Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics
Vol. 21, No. 2, PP. 33-52, Summer 2026

Research Article
https://doi.org/10.30482/jhyd.2025.542087.1748

Urban Water Distribution Management in High-Consumption Areas by Applying Maximum Flow Control Using an Automatic Flow Control Valve

Mohammad Bijankhan[1*], Ali Fazli[2], Sara Fakouri[3], Hadi Ramezani Etedali[3]

1- Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

3- Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

4- Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

*** bijankhan@eng.ikiu.ac.ir**

Received: 18 August 2025
Revised: 6 December 2025
Accepted: 14 December 2025
Discussion: 23 September 2026

J. Hydraul.
Iranian Hydraulic Association
Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: The increasing scarcity of freshwater resources, driven by population growth and rising demand, has highlighted the importance of optimizing urban water distribution networks (WDNs). Flow control valves are essential for maintaining equitable water distribution. Atashparvar et al. (2019) designed and experimentally tested flow control valves with nominal discharges of 5 and 10 L/s. Their results showed that actual discharge rates were consistently lower than design values due to hydraulic losses and geometric constraints.

Consumer withdrawal patterns strongly influence network performance. In residential complexes, rapid filling of storage tanks often creates short-term, high-demand surges, leading to significant pressure drops elsewhere in the network, especially during peak periods. The main contribution of this study is the application of an automatic flow-stabilizing valve, based on the design of Bijankhan et al. (2025), to limit inflow at high-demand nodes. This strategy improves upstream network pressure without changing consumer behavior through the appropriate sizing and installation of flow-stabilizing valves.

Methodology: Flow measurement was conducted with two objectives: (i) to characterize the demand pattern at a selected node downstream of the water source, and (ii) to inform the design and evaluate the performance of the automatic flow-stabilizing valve. Based on a site suitability assessment and alignment with the project scope, the water supply system of Imam Khomeini International University (IKIU) was selected as the case study.

An ultrasonic flowmeter—comprising two clamp-on transducers mounted on the pump discharge pipe—was deployed to monitor instantaneous flow rates. Concurrently, an ultrasonic level sensor was custom-assembled and installed inside the main storage tank to track water volume dynamics (i.e. storage vs. drawdown phases). Data from both sensors were logged via microcontroller-based acquisition

systems, with the entire instrumentation housed in a weatherproof enclosure for field deployment.

Results and Discussion: Valve performance was initially validated in the hydraulic laboratory at IKIU using prototype automatic flow-stabilizing valves with nominal capacities of 2 and 4 L/s. The valves were then installed on the municipal supply line feeding the university's potable water reservoir.

Comparative analyses, based on operational data from 3 March 2024, showed that reservoir levels remained relatively stable under uncontrolled inflow. However, when the 4 L/s valve was activated (blue circle in time-series plots), a gradual storage deficit developed under sustained high demand, reaching a maximum drawdown of 40 cm by midnight—10 cm greater than the baseline condition. The valve operated continuously from 3 to 6 March 2024, during which the cumulative reservoir deficit stabilized at approximately 35 cm, corresponding to a volume reduction of about 150,000 L.

Pipeline pressure on the municipal supply main was monitored under three conditions:

Uncontrolled inflow: Near-zero inlet pressure (~0 m), indicating gravity-driven, high-flow, low-pressure entry.

Daily flow control (4 L/s setpoint): Inlet pressure rose to ~3.6 m.

Weekly flow control (2 L/s setpoint): Pressure further increased to ~7.0 m.

Notably, these pressure gains were achieved without detectable changes in campus-wide water consumption, confirming that pressure recovery resulted solely from inflow regulation—not demand reduction.

Conclusions: Based on measured demand profiles, the peak average hourly flow rate was calculated as 3.99 L/s. Accordingly, automatic flow-stabilizing valves rated at 4 L/s (for daily control) and 2 L/s (for extended, conservative regulation) were deployed.

