارهای پیشنهادی برای کاهش مصرف آب تا چه اندازه می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شود؟» پاسخ داده شود. برای پاسخ به این سوال نمودارهایی در شکل‌های (۶) و (۷) رسم شده که به تفکیک نشان می‌دهد، مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان به چه میزان است و راهکارهای پیشنهادی در کدام بخش‌ها بیشترین تاثیر در کاهش مصرف آب را دارد. همانطور که مشاهده می‌شود بیش‌ترین تاثیر در بخش سرویس بهداشتی بوده که به نظر می‌رسد راهکارهای پیشنهادی باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در این بخش می‌شود که برحسب درصد مقدار آب صرفه‌جویی شده حدود ۶۲ درصد می‌باشد. پس از آن بخش "سایر" (شامل: تولت فرنگی، تی‌شورخانه، سایر شیرآلات و کنترل نشت) با ۱۶ درصد و بخش آشپزخانه با ۱۱ درصد تاثیر قابل قبولی در کاهش مصرف آب دارند. پس از آن بخش حمام با ۱۰ درصد و در انتها بخش سرمایش و گرمایش با ۱ درصد قرار دارند.



شکل ۶- مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان



شکل ۷- نمایی از میزان صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان مسکونی (لیتر بر سال) براساس روابط استخراج شده جدول (۶)

نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج این پژوهش عبارتند از:

- برای تحلیل اقتصادی میزان مصرف آب در ساختمان‌ها ابتدا یکسری پارامترها و شاخص‌های تاثیرگذار برای آن لحاظ شده، براساس آن روابطی استخراج شده و مقدار صرفه‌جویی آب در بخش‌ها و عامل‌های مختلف براساس راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان مسکونی تعیین شد. پس از محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، آن را با معیار و مبنای مناسبی به واحد پولی تبدیل کرده تا باتوجه‌به هزینه‌ای که برای پیاده‌سازی راهکارها داده می‌شود، بتوان اقتصادی بودن راهکارها، مقدار سوددهی و دوره بازگشت سرمایه را محاسبه و راهکارهای بیان

شده را از لحاظ اقتصادی تحلیل کرد. در این پروژه تمام راهکارها بر مبنای سه قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی تحلیل و ارزیابی شد.

- تحلیل اقتصادی بر مبنای قیمت آب معدنی اینگونه بود که راهکارهای ارائه شده در بخش سرویس بهداشتی بیشترین سودآوری را به همراه داشته، درحالی‌که تحقیقات نشان داد سرویس بهداشتی و حمام بیشترین مصرف کننده آب در بخش‌های مختلف ساختمانی هستند. پس از آن بخش سایر که شامل توالت فرنگی، تی‌شورخانه، سایر شیرآلات و غیره می‌باشد، راهکارهای مقرون‌به‌صرفه سوددهی بالایی دارند. دوره بازگشت سرمایه در این بخش پس از گذشت ۲/۲سال، می‌توانند هزینه اولیه را جبران کرده و پس از آن وارد مرحله سوددهی شوند.

- تحلیل اقتصادی برمبنای قیمت آب صادراتی نشان داد راهکارهای پیشنهاد شده در بخش‌های سرویس بهداشتی، سایر و آشپزخانه، بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف آب و در نتیجه سوددهی بالاتر دارند. دوره بازگشت سرمایه در این حالت پس از گذشت یک دوره ۲/۷ساله با اعمال تمامی راهکارهای پیشنهادی می‌توان وارد مرحله سوددهی شود و از همه مهمتر گام بزرگی در صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف یک ساختمان برداشت.

- تحلیل اقتصادی برمبنای قیمت آب دولتی نشان داد راهکارهای ارائه شده در بخش های مختلف در تقسیم‌بندی ساختمانی در مجموع در یک بازه ۴ و ۳ ساله وارد مرحله سوددهی می‌شوند. دوره بازگشت سرمایه در این بخش پس از اعمال تمام راهکارها با گذشت یک دوره تقریبا ۳/۹ ساله می‌تواند وارد مرحله سوددهی شوند.

- در این پژوهش مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان محاسبه شد که پیرو آن نشان داده شد که راهکارهای پیشنهادی در کدام بخش‌ها بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف آب دارد. مطابق این بررسی بیشترین تاثیر در بخش سرویس بهداشتی بوده و به نظر می‌رسد راهکارهای پیشنهادی باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در این بخش می‌شود که این صرفه‌جویی آب برحسب درصد حدود ۶۲ درصد می‌باشد. پس از آن بخش "سایر" (شامل: تولت فرنگی، تی‌شورخانه، سایر شیرآلات و کنترل نشت) با ۱۶ درصد و بخش آشپزخانه با ۱۱ درصد تاثیر قابل قبولی در کاهش مصرف آب دارند. پس از آن بخش حمام با ۱۰ درصد و در انتها بخش سرمایش و گرمایش با ۱ درصد قرار دارند.

