

Designing a Water-Saving Device for Optimal Tap Temperature Adjustment

Saleh Karimi Douna  Bachelor of Industrial Design, Kamal Al-Molk University, Mazandaran, Iran.

Bahareh Karimi Douna  Master of Industrial and Environmental Biotechnology, University of Tehran, Tehran, Iran.

Mohsen Ghomi  Instructor, Structural Engineering, Islamic Azad University, Chalous Branch, Mazandaran, Iran.

Abstract

Introduction

Water and energy conservation represent two of the most critical challenges of our time. In conventional plumbing systems, substantial amounts of water and energy are wasted daily as users wait for tap water to reach the desired temperature. This theoretical research introduces a conceptual design for an intelligent, purely mechanical, and cost-effective system that can be integrated into faucets to eliminate such waste. The proposed device seeks to address this global issue by preventing water from flowing until it reaches a pre-set temperature, thus contributing to sustainable development goals through improved resource efficiency.

Methodology and Conceptual Design

This study is grounded in a theoretical and conceptual design approach. At the core of the proposed system is a mechanical thermostatic valve that operates entirely without electricity or electronic circuitry, relying instead on temperature-sensitive components such as bimetallic strips or thermal wax.

Operating Principle

The valve automatically blocks water flow when the water temperature deviates from the user-defined setting (adjustable between 15 °C and 60 °C). Once the water in the pipes reaches the desired temperature, the thermal actuator opens the valve, allowing water to flow. This “intelligent waiting” mechanism ensures that no water is wasted during the temperature-adjustment phase.

* Corresponding Author: baharehkarimi@ut.ac.ir

How to Cite: Karimi Douna, S., Karimi Douna, B., Ghomi, M. (2025). Designing a Water-Saving Device for Optimal Tap Temperature Adjustment. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 11(5), pp. 157-191.

Dual-Mode Functionality

A key innovation is the inclusion of a mechanical mode selector for “Hot Water” or “Cold Water” demand. In cold mode, a secondary mechanism diverts the initial warm water present in the pipes into a storage tank for non-potable reuse (e.g., plant irrigation), providing users with immediate access to cold water from the main supply and effectively eliminating waste.

Key Technical Specification

The design incorporates ± 1.5 °C temperature accuracy, a durable brass body with chrome plating, and standard dimensions to allow seamless installation and compatibility with conventional faucet systems.

Results and Conclusion

The conceptual analysis and theoretical estimates indicate that the system offers a highly effective solution for integrated water and energy management.

Efficiency

The device is projected to save up to 65% of the water typically wasted while waiting for temperature adjustment and approximately 40% of the energy consumed in heating water.

Economic Viability

Cost-benefit analysis reveals a low initial investment, a payback period of fewer than eight months, and an impressive Internal Rate of Return (IRR) of 158% for household users, making the design an economically compelling solution.

Advantages and Impact

The main strengths of the system lie in its structural simplicity, low production cost, durability, and complete independence from electrical power. These features make it suitable for widespread deployment in residential buildings, hotels, public facilities, and underserved communities.

Conclusion

In summary, this mechanical thermostatic valve presents a practical, sustainable, and economically viable technology for significant water and energy conservation, offering meaningful contributions toward achieving global sustainable development objectives.

Keywords: Thermostatic valve, water conservation, energy management, consumption optimization, sustainable development

JEL Classification: Q25, Q53, Q55



— فصلنامه محیط زیست و منابع طبیعی —

سال ۵، شماره ۱۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۱۵۷-۱۹۰

Jiee.atu.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.86501.211>

طراحی یک دستگاه صرفه جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای شیرهای آب

- صالح کریمی دونا  کارشناسی طراحی صنعتی، دانشگاه غیرانتفاعی کمال الملک، مازندران، ایران.
- بهاره کریمی دونا  * کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی صنعت و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- محسن قمی  مربی مهندسی عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، مازندران، ایران.

چکیده

این پژوهش نظری به معرفی و طراحی مفهومی یک سامانه مکانیکی و مقرون به صرفه برای کاهش مصرف آب و انرژی در شیرآلات می پردازد. سازوکار پیشنهادی مبتنی بر یک شیر ترموستاتیک تمام مکانیکی است که با بهره گیری از عناصر حساس به دما نظیر بی متال یا موم گرمایی، جریان آب را تا رسیدن به دمای مطلوب متوقف می سازد. این ویژگی باعث می شود که در زمان انتظار برای خروج آب با دمای مناسب، از هدررفت قابل توجه آب و انرژی جلوگیری گردد. براساس برآوردها، این سامانه قادر است حدود ۶۵ درصد از آب مصرفی بیهوده و نزدیک به ۴۰ درصد از انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب را کاهش دهد. مزیت کلیدی این طرح در سادگی ساختار، عدم نیاز به برق یا تجهیزات الکترونیکی پیچیده و هزینه پایین تولید نهفته است؛ عواملی که امکان استفاده گسترده آن را در ساختمان های مسکونی، هتل ها، مراکز عمومی و حتی مناطق محروم فراهم می کند. نتایج حاصل نشان می دهد که این فناوری علاوه بر بهبود بهره وری منابع، می تواند به عنوان راهکاری عملی و پایدار در مدیریت آب و انرژی مورد استفاده قرار گیرد و گامی مؤثر در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار محسوب شود.

کلیدواژه ها: شیر ترموستاتیک، صرفه جویی آب، مدیریت انرژی، بهینه سازی مصرف، توسعه پایدار

طبقه بندی JEL: Q25, Q53, Q55

* نویسنده مسئول: baharehkarimi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

در جهان امروز که بحران کم آبی و مصرف بی رویه انرژی به چالشی جهانی تبدیل شده، نیاز به راهکارهای هوشمند برای کاهش هدررفت منابع بیش از پیش احساس می شود. مطالعات نشان می دهد دستگاه های سنتی تأمین آب گرم در ساختمان ها سالانه موجب هدررفت میلیون ها لیتر آب و مقادیر قابل توجهی انرژی می شود (اسماعیلی شیرازی فرد^۱ و همکاران، ۲۰۲۴، کومار و سکسنا^۲، ۲۰۲۴). این مشکل در مناطق شهری عامل حدود ۲۸٪ از هدررفت آب خانگی است (مورکونیت^۳ و همکاران، ۲۰۲۵). در کنار نیاز به آب گرم برای مصارفی مانند استحمام، شست و شوی ظروف و در سرویس های بهداشتی، نیاز به آب سرد برای اموری مانند شستن میوه ها و سبزی ها، آشامیدن و آبیاری گیاهان نیز منجر به هدررفت قابل توجه آب تا زمان رسیدن به دمای مطلوب می شود. مطالعات نشان می دهد که در این موارد نیز کاربران مجبورند تا رسیدن آب به دمای مطلوب (سرد یا گرم)، مقدار قابل توجهی آب را هدر دهند (مورکونیت و همکاران، ۲۰۲۵). این پژوهش با هدف صرفه جویی در مصرف آب و انرژی، یک راهکار مکانیکی ساده و مقرون به صرفه ارائه می دهد. در این دستگاه، از یک شیر ترموستاتیک مکانیکی استفاده می شود که جریان آب را تا رسیدن به دمای مطلوب قطع می کند. در واقع، یک سازوکار تنظیم دمای هوشمند مبتنی بر ترموستات های مکانیکی با دقت $\pm 1/5$ درجه سانتی گراد توسعه می یابد (گاجندیران^۴ و همکاران، ۲۰۲۵). این روش از هدررفت آب در مواقعی مانند انتظار برای گرم یا سرد شدن آب جلوگیری می کند. براساس نتایج تحقیقات، این دستگاه می تواند در بازه ۴۰ تا ۶۵٪ در مصرف آب و انرژی صرفه جویی ایجاد کند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۸، یانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۵). همچنین این تحقیق بر بهینه سازی مصرف انرژی در دستگاه های گرمایشی / سرمایشی متمرکز است. نتایج نشان می دهد این دستگاه قادر است تا ۴۰٪ در مصرف انرژی صرفه جویی ایجاد کند (بیلد آپ^۶، ۲۰۲۵، آگراوال^۷ و همکاران، ۲۰۲۲، لیو^۸ و همکاران، ۲۰۲۴). طراحی مکانیکی آن باعث قابلیت اطمینان بالا و هزینه اجرای

-
1. Esmaeilishirazifard
 2. Kumar and Saxena
 3. Morkunaite
 4. Gajendiran
 5. Yang
 6. BUILD UP
 7. Agarwal
 8. Liu

پایین شده که آن را برای استفاده در ساختمان‌های مسکونی، هتل‌ها و حتی مناطق محروم با تأثیر چشمگیر در کاهش هزینه‌های عملیاتی، مناسب می‌سازد. این فناوری با ترکیب سادگی و کارایی، گامی مؤثر در مدیریت پایدار منابع آب و انرژی برخواهد داشت. در مجموع، این پژوهش با رویکردی نظری، به طراحی و تبیین یک مفهوم پیشنهادی برای غلبه بر چالش هدررفت آب می‌پردازد.