While the 4 L/s configuration led to a gradual reservoir deficit (~35 cm/150,000 L over 3.5 days), switching to the 2 L/s regime on Friday enabled an inflow of ~164,000 L—sufficient to fully offset the accumulated deficit. This demonstrates the system's ability to shift inflow temporally: suppressing intake during peak periods and enabling reservoir replenishment during off-peak hours.

Critically, flow regulation alone—without infrastructure upgrades or demand-side interventions—yielded a 7-meter increase in municipal pipeline pressure (from ~0 m to 7 m) under the 2 L/s scenario. This underscores the efficacy of smart inflow management as a low-cost, high-impact strategy for improving hydraulic resilience in urban water networks.

Keywords: Automatic flow control valve, Urban water, Pressure variations, Flow variations.

Conflict of Interest: The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article.

Funding: This work is based upon research funded by Iran National Science Foundation (INSF) under project No. 4020829.

Data Availability Statements: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution:

First Author: Writing, Results, Discussions.

Second Author: Results.

Third Author: Writing, Discussions.

Fourth Author: Discussions.

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک
سال ۲۱، شماره ۲، صفحات ۵۲-۳۳، تابستان ۱۴۰۵

مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.30482/jhyd.2025.542087.1748

مدیریت توزیع آب شهری در نقاط پرمصرف با اعمال کنترل دبی بیشینه با استفاده از شیر خودکار مهار جریان

محمد بی‌جن‌خان[۱*]، علی فضلی[۲]، سارا فکوری[۳]، هادی رمضانی اعتدالی[۴]

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۳- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۴- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

*** bijankhan@eng.ikiu.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷
بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳
نقد و بررسی: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

نشریه هیدرولیک
انجمن هیدرولیک ایران
وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: مجتمع‌های مسکونی بزرگ به‌طور معمول با استفاده از مخزن‌های ذخیره مقدار زیادی از آب را در مدت زمان بسیار کوتاهی مصرف می‌کنند. این عمل منجر به افت فشار شدید در دیگر نقطه‌های شبکه، به‌ویژه در زمان اوج مصرف، می‌شود. شیرهای تثبیت دبی اگر به صورت درست طراحی و انتخاب شوند می‌توانند در زمان اوج مصرف برای تعدیل توزیع آب در سطح شبکه بسیار کارآمد باشند. در این پژوهش نسبت به بررسی کاربرد یک نمونه از شیرهای خودکار تثبیت دبی اقدام شد. دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) بهترین گزینه، هم به لحاظ اجرایی و هم به لحاظ فنی، برای پایش الگوی مصرف و نصب شیر خودکار مهار جریان انتخاب شد. شیرهای خودکار تثبیت دبی ۲ و ۴ لیتر بر ثانیه متناسب با الگوی مصرف و حجم مخزن دانشگاه انتخاب شد. پس از آزمون‌های موفق آزمایشگاهی در مرحله‌های بعدی پژوهش اقدام به نصب آنها روی لوله آب شهری شد و عملکرد میدانی آنها بررسی و ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کسری مخزن در طول هفته پیوسته افزایش یافته و در نهایت به حدود ۱۵۰ هزار لیتر رسید. تنها در روز جمعه با درنظر گرفتن دبی ورودی به مخزن معادل ۲ لیتر بر ثانیه می‌توان حدود ۱۶۴ هزار لیتر آب برای ورودی به مخزن در نظر گرفت و درنتیجه کل کسری مخزن قابل جبران خواهد بود. از طرفی با بررسی فشار آب روی خط لوله آب شهری ملاحظه شد در حالتی‌که هیچ مدیریتی روی مقدار آب ورودی به مخزن نباشد فشار در محل ورود آب به مخزن دانشگاه حدود صفر است و به عبارت دیگر آب با بیشترین دبی و کمترین فشار وارد مخزن شده است. با اعمال مدیریت روزانه و مدیریت هفتگی به صورت حدودی فشار روی خط لوله آب شهری به ۳/۶ و ۷ متر افزایش یافت.