پی‌نوشت‌ها

1-United Nations

2-Worldwide Developer Relations

3-litres per person capita per day

4-Absolute Base Consumption

5-Total dissolved solids

منابع

پرواز، میثم. (۱۴۰۱). مروری بر بحران آب و اهمیت آب، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم مهندسی و علوم انسانی. باکو، جمهوری آذربایجان. https://civilica.com/doc/1562110

پورحسین، مهرداد، و سعدی، سجاد. (۱۴۰۲). تحلیل اقتصادی منابع تأمین آب و رتبه‌بندی آن با رویکرد کاهش مصرف آب. اکوهیدرولوژی، ۱۰(۲)، ۲۶۲-۲۴۵. DOI: 10.22059/ije.2023.358230.1725

شهریارپناه، رحیم. (۱۳۹۰). بررسی شیرآلات و تجهیزات کاهنده مصرف آب و تحقق در زمینه تاثیر آن جهت کاهش مصرف آب آشامیدنی. همایش ملی اصلاح الگوی تولید و مصرف. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. https://civilica.com/doc/126754

فریدونی، مهدی، سعدی، سجاد، و غلامی، جواد. (۱۳۹۷). معرفی شاخص های کاهش الگوی مصرف آب در ساختمان‌های اداری، دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی، سازمان انرژی و محیط‌زیست. تهران. https://civilica.com/doc/84837

Athuraliya A., Roberts P., & Brown A. (2012). Residential Water Use Study. Yarra Valley Water, Mitcham, Australia. Australian Standards/New Zealand Standards (AS/NZS) 2016 Water Efficient Products – Rating and Labelling. Australia, AS/NZS 6400: 2016.

Beithou, N., Hilal, M. A., & Abu-Alshaikh, I. (2011). Thermal Analysis of Discrete Water supply in Domestic Hot Water Storage Tank. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 5(1), 29-32. ISSN 1995-6665.

Bennett, B., & Kruger, F. (2015). Forestry and water conservation in South Africa. ANU Press. World Forest History Series. South Africa. http://doi.org/10.22459/FWC-SA.11.2015

Biswas A., & Gangwar D. (2020). Studying the water crisis in Delhi due to rapid urbanisation and land use transformation. International Journal of Urban Sustainable Development. 199-213. doi: 10.1080/19463138.2020.1858423

Boretti A., & Rosa L. (2019). Reassessing the Projections of the World Water Development Report. NPJ Clean Water. npj Clean Water, 2(15), E3S Web of Conferences 489, 05002 (2024). DOI: 10.1038/s41545-019-0039-9

Chebaane, M., & Hoffman, B. (2017). Office Buildings

search Square, 1-17. DOI: 10.21203/rs.3.rs-319748/v1

Ritchie, H., & Roser, M. (2021). Water Use and Stress. Available online: https://ourworldindata.org/water-use-stress (accessed on 17 June 2021).

Sadi, S., Gholami, J., Fereydooni, M., & Moshari, S. (2022). Development of Water Conservation Indicators for Office Buildings Using Delphi Method. Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering, 16(2), 247 – 259. ISSN 1995-6665.

Sahin, N. İ., & Manioğlu, G. (2019). Water conservation through rainwater harvesting using different building forms in different climatic regions. Sustainable Cities and Society, 44, 367-377. DOI: 10.1016/j.scs.2018.10.010

Shikuku, J., Munala, G., Njuguna, M., Muhoro, T., Gremley, A., Nyakundi, V., & Ali, M. (2021). Cost–benefit analysis of water conservation systems installed in household buildings in Nairobi County. Development in Practice, 32(3), 1-16. DOI: 10.1080/09614524.2021.1937533

Soares, A. E. P., Silva, J. K. D., Nunes, L. G. C. F., Rios Ribeiro, M. M., & Silva, S. R. D. (2021). Water conservation potential within higher education institutions: lessons from a Brazilian university. Urban Water Journal, 20(2), 1-9. DOI: 10.1080/1573062X.2021.2013903

Willis R. M., Stewart R. A., Panuwatwanich K., Williams P. R., & Hollingsworth A. L. (2011). Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. Journal of Environmental Management, 92(8), 1996–2009. DOI:10.1016/j.jenvman.2011.03.023

Zoghi Moghadam, B. Z. (2009). Introducing Water Efficiency of US Green Building Council's LEED Program to the Freshmen of the Technology College, Architecture and Construction Management Department, Farmingdale State College.

Water Efficiency Guide. USAID water demand management program. USA.

Chu, S. (2021). Study on Comprehensive Utilization of Water Resource Environment in Water-saving Design of Buildings. Academic Journal of Environment & Earth Science, 3(3), 47-50. doi: 10.25236/AJEE.2021.030310

Ghisi, E., Rupp, R. F., & Triska, Y. (2014). Comparing indicators to rank strategies to save potable water in buildings. Resources, conservation and recycling, 87, 137-144. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.04.001

Hay E. R., Riemann K., & van Zyl G., Thompson I. (2012). Ensuring water supply for all towns and villages in the Eastern Cape and Western Cape Provinces of South Africa. Water SA, 38(3): 437–444. DOI: 10.4314/wsa.v38i3.9

Hoffman, B. (2016). office buildings water efficiency guide. Mini City America. https://csbe.squarespace.com

Koncagül E., Tran M., & Connor R. (2021). The United Nations World Water Development Report 2021.Valuing Water. ISBN :978-92-3-100434-6. 187 Page, Facts and Figures. UNESCO: Paris, France.

Lauren Croucha, M., Erasmus Jacobs, H., Koncagül E., Tran M., & Connor R. (2021). The United Nations World Water Development Report 2021.Valuing Water. ISBN :978-92-3-100434-6. 187 Page, Facts and Figures. UNESCO: Paris, France.

Speight, V. (2021). Defining domestic water consumption based on personal water use activities., AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 70(7), 1002. doi: 10.2166/aqua.2021.05

Marinoski, A. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. Journal of environmental management, 206, 28-39. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.10.004

Proença, L. C., & Ghisi, E. (2010). Water end-uses in Brazilian office buildings. Resources, Conservation and Recycling, 54(8), 489-500. DOI: 10.1016/j.resconrec.2009.10.005

Praveena, S. M., & Themudu, S. (2021). Water Conservation Initiative in a Public School from Tropical Country: Performance and Sustainability Assessments. Re-