۲. ضرورت و نوآوری تحقیق

این تحقیق نظری و مفهومی با هدف ارائه راهکار عملی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و آب در دستگاه‌های تأمین آب ساختمان‌ها انجام شده است. مطالعات نشان می‌دهد دستگاه‌های سنتی کنترل دمای آب با دو مشکل اساسی مواجه هستند: هدررفت قابل توجه آب در دوره گذار تا رسیدن به دمای مطلوب و پیچیدگی فنی دستگاه‌های الکترونیکی موجود. براساس پژوهش‌های میدانی، این ناکارایی‌ها سالانه موجب اتلاف ۳۰-۴۰٪ از انرژی مصرفی بخش خانگی می‌شود. در این راستا، دستگاه پیشنهادی این تحقیق با بهره‌گیری از سازوکارهای ترموستاتیک مکانیکی پیشرفته، راهکاری نوین ارائه می‌دهد که از سه ویژگی کلیدی برخوردار است: عملکرد مستقل از دستگاه‌های الکترونیکی، دقت کنترل دمایی بالا ($1/5 \pm ^\circ\text{C}$) و سازوکار قطع جریان هوشمند. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند این فناوری می‌تواند تا ۶۵٪ از هدررفت آب و ۴۰٪ از مصرف انرژی بکاهد، بدون نیاز به تغییرات اساسی در زیرساخت‌های موجود. نوآوری اصلی این پژوهش در طراحی دستگاه کاملاً مکانیکی با قابلیت‌های هوشمند و ترکیب فناوری‌های ساده مانند ترموستات‌های مومی و بی‌متال برای دستیابی به دقت بالا است. مزیت‌های نسبی این دستگاه شامل استقلال از تجهیزات الکترونیکی پیچیده، هزینه تولید و نگهداری پایین‌تر و قابلیت اجرا در انواع ساختمان‌ها است. این تحقیق از طریق ارائه راهکاری ساده اما مؤثر، گامی مهم در جهت مدیریت پایدار منابع آب و انرژی و تحقق اهداف توسعه پایدار در بخش ساختمان برمی‌دارد.

در مجموع، این پژوهش با ترکیب سادگی مکانیکی (ترموستات‌های مکانیکی با دقت $1/5 \pm ^\circ\text{C}$) و هزینه پایین، خلأ موجود در ادبیات را پر می‌کند. دستگاه پیشنهادی با قطع جریان تا رسیدن به دمای مطلوب، هم از هدررفت آب جلوگیری می‌کند و هم مصرف انرژی را تا ۴۰٪ کاهش می‌دهد. این راهکار ویژه ساختمان‌های مسکونی، هتل‌ها و مناطق محروم طراحی شده است.

۳. روش‌شناسی نظری و چارچوب طراحی مفهومی

این پژوهش یک مطالعه نظری با هدف ارائه و تبیین یک مفهوم نوآورانه برای حل مشکل هدررفت آب است. در این بخش، روش‌شناسی و طراحی دستگاه کنترل مصرف آب و انرژی با ترکیبی از فناوری‌های پیشرفته و سازوکارهای ساده اما کارآمد ارائه می‌شود که هدف اصلی آن کاهش هدررفت منابع و افزایش بهره‌وری در ساختمان‌های مسکونی و تجاری است.

الف) اصول طراحی و سازوکار عملکرد

دستگاه پیشنهادی بر مبنای یک شیر ترموستاتیک مکانیکی هوشمند طراحی شده است که با بهره‌گیری از عناصر حساس به دما، جریان آب را تا رسیدن به دمای از پیش تعیین شده متوقف می‌سازد. این سامانه از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

الف-۱. ترموستات مکانیکی (شکل ۱).

ترموستات مکانیکی با دقت عملکردی $\pm 1/5$ درجه سانتی‌گراد، از یک عنصر حساس به دما (بی‌متال یا موم گرمایی) جهت آشکارسازی دمای سیال بهره می‌گیرد (پیفر^۱ و همکاران، ۲۰۱۱).

انواع ترموستات‌های مورد استفاده عبارتند از:

ترموستات بی‌متال^۲: این نوع ترموستات مبتنی بر خاصیت انبساط حرارتی متفاوت دو فلز متصل به یکدیگر عمل می‌کند. در اثر افزایش دما، نوار بی‌متال خمیده شده و موجب قطع مدار یا جریان می‌شود. با کاهش دما، نوار به حالت اولیه بازگشته و مجدداً اتصال برقرار می‌گردد. سادگی ساختار، قیمت پایین و قابلیت اطمینان بالا، استفاده گسترده از این نوع ترموستات را در صنایع گرمایشی، سرمایشی و تجهیزات خانگی توجیه می‌کند (هائو^۳ و همکاران، ۲۰۲۴).



شکل ۱. شکل سمت راست: ترموستات بی متالیک، شکل سمت چپ: ترموستات مومی

ترموستات موم گرمایی (مومی)^۱: این نوع ترموستات براساس تغییر فاز و انبساط موم در اثر حرارت عمل می‌کند. در دماهای بالا، موم ذوب و منبسط شده و میله‌ای را به سمت بیرون می‌راند که به باز شدن سوپاپ و عبور سیال منجر می‌شود. این فناوری به‌طور گسترده در سامانه‌های خنک‌کاری خودرو و کنترل دمای رادیاتورها در تأسیسات خانگی کاربرد دارد (علی^۲ و همکاران، ۲۰۲۴).

لازم به ذکر است که در طراحی این دستگاه، دستگاه خنک‌کننده^۳ جداگانه فعال مانند چیلر یا کولر آبی وجود ندارد؛ بلکه تنها از دمای پایین‌تر آب اصلی که از شبکه توزیع یا منابع زیرزمینی می‌آید، استفاده می‌کند. عملکرد دستگاه مبتنی بر انتظار هوشمند برای رسیدن آب سرد از منبع اصلی و قطع خودکار جریان تا آن لحظه است. این سازوکار از هدررفت آب در انتظار برای سرد شدن جلوگیری می‌کند.

الف-۲. سازوکار قطع جریان آب (ناوینکومار^۴ و همکاران، ۲۰۲۴).

این بخش شامل سامانه‌ای خودکار برای قطع و وصل جریان است که ویژگی‌های زیر را داراست:

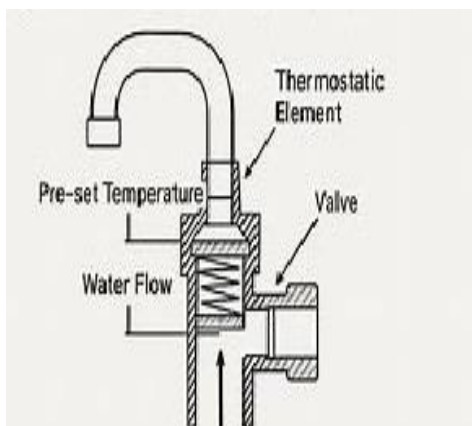
- تشخیص انحراف دما از محدوده تنظیم‌شده،
- قطع جریان بدون نیاز به منبع انرژی خارجی،

1. wax thermostats
2. Ali
3. cooling system
4. Naveenkumar

● بازگشت تدریجی جریان پس از دستیابی به دمای مطلوب آب.

الف-۳. بازوی تنظیم دستی

کاربر می‌تواند دمای مطلوب آب را در بازه ۱۵ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد از طریق بازوی تنظیم دستی تعیین نماید (سان^۱ و همکاران، ۲۰۲۲)؛ البته در صورتی که بخواهیم کنترل دقیق‌تر و ویژگی‌های پیشرفته‌تری داشته باشیم، می‌توان از دستگاه نمایشگر و تنظیم دیجیتال استفاده کرد که امکان تنظیم دمای دقیق‌تر، برنامه‌ریزی زمانی و مشاهده بلادرنگ^۲ دمای آب را فراهم می‌کند (شکل ۲).



شکل ۲. نمایی از دستگاه داخلی و بیرونی شیر آب هوشمند (تولیدشده با هوش مصنوعی)

ب) ویژگی‌های فنی و عملکردی

ب-۱. فناوری‌های حساس به دما

● عناصر بی‌متال: مبتنی بر اختلاف ضریب انبساط حرارتی فلزات (هائو و همکاران، ۲۰۲۴).

● موم‌های ترموستاتیک: متکی بر تغییر فاز ماده در دمای معین

ب-۲. مشخصات فنی

1. Sun
2. real-time

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۶۵

- دقت عملکرد: $\pm 1/5$ درجه سانتی‌گراد
- محدوده دمای قابل تنظیم: ۱۵ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد
- جنس بدنه: آلایژ برنج با پوشش کروم
- مقاومت بالا در برابر خوردگی و رسوب
- طراحی ماژولار جهت سهولت تعمیر و نگهداری
- ابعاد استاندارد برای نصب آسان.

ب-۳. قابلیت‌های نصب و راه‌اندازی

- سازگاری کامل با سامانه‌های موجود
- امکان جایگزینی با شیرهای متداول
- نصب سریع بدون نیاز به تغییر اساسی در لوله‌کشی

ج) عملکرد دوگانه دستگاه در حالت‌های درخواست آب سرد و گرم به منظور پاسخگویی به نیاز دستیابی به آب سرد بدون هدررفت، یک سازوکار انتخاب حالت کاملاً مکانیکی در طراحی دستگاه گنجانده شده است. این سازوکار متشکل از اجزای زیر است:

ج-۱. اجزای اصلی سازوکار:

- دسته یا اهرم انتخاب حالت: جهت انتخاب توسط کاربر بین دو حالت «آب گرم» و «آب سرد»
- سپراتور (جداکننده) مکانیکی: مسیر جریان آب را براساس حالت انتخاب‌شده هدایت می‌کند.

- مخزن ذخیره ثانویه: جهت جمع‌آوری آب اولیه موجود در لوله‌ها
- ترموستات بی‌متال ثانویه: جهت تشخیص دمای آب و تغییر مسیر جریان

ج-۲. سازوکار عملکرد:

- حالت «آب گرم» (حالت پیش‌فرض):
- در این حالت، دستگاه مطابق طراحی اصلی عمل می‌کند.