کلیدواژگان: شیر خودکار مهار جریان، آب شهری ، نوسان‌های فشار، نوسان‌های دبی.

۱- مقدمه

کمبود منابع آب شیرین و افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش تقاضا باعث شده است تا به بررسی دقیق‌تر شبکه‌های آبرسانی شهری پرداخته شود. در حال حاضر شبکه‌های توزیع آب بر مبنای بیشترین مصرف ساعتی طراحی می‌شوند لذا تغییرپذیری‌های زمانی مصرف آب در ساعت‌های مختلف سبب نوسان فشار و افزایش نشت در این شبکه‌ها می‌شود. از این رو مدیریت فشار در شبکه که افزایش آن در خطوط انتقال از جمله علت‌های اصلی نشت و افزایش مصرف است، دارای اهمیت می‌باشد.

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که بزرگی و رخداد نشت، با کاهش و ثبات فشار در سامانه توزیع کاهش پیدا می‌کند (Thornton and Lambert, 2006). تنظیم و مدیریت فشار اضافی شبکه، یکی از روش‌های کاربردی کاهش نشت است.

برای کاهش تلفات ناشی از نشت باید در این مناطق شیرآلات فشارشکن نصب کرد و نسبت به توزیع مناسب فشار اقدام کرد (Falahi and Salehzadeh, 2018). Jalili Ghazizadeh and Shahrouzi (2018) در پژوهش خود برای مدیریت فشار و جلوگیری از نشت در شبکه‌های توزیع آبرسانی شهری به بررسی استفاده از مخزن‌های داخلی برای شبکه‌های در حال بهره برداری پرداختند. ارزیابی آنان نشان داد با قرارگیری مخزن‌ها بر روی پشت بام و پارکینگ کمترین میزان کاهش نشت به ترتیب ۳۱ و۶۷ درصد محاسبه می‌شود. Cao et al., (2019) جانمایی همزمان حسگرهای فشار و شیرهای فشارشکن به منظور مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی را بررسی کردند. در این تحقیق فرآیندی برپایه روش K-mean++ برای تعیین هم زمان شمار و موقعیت حسگرهای فشار و شیرهای فشارشکن به کار برده شد. نتایج روش ارائه شده نشان داد حسگرهای قرار داده شده با دقت بالایی فشار را نمایش داده و همچنین شیرهای جانمایی شده، به مقدار قابل توجهی فشار را کاهش خواهند داد. پایش فشار در شبکه انتقال آب شهری برای اطمینان از وجود فشار کافی در سراسر شبکه امری بسیار مهم است. Jun and Kwon, (2019) به کمک دو روش به بررسی نقطه‌های بهینه پایش فشار در شبکه توزیع آب پرداختند. با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حساسیت تغییر فشار در یک گره ناشی از تغییر دبی در گره‌های دیگر و همچنین به کمک روش تجزیه و تحلیل سهم فشار، مجموع سهم فشار یک گره ناشی از تغییر دبی در گره دیگر محاسبه شد. آنگاه با قرار دادن نشت در نقطه-های معین، نتایج به دست آمده از تغییرپذی‌های فشار پایش شده با این روش، با روش جریان‌های غیرماندگار مقایسه شد که نتایج قابل قبول بود.