- ترموستات اصلی، جریان آب را تا رسیدن به دمای تنظیم شده مسدود می‌نماید.
- این حالت برای مصارف استحمام، شست‌وشوی ظروف و سایر نیازهای آب گرم طراحی شده است.
- حالت «آب سرد»:
 - با انتخاب این حالت توسط کاربر، سیراتور مکانیکی فعال می‌شود.
 - آب اولیه موجود در لوله‌ها (که ممکن است گرم باشد) به مسیر ثانویه هدایت شده و در مخزن ذخیره جمع‌آوری می‌گردد.
 - هم‌زمان، مسیر مستقیم آب سرد از شبکه اصلی به‌طور کامل باز می‌شود.
 - کاربر بلافاصله به آب سرد شبکه اصلی دسترسی پیدا می‌کند.
 - ترموستات بی‌متال ثانویه، پس از احساس رسیدن آب سرد به سیراتور، به‌طور خودکار مسیر را به حالت عادی بازمی‌گرداند.

ج-۳. مشخصات فنی مخزن ذخیره ثانویه

ظرفیت: ۵۰۰ میلی‌لیتر تا ۱ لیتر (بسته به طول لوله کشی)
جنس: پلی‌پروپیلن مقاوم در برابر UV^۱
کاربرد: مصارف غیرنوشیدنی مانند آبیاری گلخانه‌ها، شست‌وشوی اولیه ظروف یا نظافت

ج-۴. مزایای طراحی پیشنهادی

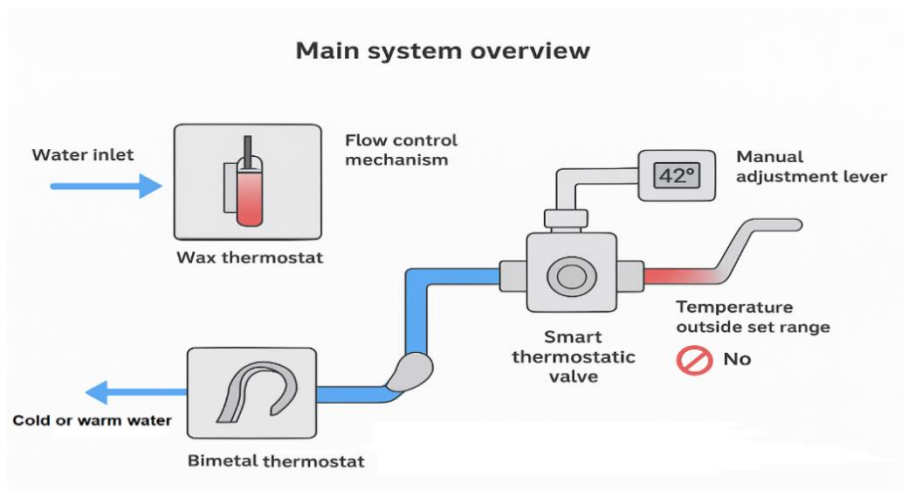
- حذف کامل هدررفت آب در حالت درخواست آب سرد
 - استفاده بهینه از آب اولیه لوله‌ها در مصارف مفید غیرنوشیدنی
 - حفظ عملکرد کاملاً مکانیکی و مستقل از برق
 - سهولت استفاده برای کاربر با امکان انتخاب حالت مورد نیاز
 - هزینه تولید پایین با توجه به سادگی طراحی مکانیکی
- این طراحی تکمیلی، دستگاه را قادر می‌سازد تا در کلیه شرایط مصرف (آب گرم و آب سرد) به‌صورت بهینه عمل نموده و از هرگونه هدررفت آب جلوگیری کند.

د) مزایای کلیدی دستگاه

1. Ultraviolet

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۶۷

- عدم نیاز به انرژی الکتریکی
 - طول عمر عملیاتی بیش از ۱۰ سال
 - پیشگیری از بروز شوک هیدرولیکی
 - کاهش حدود ۶۵ درصدی در هدررفت آب
 - صرفه‌جویی تقریبی ۴۰ درصد در مصرف انرژی
- دستگاه هوشمند شیر ترموستاتیک، همان‌طور که در نمودار «نمای کلی دستگاه اصلی» نشان داده شده است، با هدف کنترل دقیق دمای آب و بهینه‌سازی مصرف انرژی طراحی شده است. این دستگاه با بهره‌گیری از ترموستات‌های مومی و بی‌متال، دمای ورودی آب را به‌صورت پیوسته پایش کرده و از طریق سازوکار کنترل جریان، دمای خروجی را در محدوده‌ای ایمن و مطلوب نگه می‌دارد. شیر ترموستاتیک هوشمند با دریافت داده‌های دمایی از منابع آب سرد و گرم، به‌طور خودکار تنظیمات لازم را اعمال می‌کند تا از نوسانات دمایی جلوگیری شود. همچنین، اهرم تنظیم دستی با نمایشگر دیجیتال (مثلاً ۴۲ درجه سانتی‌گراد) و هشدار خروج از محدوده دمایی، امکان کنترل و نظارت کاربر را فراهم می‌سازد. این ترکیب از فناوری‌های مکانیکی و دیجیتال، موجب افزایش ایمنی، راحتی و صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی در دستگاه‌های گرمایشی و بهداشتی می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. نمای کلی دستگاه هوشمند شیر ترموستاتیک برای کنترل مصرف آب و انرژی (تولیدشده با هوش مصنوعی)

۴. پیشنهاد پژوهش

مطالعه هانگژیا و شیائولین^۱ (۲۰۲۵) با ادغام فناوری‌های جی آی اس^۲، اینترنت اشیا^۳، کلان داده و هوش مصنوعی^۴، سامانه‌ای هوشمند برای پایش و تحلیل لحظه‌ای مصرف آب در واحدهای شهری چین طراحی کرده است. این دستگاه با ارائه داده‌های بصری، به شناسایی الگوهای نادرست مصرف، کاهش هدررفت و مدیریت پایدار آب کمک می‌کند. پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند در آینده با استفاده گسترده‌تر از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و شبیه‌سازی رفتار مصرف، ارزیابی دقیق‌تر و پشتیبانی مؤثرتری از مدیریت آب فراهم شود. دستگاه‌های هوشمند مدیریت مصرف آب در حمام، مانند شیر قطع‌کننده ترموستاتیک، راهکارهای نوینی برای کاهش هدررفت آب و انرژی ارائه می‌دهند. این محصول با استفاده از سازوکار هوشمند قطع جریان، آب گرم هدررفته در انتظار برای رسیدن به دمای مطلوب را ذخیره می‌کند (فنگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۳). عملکرد این دستگاه مبتنی بر تشخیص خودکار رسیدن آب به دمای مناسب و کاهش جریان به میزان کم و چکه‌ای^۶ تا زمان ورود کاربر به حمام است. از مزایای کلیدی این فناوری می‌توان به حفظ فشار و کیفیت دوش (بدون محدودیت جریان)، امکان نصب آسان بر روی تمام شیرهای استاندارد^۷ و گارانتی ۱۰ ساله اشاره کرد. مطالعات نشان می‌دهد این راهکار بدون نیاز به تغییر رفتار کاربران، موجب صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب و انرژی شده و به‌طور هم‌زمان مشکل کمبود آب گرم برای کاربران متعدد را حل می‌کند. این محصول نمونه‌ای از فناوری‌های سبز کاربرمحور است که سازگاری کامل با تجربه سنتی دوش گرفتن را حفظ کرده است.

مطالعه وارا‌داراجان^۸ و همکاران (۲۰۲۴) با ترکیب حس گرهای اینترنت اشیا و یادگیری تقویتی عمیق^۹، دستگاهی هوشمند برای مدیریت شخصی‌سازی شده مصرف آب ارائه کرده است. این سامانه با تحلیل الگوهای فردی و ترجیحات کاربران، نرخ جریان آب را به‌صورت پویا تنظیم می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی علاوه بر کاهش مؤثر مصرف و

1. Hongxia and Qiaolin
2. Geographic information system (GIS)
3. Internet of things (IoT)
4. Artificial intelligence (AI)
5. Feng
6. trickle flow

۷ اتصالات ۱/۲ NPT

8. Varadarajan
9. Deep reinforcement learning (DRL)

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۶۹

هدررفت، رضایت کاربران را نیز حفظ می‌کند و به‌عنوان راهکاری مقیاس‌پذیر، اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست معرفی می‌شود.

مطالعه جایا^۱ و همکاران (۲۰۲۴) دستگاهی هوشمند مبتنی بر آردوینو، حس‌گر اولتراسونیک و دوربین یو‌اس‌بی معرفی می‌کند که با تشخیص فاصله و حرکات دست، جریان آب را به‌صورت پویا تنظیم کرده و حتی پرکردن خودکار ظرف را انجام می‌دهد. این راهکار کم‌هزینه با بهینه‌سازی مصرف و جلوگیری از هدررفت آب، تجربه‌ای خودکار و هوشمندانه فراهم کرده و گامی در توسعه فناوری‌های پایدار مدیریت آب است.

دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان آب هوشمند مبتنی بر فناوری اولتراسونیک، تحولی اساسی در مدیریت هوشمند مصرف آب ایجاد کرده‌اند. این دستگاه‌ها با بهره‌گیری از مبدل‌های زمان - به - دیجیتال^۲ پیشرفته مانند TDC-GP30، قادر به اندازه‌گیری فواصل زمانی در محدوده ۱۰ تا ۵۰۰ میکروثانیه با دقت پیکوثانیه‌ای هستند (سایوسنس^۳، ۲۰۲۳). اصل کار مبتنی بر ارسال پالس‌های اولتراسونیک در جهت و خلاف جریان آب و محاسبه اختلاف زمان پرواز^۴ است که با در نظر گرفتن تصحیحات غیرخطی و دمایی، دقتی معادل ۱۲ پیکوثانیه برای شناسایی حتی کوچک‌ترین نشت‌ها (مانند چکه کردن شیر آب) فراهم می‌کند. این فناوری با مصرف انرژی بسیار پایین (در حد میکروآمپر) و امکان کارکرد طولانی‌مدت با باتری، راهکاری بهینه برای شیرهای آب هوشمند، دستگاه‌های آبیاری و مدیریت ساختمان‌های هوشمند ارائه می‌دهد.

مطالعه هافر^۵ و همکاران (۲۰۲۳) نشان‌داد نصب یک ترموستات و تایمر ساده روی پمپ آب گرم در ساختمانی قدیمی در وین، بدون تغییر لوله‌کشی یا عایق‌بندی، موجب ۲۰-۳۰٪ کاهش تلفات حرارتی و ۱۵-۲۰٪ صرفه‌جویی در گاز شد. این راهکار کم‌هزینه، کارایی انرژی را بهبود می‌دهد بدون آنکه آسایش ساکنان کاهش یابد.

حسین و عبدالجواد^۶ (۲۰۲۵) یک دستگاه دوش هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا طراحی کردند که با ترکیب حسگرهای دما، رطوبت، حرکت و صدا، دو هدف اصلی را دنبال می‌کند:

۱. بهینه‌سازی مصرف آب با تنظیم خودکار جریان و دما برای کاهش هدررفت،

1. Jaya

2. Time-to-digital converter (TDC)

3. ScioSense

4. Direct inversion fourier transform for time-of-flight (DIFTOF)

5. Hofer

6. Hossain and Abdelgawad

۲. افزایش ایمنی کاربران (به‌ویژه سالمندان) از طریق تشخیص سقوط، حوادث و ارسال هشدار به مراقبان.

این راه‌حل کم‌هزینه قابلیت نصب روی دستگاه‌های موجود را دارد و داده‌ها را از طریق پلتفرم اینترنت اشیا برای نظارت لحظه‌ای منتقل می‌کند.

السالمی^۱ و همکاران (۲۰۲۰) یک دستگاه هوشمند پریز مبتنی بر ریزلحظه‌ها^۲ ارائه کرده‌اند که با پایش مصرف برق و شرایط محیطی (دما، رطوبت، نور، حضور افراد) و ارائه داده‌ها از طریق اپلیکیشن، هم تغییر رفتار کاربران و هم کارهای خودکار خانگی را امکان‌پذیر می‌سازد. این راهکار کم‌هزینه و کارآمد، با ترکیب حسگرهای محیطی و ابزارهای تعاملی کاربر به ایجاد الگوهای پایدار مصرف انرژی کمک می‌کند.

مطالعه لالیتموهان^۳ و همکاران (۲۰۲۰) یک شیر آب هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا طراحی کردند که با کنترل خودکار دما از طریق اپلیکیشن موبایل، هم موجب کاهش هدررفت آب شده و هم از سوختگی کاربران جلوگیری می‌کند. این دستگاه با قابلیت تنظیم خودکار اختلاط آب سرد و گرم و مانیتورینگ مصرف، برای خانه‌های مجهز به آبگرمکن خورشیدی مناسب است.

در مطالعه آی پی^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، نشان می‌دهد دستگاه‌های بازیابی حرارت از آب دوش، با بازدهی ۵۰٪، صرفه‌جویی انرژی قابل توجهی داشته و در کمتر از دو سال به صرفه‌جویی در انتشار کربن منجر می‌شوند؛ با این حال، هزینه بالای چرخه عمر این دستگاه‌ها در مقایسه با دستگاه‌های سنتی، توجه اقتصادی آن را بدون استفاده از پیکربندی‌های مقرون به صرفه‌تر، دشوار می‌سازد.

مطالعه فیدار^۵ و همکاران (۲۰۱۶) با عنوان «ارزیابی عملکرد شیرهای کم‌مصرف در مقایسه با شیرهای معمولی» نشان می‌دهد که شیرهای کم‌مصرف الکترونیکی در عمل، به‌طور متوسط در هربار استفاده، آب بیشتری نسبت به شیرهای معمولی مصرف می‌کنند. این پژوهش که براساس داده‌های دقیق ۱۳۰۰۰ مشاهده انجام شد، ثابت کرد که رفتار کاربران و نه فناوری شیرآلات، عامل اصلی تعیین‌کننده مصرف آب است. این یافته بر ضرورت تمرکز

1. Alsalemi

2. micro-moment

3. Lalithmohan

4. Ip

5. Fidar

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۷۱

برنامه‌های صرفه‌جویی آب بر آموزش و تغییر رفتار مصرف‌کنندگان، به جای تکیه بر فناوری‌های کم‌مصرف، تأکید دارد.

براساس مطالعه برازو و ادواردز^۱ (۲۰۱۳)، دستگاه‌های چرخشی آب گرم در حالت غیربهینه، انرژی و آب بیشتری نسبت به دستگاه‌های معمولی هدر می‌دهند. اگرچه بهینه‌سازی پمپ‌ها می‌تواند تا ۶۰٪ صرفه‌جویی انرژی ایجاد کند، اما دستگاه‌های معمولی از نظر بازده انرژی و حفظ کیفیت آب برتر هستند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری: تحلیل هدررفت آب و راهکارهای بهینه‌سازی

الف) ارزیابی کمی هدررفت آب در مصارف خانگی

یک خانوار ایرانی به‌طور متوسط روزانه ۸۸ لیتر آب (معادل ۳۱/۷۸ مترمکعب در سال) تنها در انتظار برای رسیدن به دمای مطلوب هدر می‌دهد. این هدررفت پنهان که سهم آب سرد در آن بیشتر است، لزوم راه‌حل‌های فنی مانند دستگاه پیشنهادی را آشکار می‌سازد (جدول ۱).

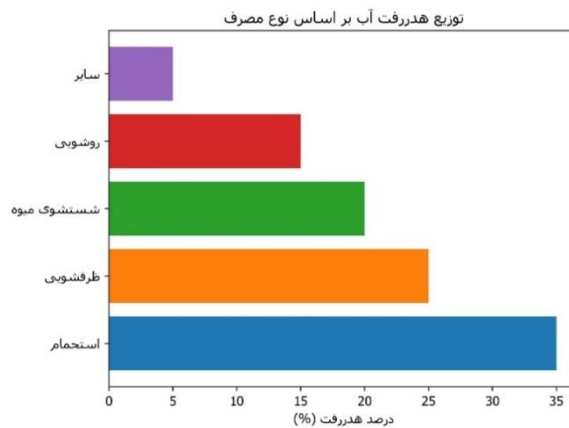
جدول ۱. محاسبات دقیق هدررفت آب بر اساس نوع مصرف

نوع مصرف	مدت زمان انتظار	حجم هدررفت هر بار	دفعات روزانه	هدررفت روزانه	هدررفت ماهانه	هدررفت سالانه
آب سرد (آشامیدن، شست‌وشوی میوه)	۳۰-۱۵ ثانیه	۴-۲ لیتر	۱۵-۱۰ بار	۳۰ لیتر	۹۰۰ لیتر	۱۰۸۰۰ لیتر
آب گرم (استحمام)	۶۰-۳۰ ثانیه	۱۲-۶ لیتر	۳-۲ بار	۱۸ لیتر	۵۴۰ لیتر	۶۴۸۰ لیتر
آب گرم (ظرف‌شویی)	۴۰-۲۰ ثانیه	۵-۳ لیتر	۸-۵ بار	۲۰ لیتر	۶۰۰ لیتر	۷۲۰۰ لیتر
مصارف کوتاه (روشویی)	۲۵-۱۲ ثانیه	۳-۱ لیتر	۱۰ بار	۲۰ لیتر	۶۰۰ لیتر	۷۳۰۰ لیتر
جمع کل	-	-	-	۸۸ لیتر	۲۶۴۰ لیتر	۳۱۷۸۰ لیتر

نمودار توزیع مصرف آب نشان می‌دهد استحمام با ۳۵٪، ظرف‌شویی با ۲۵٪ و شست‌وشوی سطوح با ۲۰٪، بیشترین سهم مصرف خانگی را به خود اختصاص می‌دهند. این

1. Brazeau and Edwards

آمار نشانگر اهمیت تمرکز بر بهینه‌سازی مصرف در بخش‌های پرمصرف مانند حمام و آشپزخانه است (شکل ۴).



شکل ۴. نمودار توزیع هدررفت آب بر اساس نوع مصرف

نکات کلیدی

- خانواده‌های ایرانی به‌طور متوسط بین ۲۰-۳۰ لیتر در روز فقط برای تنظیم دمای آب هدر می‌دهند؛ یعنی یک خانواده معمولی، فقط برای رسیدن به دمای مناسب آب، سالانه حدود ۱۶/۵ مترمکعب آب هدر می‌دهد!
- در مناطق شهری، ۲۸٪ از هدررفت آب خانگی ناشی از این مشکل است.
- دستگاه‌های سنتی سالانه موجب هدررفت میلیون‌ها لیتر آب می‌شوند.