با توجه به پیشینه پژوهش‌ها عمده تحقیقات صورت گرفته، بیشتر هدف مدیریت فشار در شبکه انتقال آب شهری معطوف به جلوگیری از پدیده نشت بوده است. با توجه به جستجوهای صورت گرفته در پیشینه تحقیقات، پژوهشی که منحصراً نسبت به توزیع یکنواخت فشار با اعمال محدودیت در نقطه‌های پرمصرف باشد یافت نشد. شایان ذکر است که نقطه‌های پرمصرف می‌توانند باعث افت قابل توجه فشار برای مشترکان مجاور در زمان‌های اوج مصرف گردد. در این راستا شیرهای خودکار تثبیت دبی می‌توانند ابزاری بسیار کارآمد باشند که در صورت انتخاب هوشمندانه آنها می‌توان بدون ایجاد کم‌آبی یا قطعی برای مشترکان پرمصرف نسبت به توزیع عادلانه آب بین سایر مشترکان اقدام کرد. لذا در ادامه بررسی پیشینه تحقیقات نسبت به کاربردهای شیر خودکار مهار جریان پرداخته خواهد شد. شیر خودکار مهار جریان تاکنون برای مقاصد مختلف در حوزه‌های کشاورزی و مدیریت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. توزیع غیر یکنواخت فشار به دلیل اصطکاک، افت‌های موضعی و اختلاف ارتفاع رخ دهد. در تحقیق‌های انجام شده تاکنون محققان سعی کردند با روش‌های مختلفی فشار ورودی به یک سامانه را در قسمت-های مختلف آن مدیریت کنند. یکی از راه حل‌ها شیرهای فشار شکن هستند که با نام‌های شیر توپی (ball valve)، پروانه‌ای (butterfly)، کره‌ای (globe) و شیرهای سوزنی (needle valves) به عنوان ابزارهای مهار جریان در لوله‌های تحت‌فشار استفاده می‌شوند. Ferreira et al. (2018) روی رفتار شیر توپی در شرایط جریان ماندگار و غیر ماندگار تحقیق کردند و به این نتیجه رسیدند که رفتار شیر توپی افزون بر شرایط فیزیکی آن، مانند میزان بازشدگی، به شدت وابسته به رژیم جریان است. بر این مبنا، آن‌ها رفتار هیدرولیکی شیرهای توپی را به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم کردند.Zhang and Wang (2015) برای نخستین بار اصول بنیادی طراحی نوعی شیر مهار جریان(شکل ۱) را ارائه دادند. شیر پیشنهادی، از دو نگهدارنده در ورودی و خروجی، فنر، دوک، میلهٔ هادی و یک روزنه تشکیل شده است. زمانی که سیال به انتهای دوک برخورد کند، نیروی وارده دوک را حرکت می‌دهد و فنر فشرده می‌شود. در نتیجه، دوک به روزنه می‌رسد و شیر مهار جریان آغاز به کار می‌کند.

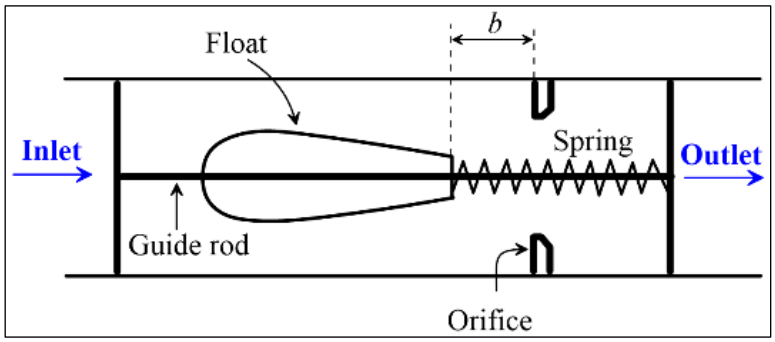

Fig. 1 Schematic view of control valve and its components

شکل ۱ نمای کلی از شیر مهار جریان و اجزای تشکیل دهندهٔ آن

روش طراحی آنها تنها برای شیر مهار جریان با دبی ۰/۴ لیتر بر ثانیه و اختلاف فشار ۶ تا ۷۰ کیلوپاسکال قابل استفاده است. Liu et al. (2021) به بررسی آزمایشگاهی ویژگی‌های جریان عبوری از شیر مهار جریان طراحی شده پرداختند. نتایج آنها نشان می دهد عدد رینولدز، ضخامت صفحه روزنه، دوک و خروج از مرکز تاثیر آشکاری بر ضریب جریان عبوری از روزنه دارند .افت فشار در MCOP اغلب در نزدیکی روزنه ایجاد می شود و فشار بالادست روزنه در برای جریان اندکی کاهش می یابد، در حالی که فشار پایین دست روزنه روند بازیابی را نشان می دهد.