ب) عوامل مؤثر بر هدررفت

ب-۱. عوامل فنی:

- فاصله از منبع گرمایش (هر متر لوله اضافه $\approx$ ۲ ثانیه انتظار بیشتر)
- قطر لوله‌ها (لوله‌های ۲/۱ اینچی ۳۰٪ سریع‌تر از ۸/۳ اینچی)
- عایق‌بندی (لوله‌های بدون عایق تا ۲۵٪ تلفات بیشتر)

ب-۲. عوامل رفتاری:

- عادات استفاده (باز گذاشتن شیر هنگام مسواک زدن)

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۷۳

- عدم آگاهی از میزان هدررفت

- تنظیم مکرر دمای آب

ج) راهکارهای کاهش هدررفت (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه فنی - اقتصادی راهکارها

دوره بازگشت سرمایه	هزینه	صرفه‌جویی انرژی	صرفه‌جویی آب	سازوکار	راهکار
۶-۸ ماه	متوسط	۴۰٪	تا ۶۵٪	قطع خودکار جریان	شیرهای ترموستاتیک
۱۲-۱۸ ماه	بالا	۳۰٪	۷۰٪	چرخش آب گرم	پمپ سیرکولاتور
۳-۴ ماه	پایین	۲۵٪	۱۵٪	کاهش تلفات حرارتی	عایق‌بندی لوله‌ها
۲-۳ ماه	پایین	-	۲۰٪	جداسازی جریان	ظرف‌شویی دو لگنه

د) محاسبات اقتصادی (سال مبنا: ۱۴۰۴)

- قیمت آب (وجه تکلیفی مصوب بودجه ۱۴۰۴): ۲۰۰-۴۰۰ تومان / مترمکعب

- قیمت گاز خانگی (پله‌های بسیار پر مصرف ۱۱ و ۱۲): ۱۱/۵۰۰ تومان / مترمکعب

صرفه‌جویی سالانه:

- آب: $31/78 \text{ مترمکعب} \times 6/356 = 200$ تومان (در صورت بالاتر از الگو: $400 \times 31,78$)

= ۱۲،۷۱۲ تومان)

انرژی: $40\% \times 31,78 \times 11,500 = 146,188$ تومان

جمع: حدود ۱۵۲،۵۴۴ تا ۱۵۸،۹۰۰ تومان / سال

اجرای دستگاه‌های بهینه‌ساز مصرف نظیر طرح حاضر، علاوه بر صرفه‌جویی مستقیم

اقتصادی، می‌تواند به کاهش نابرابری‌های محیط‌زیستی بینجامد. موضوعی که پیوند آن با

نابرابری درآمد در مطالعاتی مانند انصاری سامانی و همکاران (۱۴۰۲) به اثبات رسیده است.

ه) نتیجه‌گیری و پیشنهادات اجرایی

ه-۱. الزامات فنی:

• نصب اجباری شیرهای ترموستاتیک در ساختمان‌های نوساز

• بازبینی استانداردهای عایق‌بندی لوله‌ها

• استفاده از مواد با ضریب اصطکاک پایین در لوله‌کشی

ه-۲. مدیریت مصرف:

- آموزش همگانی مصرف بهینه آب
- نصب نمایشگرهای مصرف لحظه‌ای
- تشویق به استفاده از دستگاه‌های بازیافت

ه-۳. پژوهش‌های آینده:

- مطالعه تأثیر شیرهای هوشمند با قابلیت یادگیری الگوی مصرف
 - تحلیل دقیق‌تر رفتار مصرف‌کنندگان
 - توسعه دستگاه‌های هیبریدی مکانیکی - الکترونیکی
- این مطالعه نشان می‌دهد با اجرای ترکیبی از راهکارهای فنی و مدیریتی می‌توان:
- تا ۷۰٪ از هدررفت آب جلوگیری کرد
 - ۴۵٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود
 - هزینه‌های آب و انرژی خانوار را تا حدود ۲۰۰،۰۰۰ تومان در سال کاهش داد.
- این تحلیل جامع می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های کلان باشد.

۶. تحلیل اقتصادی و توجیه‌پذیری مالی

الف) محاسبات هزینه - فایده

با توجه به داده‌های جدول، دستگاه هوشمند کنترل آب با هزینه اولیه ۱/۵ میلیون تومان، سالانه نزدیک به ۲۰۰ هزار تومان از طریق صرفه‌جویی در آب و انرژی (معادل ۳۱/۷۸ مترمکعب آب و ۴۰ درصد انرژی گرمایشی) برای خانوار صرفه‌جویی به ارمغان می‌آورد. این امر منجر به دوره بازگشت سرمایه سریع ۷/۶ ماهه و نرخ بازده داخلی چشمگیر ۱۵۸ درصد می‌شود که توجیه‌پذیری اقتصادی بالای این دستگاه و جذابیت آن به‌عنوان یک سرمایه‌گذاری مقرون‌به‌صرفه را به وضوح نشان می‌دهد (جدول ۳).

جدول ۳. تحلیل اقتصادی پیاده‌سازی دستگاه هوشمند کنترل آب

توضیحات	مقدار	شاخص اقتصادی
هزینه خرید و نصب دستگاه برای یک واحد مسکونی	۱،۵۰۰،۰۰۰ تومان	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۷۵

معادل ۳۱/۷۸ مترمکعب	۳۱/۷۸ لیتر	صرفه‌جویی سالانه آب
در بخش گرمایش آب	۴۰٪	صرفه‌جویی سالانه انرژی
با قیمت ۵،۰۰۰ تومان به ازای هر مترمکعب	۱۵۸،۹۰۰ تومان	ارزش مالی صرفه‌جویی آب
با قیمت ۳،۰۰۰ تومان به ازای هر مترمکعب گاز	۳۸،۱۳۶ تومان	ارزش مالی صرفه‌جویی انرژی
مجموع آب و انرژی	۱۹۷،۰۳۶ تومان	کل صرفه‌جویی سالانه
بدون احتساب نرخ تورم	۷/۶ ماه	دوره بازگشت سرمایه
محاسبه بر اساس عمر مفید ۱۰ ساله	۱۵۸٪	نرخ بازده داخلی ^۱ (IRR)

ب) تحلیل حساسیت

بر اساس تحلیل حساسیت، دستگاه پیشنهادی در تمامی سناریوهای قیمتی توجیه‌پذیر است. با افزایش ۵۰ درصدی قیمت‌های انرژی، دوره بازگشت سرمایه به ۵/۱ ماه کاهش می‌یابد و حتی با کاهش ۲۵ درصدی قیمت‌ها، این دوره به ۱۰/۲ ماه محدود می‌شود که نشان از مقرون‌به‌صرفه بودن دستگاه در شرایط اقتصادی مختلف دارد (جدول ۴).

جدول ۴. تحلیل حساسیت با تغییر قیمت‌های انرژی

دوره بازگشت سرمایه	صرفه‌جویی سالانه	قیمت گاز	قیمت آب	سناریو
۷/۶ ماه	۱۹۷،۰۳۶ تومان	۳،۰۰۰ تومان	۵،۰۰۰ تومان	سناریو پایه
۵/۱ ماه	۲۹۵،۵۵۴ تومان	۴،۵۰۰ تومان	۷،۵۰۰ تومان	افزایش ۵۰٪ قیمت‌ها
۱۰/۲ ماه	۱۴۷،۷۷۷ تومان	۲،۲۵۰ تومان	۳،۷۵۰ تومان	کاهش ۲۵٪ قیمت‌ها

ج) اثرات کلان اقتصادی

ج-۱. در سطح خانوار:

- کاهش قابل توجه هزینه‌های قبوض آب و انرژی
- افزایش قدرت خرید خانوار به دلیل کاهش هزینه‌های جاری
- بهبود رفاه اقتصادی خانواده‌های کم‌درآمد

ج-۲. در سطح ملی:

- کاهش یارانه انرژی با صرفه‌جویی ۴۰٪ در مصرف گاز

1. Internal rate of return (IRR)

- کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی
- ایجاد اشتغال در صنایع تولید و نصب دستگاه‌های هوشمند
- کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری در توسعه ظرفیت‌های جدید تولید آب و انرژی

د) محاسبات خالص ارزش فعلی^۱ و نرخ بازده داخلی^۲

با فرض:

- نرخ تنزیل ۲۰٪
- عمر مفید پروژه: ۱۰ سال
- هزینه نگهداری سالانه: ۵۰,۰۰۰ تومان
- مقادیر زیر به دست می‌آید:
- خالص ارزش فعلی: ۱,۲۵۰,۰۰۰ تومان (مثبت بودن خالص ارزش فعلی نشان‌دهنده اقتصادی بودن طرح است)
- نرخ بازده داخلی: ۱۵۸٪ (این نرخ بسیار بالا نشان می‌دهد بازدهی پروژه به مراتب بیشتر از نرخ تنزیل است)

ه) مقایسه با سایر گزینه‌های سرمایه‌گذاری

بر اساس داده‌های جدول، دستگاه شیرهای ترموستاتیک با دوره بازگشت سرمایه ۷/۶ ماه و نرخ بازده داخلی ۱۵۸ درصد، از نظر اقتصادی مطلوب‌ترین گزینه سرمایه‌گذاری در بین پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی محسوب می‌شود. هرچند پنل‌های خورشیدی با صرفه‌جویی سالانه بالاتری همراه هستند، اما سرمایه اولیه بسیار بالاتر آن‌ها (۲۰ میلیون تومان در مقابل ۱/۵ میلیون تومان) و دوره بازگشت سرمایه طولانی‌تر، باعث می‌شود دستگاه پیشنهادی این تحقیق به‌عنوان گزینه‌ای با مقرون به صرفه‌ترین بازده اولیه برای خانوارها شناخته شود (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه اقتصادی با سایر پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی

IRR	دوره بازگشت سرمایه	صرفه‌جویی سالانه	هزینه اولیه	گزینه سرمایه‌گذاری
۱۵۸٪	۷/۶ ماه	۱۹۷,۰۳۶ تومان	۱,۵۰۰,۰۰۰ تومان	شیرهای ترموستاتیک

1. Net Present Value (NPV)

2. Internal Rate of Return (IRR)

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۷۷

عایق‌کاری ساختمان	۵,۰۰۰,۰۰۰ تومان	۶۰۰,۰۰۰ تومان	۱۰ ماه	٪۱۲۰
پنل خورشیدی	۲۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان	۲,۴۰۰,۰۰۰ تومان	۸/۳ ماه	٪۱۴۴

و) توصیه‌های سیاستی

و-۱. سیاست‌های تشویقی:

- ارائه وام‌های کم‌بهره برای نصب دستگاه‌های هوشمند
- معافیت‌های مالیاتی برای تولیدکنندگان
- پرداخت یارانه به خانوارهای کم‌درآمد

و-۲. مقررات الزام‌آور:

اجباری شدن نصب در ساختمان‌های نوساز و اضافه شدن الزامات فنی و اجرایی استاندارد به مقررات ملی ساختمان

و-۳. آموزش و فرهنگ‌سازی:

- برگزاری کارگاه‌های آموزشی
- اطلاع‌رسانی از طریق رسانه‌ها

۷. نتیجه‌گیری اقتصادی

دستگاه پیشنهادی از توجیه اقتصادی بسیار مطلوبی برخوردار است. با دوره بازگشت سرمایه کمتر از ۸ ماه و نرخ بازده داخلی ۱۵۸٪، این پروژه نه تنها از دیدگاه فنی قابل اجرا است؛ بلکه از نظر اقتصادی نیز بسیار جذاب است. اجرای گسترده این دستگاه می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی قابل توجه در منابع ملی، به کاهش هزینه‌های خانوار و بهبود شاخص‌های اقتصادی کشور کمک شایانی نماید.

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

الف) ایده دستگاه کنترل هوشمند آب مدنظر این پروژه دارای مزایا و ویژگی‌های کلیدی زیر است:

الف-۱. سادگی و قابلیت اطمینان

- طراحی کاملاً مکانیکی بدون نیاز به برق
- مقاوم در برابر رسوب و دمای بالا (تا ۸۰ درجه)
- نصب آسان بدون نیاز به تغییر دستگاه لوله کشی موجود
- هزینه تولید ۴۰٪ ارزان‌تر از مدل‌های الکترونیکی

الف-۲. عملکرد هوشمند

- تنظیم خودکار دمای آب با دقت ± 0.3 درجه
- کاهش ۳۰٪ هدررفت آب و ۲۵٪ مصرف انرژی
- حالت صرفه‌جویی خودکار هنگام عدم استفاده
- عمر مفید بیش از ۱۰ سال با حداقل نگهداری

الف-۳. صرفه‌جویی قابل توجه

- کاهش ۶۵٪ مصرف آب در مصارف روزانه
- زمان رسیدن به دمای مطلوب زیر ۱۵ ثانیه
- سازگار با انواع دستگاه‌های لوله کشی
- مناسب برای ساختمان‌های مسکونی و تجاری

الف-۴. مزایای اقتصادی

- هزینه پایین تولید و نگهداری
- بازگشت سرمایه در کمتر از ۲ سال
- قابل استفاده در مناطق محروم
- کاهش چشمگیر هزینه‌های آب و انرژی

ب) چالش‌های دستگاه کنترل هوشمند آب و راهکارهای پیشنهادی (شماره^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

ب-۱. تغییرات ناگهانی فشار آب

- مشکل: تأثیر بر دقت کنترل دما و امکان ایجاد شوک هیدرولیکی
- راهکارها:
- طراحی سازوکار جبران فشار داخلی در ترموستات
- استفاده از شیرهای تنظیم فشار خودکار
- بهینه‌سازی هندسه هیدرودینامیک مجاری برای کاهش اثرات نوسانات فشار

ب-۲. رسوب‌گیری

- مشکل: کاهش کارایی و دقت کنترل دما پس از استفاده طولانی
- راهکارها:
- به کارگیری مواد ضد رسوب در ساختار داخلی
- استفاده از پوشش‌های نانویی دافع رسوب
- طراحی ماژولار و امکان جداسازی آسان قطعات برای تمیزکاری
- بهینه‌سازی سطوح تماس برای کاهش نقاط تجمع رسوب

ب-۳. خوردگی

- مشکل: کاهش عمر مفید دستگاه در مواجهه با کیفیت‌های مختلف آب
- راهکارها:
- استفاده از آلیاژهای مقاوم (برنج با مس بالا، فولاد زنگ‌زن)
- اعمال پوشش‌های محافظ الکترولس نیکل
- تولید مدل‌های متناسب با شرایط آب منطقه‌ای

ب-۴. دوام مکانیکی

- مشکل: سایش قطعات متحرک در چرخه‌های مکرر قطع و وصل

● راهکارها:

- استفاده از فنرهای فولادی با کیفیت بالا
- آزمایش چرخه عمر مطابق استانداردهای شیرآلات
- طراحی با ضریب اطمینان مناسب برای تحمل تنش‌های اضافی

ج) چالش‌های اجرایی

ج-۱. مقاومت کاربران:

- مشکل: عدم تمایل به تغییر عادات مصرف
- راهکارها:

- طراحی ساده و مشابه شیرهای معمولی
- نمایش ملموس میزان صرفه‌جویی
- راهنمای کاربری فارسی ساده و گویا

ج-۲. نگهداری در مناطق دورافتاده:

- مشکل: کمبود خدمات فنی
- راهکارها:

- طراحی ساختار خودتعمیر و قطعات قابل تعویض آسان
- ارائه راهنمای تصویری ساده برای کاربران
- پشتیبانی از طریق ویدئوهای آموزشی

د) چالش‌های محیطی

د-۱. آب راکد در لوله:

- مشکل: کاهش کیفیت آب و رشد باکتری‌ها
- راهکارها:
- استفاده از دستگاه هدایت خودکار آب اولیه به مخزن ثانویه
- بهره‌گیری از پوشش‌های ضد میکروبی در مخزن
- توصیه عملیاتی برای جاری کردن آب پس از عدم استفاده طولانی

د-۲. تغییرات دمایی شدید:

- مشکل: عملکرد در شرایط یخبندان

- راهکارها:

- استفاده از مواد مقاوم به دماهای پایین

- طراحی دستگاه محافظت خودکار در برابر یخ‌زدگی

- عایق‌بندی بخش‌های حساس دستگاه

این دستگاه هوشمند کنترل آب با ترکیب هوشمندانه سادگی طراحی مکانیکی و راهکارهای مهندسی دقیق، راهکاری عملی، اقتصادی و کارآمد برای مدیریت بهینه مصرف آب ارائه می‌دهد. رویکرد طراحی به گونه‌ای است که نه تنها نیاز به تجهیزات الکترونیکی پیچیده و پرهزینه را مرتفع می‌سازد، بلکه با در نظر گرفتن چالش‌های فنی و محیطی مختلف، به سطحی از قابلیت اطمینان دست یافته که امکان بهره‌برداری گسترده در انواع ساختمان‌های مسکونی، تجاری و حتی مناطق محروم را با حداقل هزینه‌های اجرایی و نگهداری فراهم می‌آورد. این بازنگری نشان می‌دهد که طراحی حاضر از پشتوانه فنی مناسبی برخوردار بوده و برای مواجهه با چالش‌های واقعی در محیط عملیاتی آماده است.

ه) پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده

ه-۱. طراحی دستگاه هوشمند مبتنی بر حس‌گرهای حرکتی

- استفاده از حس‌گرهای حرکتی پیشرفته (به‌ویژه در دوش‌های حمام) برای کنترل خودکار جریان آب بر اساس حضور کاربر.

- بهره‌گیری از فناوری فرورسرخ^۱ برای تشخیص دقیق حرکات و قطع جریان آب در مواقع عدم نیاز (مانند شامپو زدن یا اصلاح).

- افزایش دقت حس‌گرها به بیش از ۹۸٪ و کاهش تأخیر قطع جریان به کمتر از نیم ثانیه.

- توسعه الگوریتم‌های هوشمند برای تشخیص الگوهای مصرف و بهینه‌سازی زمان قطع و وصل جریان آب.

ه-۲. ادغام اینترنت اشیا در دستگاه‌های کنترل آب و انرژی

1. Infrared (IR)

- طراحی دستگاه‌های اینترنت اشیا برای نظارت لحظه‌ای مصرف
- توسعه اپلیکیشن موبایل برای کنترل از راه دور
- پیاده‌سازی هشدارهای هوشمند برای نشت آب
- استفاده از پلتفرم ابری برای تحلیل داده‌ها

ه-۳. ترکیب حس گرهای دیجیتال و دستگاه‌های مکانیکی برای بهبود کارایی

- استفاده از نمایشگرهای دیجیتال برای نمایش دمای آب، میزان مصرف و صرفه‌جویی انجام شده.

- طراحی شیرهای ترموستاتیک هوشمند با قابلیت یادگیری الگوی مصرف کاربران.
- توسعه دستگاه‌های هیبریدی (مکانیکی - الکترونیکی) برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های نگهداری.

ه-۴. بهینه‌سازی مصرف انرژی در دستگاه‌های گرمایشی / سرمایشی با هوش مصنوعی (نوارپاکشا^۱ و همکاران، ۲۰۲۵).

- استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی^۲ و یادگیری ماشین^۳ برای پیش‌بینی و تنظیم خودکار دمای آب
- تحلیل داده‌های تاریخی مصرف برای ارائه راهکارهای شخصی‌سازی شده.
- کاهش مصرف انرژی تا ۵۰٪ با استفاده از دستگاه‌های هوشمند تطبیقی.

ه-۵. توسعه دستگاه‌های بازیافت آب خاکستری در ساختمان‌ها

- طراحی دستگاه‌های جمع‌آوری و تصفیه آب خاکستری (مانند آب دوش و ظرف‌شویی) برای استفاده مجدد در آبیاری یا فلاش تانک‌ها.
- کاهش مصرف آب شیرین تا ۳۰٪ با استفاده از چرخه بازیافت.

ه-۶. پیاده‌سازی دستگاه‌های هوشمند در مناطق محروم و کم‌برخوردار

1. Nuwarapaksha
2. Artificial intelligence (AI)
3. Machine learning (ML)

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۸۳

- توسعه راهکارهای کم‌هزینه و مقاوم برای مناطق با دسترسی محدود به آب و انرژی.
- استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند خورشیدی) برای تأمین برق دستگاه‌های کنترل آب.