Rezazadeh et al. (2019) بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، روشی برای باز طراحی شیر مهار جریان ارائه کردند و همین‌طور محدوده کارکرد شیر مهار جریان را توسعه دادند. آنها شیر مهار جریان با دبی‌های ۰/۸، ۰/۶ و ۰/۴ لیتر بر ثانیه را طراحی و آزمایش کردند. محدودهٔ کارکرد شیر مهار جریان را تا ۰/۶ لیتر بر ثانیه و اختلاف فشار را تا ۲۰ متر آب توسعه دادند. این محققان اصول طراحی شیر مهار جریان را برای دبی‌های ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه، به ترتیب برای محدودهٔ فشار کارکردهای ۱ تا ۷ و ۲/۶ تا ۲۰ متر آب ارائه کردند. برای این منظور، در آغاز به مطالعهٔ منحنی‌های دبی-اختلاف فشار روزنه‌ای پرداختند که قطعه‌های استوانه‌ای شکل با قطرهای مختلف وسط آن را پر کرده باشد. پس از آن با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده، شکل اولیهٔ منحنی دوک را ارائه کردند و نشان دادند معادلهٔ منحنی دوک را می‌توان با استفاده از نتایج آزمایشگاهی به گونه‌ای اصلاح کرد که به عملکرد بهتر شیر مهار جریان بینجامد. در **شکل ۲** چگونگی عملکرد شیرخودکار مهار جریان مشاهده می‌شود.

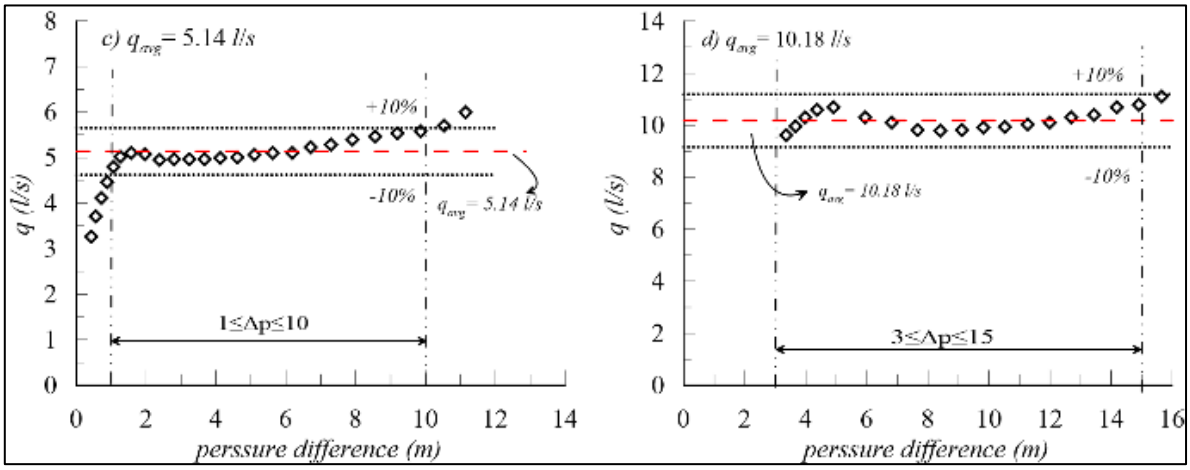

Fig. 2 Automatic flow control valve operation, for flow rates of 0.4 and 0.6 liters per second, respectively, in the operating pressure range of 1 to 7 meters and 7 to 20 meters.