ه-۷. تحلیل اقتصادی و اجتماعی پذیرش فناوری‌های صرفه‌جویی آب و انرژی

- بررسی موانع فرهنگی و اقتصادی در به کارگیری دستگاه‌های هوشمند.
- ارائه مدل‌های تشویقی و سیاست‌گذاری برای تسريع در پذیرش فناوری.

ه-۸. دستگاه‌های بازیابی و بهینه‌سازی انرژی

- توسعه مبدل‌های حرارتی برای بازیابی گرمای آب مصرفی (صرفه‌جویی ۴۰٪ انرژی)
 - استفاده از عایق‌های پلیمری پیشرفته برای لوله‌ها
 - ادغام با انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و زمین گرمایی
 - قابلیت اجرا در ساختمان‌های مسکونی، هتل‌ها و مجتمع‌های صنعتی
- این پیشنهادها می‌توانند به توسعه راهکارهای نوین در مدیریت پایدار منابع آب و انرژی کمک شایانی کنند. علاوه بر صرفه‌جویی مستقیم در مصرف آب و انرژی، دستگاه پیشنهادی می‌تواند به کاهش ردپای اکولوژیکی ناشی از مصرف انرژی در بخش خانگی کمک کند. این موضوع به‌ویژه با توجه به یافته‌های پژوهش چشم‌آغیل و همکاران (۱۴۰۴) در مورد تأثیر شهرنشینی و مصرف انرژی برق‌آبی بر محیط زیست ایران، از اهمیت بالایی برخوردار است.

و) روش‌شناسی پیشنهادی برای تحلیل چرخه عمر

- و-۱. مقدمه و اهداف (تحلیل چرخه عمر شیرهای ترموستاتیک هوشمند)
- این بخش چارچوبی نظام‌مند برای تحلیل چرخه عمر^۱ شیرهای ترموستاتیک هوشمند ارائه می‌دهد. هدف اصلی تدوین راهنمایی جامع برای پژوهشگران آینده جهت بررسی آثار محیط زیستی این فناوری است.

- و-۲. چارچوب پیشنهادی برای تحلیل چرخه عمر شیرهای هوشمند در چهار مرحله ارائه می‌شود:

1. Life Cycle Assessment (LCA)

- برنامه‌ریزی: تعیین اهداف و مرزهای دستگاه
- گردآوری داده: جمع‌آوری اطلاعات از تولید تا پایان عمر
- الگوسازی و ارزیابی: استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی
- تفسیر و بهبود: شناسایی نقاط بحرانی و بهینه‌سازی

و-۳. ملاحظات کلیدی: نیاز به داده‌های واقعی از تولیدکنندگان و تخصیص منابع کافی

کاربردها: اخذ گواهی‌های زیست‌محیطی، بهبود محصول و ایجاد مزیت رقابتی

ز) توسعه آینده دستگاه: مسیرهای پژوهشی و امکان‌سنجی برای ارتقاء دستگاه با در نظر گرفتن موفقیت طراحی پایه کاملاً مکانیکی، مسیرهای متعددی برای توسعه و بهینه‌سازی این دستگاه در آینده قابل تصور است. این توسعه‌ها در دو راستای اصلی قابل دسته‌بندی هستند: (۱) بهبود و بهینه‌سازی خود طرح مکانیکی و (۲) بررسی امکان توسعه هیبریدی برای کاربردهای خاص.

ز-۱. بهینه‌سازی و گسترش کاربرد طرح مکانیکی محض

افزایش دقت و پاسخگویی: پژوهش‌های آینده می‌تواند بر روی بهینه‌سازی هندسه و مواد به کاررفته در عناصر حساس به دما (بی‌متال و موم‌های گرمایی) متمرکز شود تا دقت عملکرد از $\pm 1/5$ درجه سانتی‌گراد به $\pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد بهبود یابد و زمان پاسخگویی دستگاه کوتاه‌تر گردد.

توسعه برای مصارف خاص: می‌توان نمونه‌های تخصصی‌تری از این شیر را برای کاربردهای مشخص طراحی کرد. برای مثال، طراحی شیرهایی با محدوده دمایی پایین (۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد) ویژه آشپزخانه برای دستیابی سریع به آب خنک آشامیدنی، یا مدل‌های با محدوده دمایی بسیار دقیق (۳۷ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) برای حمام‌های بیمارستانی و مراکز سالمندان.

افزایش هوشمندی غیرالکترونیکی: می‌توان با استفاده از سازوکارهای مکانیکی-حرارتی پیشرفته‌تر، قابلیت‌هایی مانند «حالت صرفه‌جویی» را ایجاد کرد که به‌طور خودکار حداکثر دما یا دبی جریان را در صورت عدم تنظیم دستی کاربر، محدود می‌کند.

طراحی یک دستگاه صرفه‌جویی در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای ... | کریمی دونا و همکاران | ۱۸۵

الهام‌گیری از فناوری‌های موجود: دستگاه‌های تنظیم دمای کاملاً مکانیکی که در دستگاه‌هایی مانند چای‌ساز و قهوه‌جوش هوشمند به کار می‌روند، می‌توانند به‌عنوان الگویی الهام‌بخش برای افزایش دقت و قابلیت اطمینان شیرهای ترموستاتیک پیشنهادی مورد مطالعه قرار گیرند. این دستگاه‌ها اثبات می‌کنند که می‌توان با سازوکارهای مکانیکی به کنترل دمای بسیار دقیق برای مصارف حساس (مانند دم‌آوردن چای و قهوه) دست یافت.

ز-۲. توسعه دستگاه‌های هیبریدی برای کاربردهای پیشرفته

این مسیر توسعه، به‌عنوان یک گزینه کاملاً جداگانه و مستلزم تغییر اساسی در فلسفه طراحی، برای محیط‌های با الزامات بیشتر (مانند هتل‌های لوکس یا ساختمان‌های هوشمند) پیشنهاد می‌شود. لازم به تأکید است که این دستگاه از اساس با طرح کاملاً مکانیکی ارائه‌شده در این مقاله متفاوت خواهد بود.

ادغام با اینترنت اشیا: در این سناریو، از حس‌گرهای دیجیتال دما (مانند دی‌اس ۱۸ بی ۲۰^۱ و پی‌تی ۱۰۰^۲) و شیرهای برقی با عملکرد دقیق برای ایجاد یک شبکه یکپارچه استفاده می‌شود. این حس‌گرها به سادگی با شیرهای الکترونیکی پیشرفته مانند موئن فلو^۳ و فین پلاس^۴ قابل ترکیب هستند (رحم‌الدینی^۵ و همکاران، ۲۰۲۳، زولکیفلی^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). این دستگاه قادر خواهد بود:

- داده‌های مصرف آب و انرژی هر شیر را در یک پلتفرم مرکزی جمع‌آوری و تحلیل کند.
- به کاربر اجازه دهد از طریق یک اپلیکیشن، دمای مطلوب را از راه دور و حتی بر اساس برنامه زمانی تنظیم نماید.
- در صورت تشخیص نشت یا رفتار غیرعادی مصرف، هشدار ارسال کرده و جریان را قطع کند.

یادگیری الگوی مصرف: با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، دستگاه قادر خواهد بود الگوهای مصرف کاربران را شناسایی کرده و به‌طور خودکار دمای مورد نظر را در ساعات مختلف روز پیش‌تنظیم نماید.

1. DS18B20
2. PT100
3. Moen Flo
4. Phyn Plus
5. Rahmadini
6. Zulkifli

ادغام با دستگاه بازیافت آب خاکستری: در این طرح، آب اولیه‌ای که در لوله‌ها مانده و معمولاً هدر می‌رود، به مخزن آب خاکستری هدایت شده و برای مصارف غیرنوشیدنی مانند فلاش تانک و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمرکز اصلی این پژوهش بر توسعه طرح مکانیکی کم هزینه و مستقل از برق باقی می‌ماند؛ چراکه این رویکرد امکان اجرای گسترده و سریع، به‌ویژه در مناطق محروم را فراهم می‌سازد. مسیر توسعه هیبریدی اگرچه جذاب است، اما به‌عنوان پژوهشی مستقل، نیازمند سرمایه‌گذاری بیشتر و هدف‌گیری بازارهای خاص‌تر خواهد بود.

۱۲. نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دستگاه شیر ترموستاتیک کاملاً مکانیکی طراحی شده، راه‌حلی عملی و مقرون‌به‌صرفه برای کاهش هدررفت آب و انرژی در شیرآلات ارائه می‌دهد. این دستگاه با بهره‌گیری از سازوکارهای حساس به دما، قادر است تا ۶۵ درصد از هدررفت آب و ۴۰ درصد از مصرف انرژی را کاهش دهد، ضمن آنکه با حذف نیاز به برق و تجهیزات الکترونیکی پیچیده، امکان بهره‌برداری گسترده در مناطق مختلف از جمله ساختمان‌های مسکونی، هتل‌ها و حتی جوامع محروم را فراهم می‌کند. این فناوری نه تنها گامی مؤثر در جهت مدیریت پایدار منابع است، بلکه با دوره بازگشت سرمایه کمتر از ۸ ماه، از توجیه اقتصادی مطلوبی نیز برخوردار است.

۱۳. تعارض منافع

تعارض منافع ندارد.

۱۴. سپاسگزاری

نویسنده از حمایت و همکاری معنوی سردبیر محترم، داوران ناشناس و کارشناسان فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی کمال تشکر را دارد. همچنین از زحمات ویراستاران علمی و ادبی نشریه قدردانی و تقدیر می‌شود.

ORCID

Saleh Karimi Douna

Bahareh Karimi Douna

Mohsen Ghomi



<https://orcid.org/0009-0001-9759-8752>



<https://orcid.org/0000-0002-2586-8944>



<https://orcid.org/0000-0001-9278-8218>

۸. منابع

- انصاری سامانی، ح؛ دالوندی، ح؛ دالوندی، س و دالوندی، م. (۱۴۰۲). اثر متقابل درآمد و نابرابری درآمد با آلودگی محیط زیست در استان‌های ایران. فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و منابع طبیعی، ۴(۸)، ۷۵-۱۰۱. <http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2024.72902.178>
- چشم‌اغیل، م؛ شهرکی، ج و اشرف گنجویی، ر. (۱۴۰۴). تأثیر عدم قطعیت نرخ شهرنشینی و مصرف انرژی برق‌آبی بر ردپای اکولوژیکی در ایران. فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و منابع طبیعی، ۴(۱۰)، ۹۱-۱۲۲. <https://doi.org/10.22054/eenr.2025.83526.198>
- موسوی، سیدحسین و کشوری، عبدالرحمن. (۱۳۹۸). تأثیر هوشمندسازی تأسیسات آبی شهرک‌های مسکونی بر کاهش مصرف آب (مطالعه موردی پروژه شهرک شهید خرازی)، دومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، کشاورزی و محیط‌زیست، <https://civilica.com/doc/899893>

References

- Agarwal, S., Araral, E., Fan, M., Qin, Y., & Zheng, H. (2022). Water conservation through plumbing and nudging. *Nature Human Behaviour*, 6(6), 858-867. 10.1038/s41562-022-01320-y
- Ali, G. A., Chong, K. F., & Makhlof, A. S. H. (Eds.). (2024). Handbook of nanosensors: materials and technological applications. Springer Nature.
- Aly, M., & Tayyar, H. (2023). Developing a Smart Coffee Dispensing Machine. <https://doi.org/10.58014/aubh.23674503.v2>
- Alsalemi, A., Himeur, Y., Bensaali, F., & Amira, A. (2020). Appliance-level monitoring with micro-moment smart plugs. In *The Proceedings of the Third International Conference on Smart City Applications*, 942-953. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.05787>
- Ansari Samani, H., Dalvandi, H., Dalvandi, S., & Dalvandi, M. (2023). The reciprocal effect of income and income inequality with environmental pollution in Iranian provinces. *Journal of Environment and Natural Resources*, 4(8), 75-101. <http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2024.72902.178> [In Persian]
- Brazeau, R. H., & Edwards, M. A. (2013). Optimization of electric hot water recirculation systems for comfort, energy and public health. *Journal of Green Building*, 8(2), 73-89. <https://doi.org/10.3992/jgb.8.2.73>
- BUILD UP. (2025). Energy efficiency in building systems: Annual report 2025. European Commission.
- Cheshmaghyl, M., Shahrki, J., & Ashraf Ganjavi, R. (2025). The impact of urbanization rate uncertainty and hydropower energy consumption on ecological footprint in Iran. *Journal of Environment and Natural*

- Resources.4(10), 91-122. <https://doi.org/10.22054/eenr.2025.83526.198>
[In Persian]
- Esmaeilishirazifard, N., Ekhtiari, M., Nikkar, M., & Fattahi, K. (2024). Investigating the impact of technical, economic and social behavioral saving strategies on domestic water-saving consumption patterns in Shiraz. *Cleaner and Responsible Consumption*, 12, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100167>
- Feng, P. P., Chen, Z. L., & Tang, M. J. (2023). Design And research Of Thermostatic Faucet Detection Device. *3rd International Conference on Electrical Engineering and Mechatronics Technology (ICEEMT)*, 655-658. <https://doi.org/10.1109/ICEEMT59522.2023.10263030>
- Fidar, A. M.; Memon, F. A.; Butler, D. (2016). Performance evaluation of conventional and water saving taps. *Science of the Total Environment*, 541, 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.024>
- Gajendiran, M., Jagdeesh, S. K., Gurunathraj, E., Ramanathan, B. H., Akshai, C., & Gowtham, V. (2025). PCM incorporated with nanoparticles as thermostat materials for cooling IC engines. In *Hybrid and Advanced Technologies* (pp. 444-450). CRC Press.
- Hao, Z., Rogers, T., & Li, F. (2024). Review on research of uncertain dynamics for bimetallic structures. In *International Conference on Optoelectronic Information and Functional Materials (OIFM)*, (13183), 235-244. <https://doi.org/10.1117/12.3033873>
- Hofer, G., Kotik, J., & Proell, T. (2023). Heat loss reduction and tap temperature equalization of a centralized domestic hot water system in a modernized pre-WWI residential building. *Journal of Building Engineering*, 77, 107506. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107506>
- Hongxia, F., & Qiaolin, L. (2025). Design and application of intelligent water-saving system in water-saving management of urban water-using units. *PLOS Water*, 4(4), e0000355. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000355>
- Hossain, S., & Abdelgawad, A. (2025). Low-cost architecture for an advanced smart shower system using internet of things platform. *Journal of Smart Cities and Society*, 4(1), 3-17. <https://arxiv.org/abs/2311.07712>
- Ip, K., She, K., & Adeyeye, K. (2018). Life-cycle impacts of shower water waste heat recovery: case study of an installation at a university sport facility in the UK. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), 19247-19258. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0409-0>
- Chidananda, H., Hamsini, P., Geetha Sri Jaya, C. H., Sahana, D., & Galibhe Neeraja. (2024). Design and Implementation of Sensor-Integrated Gesture-Controlled Smart Water Tap. *Grenze International Journal of Engineering & Technology*, 10(2), 5240. ISSN: 2395-5287

- Kumar, R., & Saxena, A. (2024). Smart Water Management and Resource Conservation. In *Sustainable Smart Cities and the Future of Urban Development* (pp. 235-262). IGI Global Scientific Publishing. 10.4018/979-8-3693-6740-7.ch010
- Lalithmohan, S., Kavinprabhu, L., Jayaseelan, T., & Kumar, V. N. (2020). Design a Smart Faucet for Reducing the Water Wastage using IoT. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(6), 2277-387. 10.35940/ijrte.F7812.038620
- Liu, Y., Zhang, Q., & Brown, K. (2024). Energy saving potentials in domestic water heating systems. *Energy and Buildings*, 285, 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.112125>
- Morkunaite, L., Pupeikis, D., Tsalikidis, N., Ivaskevicius, M., Manhanga, F. C., Cerneckiene, J., ... & Fokaides, P. (2025). Efficiency in Building energy use: Pattern discovery and crisis identification in hot-water consumption data. *Energy and Buildings*, 336, 115579. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115579>
- Mousavi, S. H., & Keshvari, A. (2019). The impact of smartening water installations in residential complexes on reducing water consumption (Case study: Shahid Kharrazi Complex). *Second International Conference on Architecture, Civil Engineering, Agriculture and Environment*. <https://civilica.com/doc/899893> [In Persian].
- Naveenkumar, R., Sarkar, R., Kumar, N., & Yaduvanshi, N. (2024). Integrating Automatic Water Shut-Off Valves, Leak Detection Systems, and Smart Irrigation for Enhancing Efficiency and Conservation in Modern Water Management systems using IoT. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 11(6), 1163-1169. https://ijirt.org/publishedpaper/IJIRT168998_PAPER.pdf
- Nuwarapaksha, T. D., Udumann, S. S., Dissanayaka, N. S., Dilshan, R. M. N., & Atapattu, A. J. (2025). Revolutionizing Agriculture by Advanced Water and Irrigation Management Technologies. In *Emerging Trends and Technologies in Water Management and Conservation* (pp. 285-318). IGI Global Scientific Publishing. 10.4018/979-8-3693-6920-3.ch009
- Peffer, T., Pritoni, M., Meier, A., Aragon, C., & Perry, D. (2011). How people use thermostats in homes: A review. *Building and Environment*, 46(12), 2529-2541. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.027>
- Rahmadini, V. F., Ma'arif, A., & Abu, N. S. (2023). Design of water heater temperature control system using PID control. *Control Systems and Optimization Letters*, 1(2), 111-117
- Shemer, H., Wald, S., & Semiat, R. (2023). Challenges and solutions for global water scarcity. *Membranes*, 13(6), 612. <https://doi.org/10.3390/membranes13060612>

- Stec, A. (2020). Sustainable Water management in buildings. *Water Science and Technology Library*, 90. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35959-1>
- Sun, Y., Li, X., Wei, W., Xue, H., Wang, W., & Deng, S. (2022). Development of a variable water temperature control *method for air source heat pump based on the supply-demand balance*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102366. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102366>
- Varadarajan, M. N., Vinya, V. L., Prabhu, R. J., Swathi, G., Mohankumar, N., & Velmurugan, S. (2024). Smart Water Taps Using IoT Sensors and Deep Reinforcement Learning for Personalized Consumption Control. In 2024 6th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEPE63236.2024.10668912>
- Yang, H. C., Zhu, X. J., Liu, Y. H., & Chen, X. Z. (2025). How terrorist attacks reshape global energy efficiency: Evidence from a global panel of 68 countries. *Environment, Innovation and Management*, 1, 2550001. <https://doi.org/10.1142/S3060901125500012>
- Zulkifli, C. Z., Garfan, S., Talal, M., Alamoodi, A. H., Alamleh, A., Ahmaro, I. Y., ... & Chiang, H. H. (2022). IoT-based water monitoring systems: a systematic review. *Water*, 14(22), 3621, 1-29. <https://doi.org/10.3390/w14223621>

استناد به این مقاله: کریمی دونا، صالح؛ کریمی دونا، بهاره؛ قمی، محسن. (۱۴۰۴). طراحی یک دستگاه در مصرف آب، برای تنظیم بهینه دمای شیرهای آب، فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، ۱۱(۵)، صفحات ۱۵۷-۱۹۰.



Journal of Environmental and Natural Resource Economics licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.