شکل ۲ عملکرد شیر خودکار مهار جریان، برای دبی‌های ۰/۴و ۰/۶ لیتر بر ثانیه به ترتیب در محدوده فشار کارکرد ۱ تا ۷ متر و ۷ تا ۲۰ متر

Atashparvar et al. (2019) شیر مهار جریان با دبی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه را طراحی و مورد آزمایش قرار دادند. آنها دبی عبوری از یک روزنه سیلندری را با استفاده از آنالیز ابعادی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که دبی عبوری از شیر مهار جریان کمتر از دبی طراحی است. آنگاه با ایجاد تغییرپذی‌هایی در محل نصب دوک اقدام به بازطراحی شیرخودکار مهار جریان کردند.و یک روش گام به گام برای طراحی شیرخودکار مهار جریان ارائه کردند. Atashparvar et al. (2019) در بررسی کاربرد شیر مهار جریان در تحویل حجمی آب در پمپ‌ها به این نتیجه رسیدند که با نصب شیر مهار جریان روی یک پمپ سانتریفیوژ با وجود تغییر دور موتور پمپ، دبی خروجی از آن روی مقدارهای طراحی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب در محدوده فشار کارکرد ۱ تا ۱۰ متر و ۳ تا ۱۵ متر به صورت ثابت می‌باشد (شکل ۳).

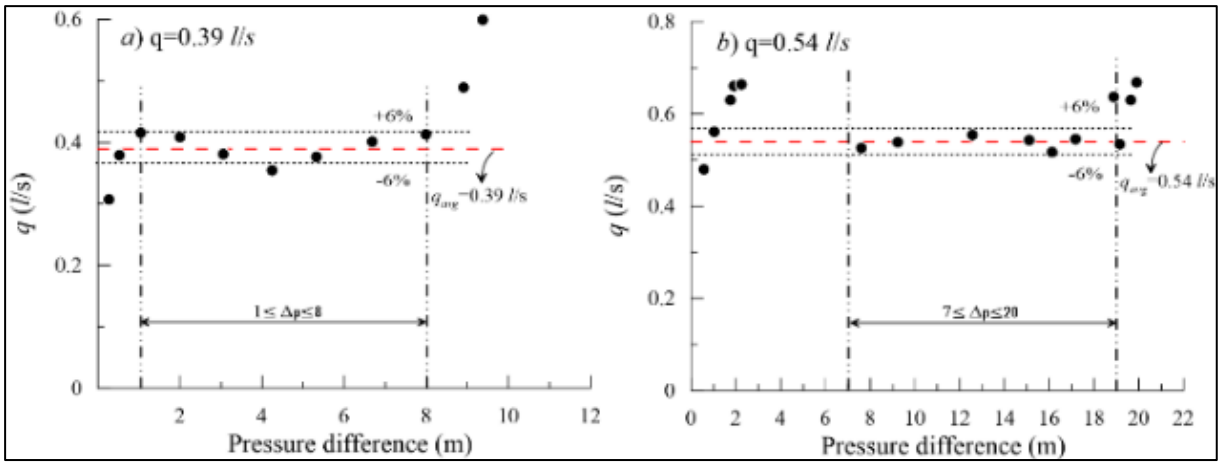

Fig. 3 Automatic flow control valve operation, for flow rates of 5 and 10 liters/second, respectively, in the operating pressure range of 1 to 10 meters and 3 to 15 meters.

شکل ۳ عملکرد شیر خودکار مهار جریان، برای دبی‌های ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب در محدوده فشار کارکرد ۱ تا ۱۰ متر و ۳ تا ۱۵ متر

تاکنون بررسی‌های چندی روی چگونگی طراحی و کاربرد انواع شیرهای خودکار مهار جریان انجام شده است اما کاربرد آنها در شبکه‌های انتقال آب شهری مغفول مانده است (Tayebi et al., 2021، Mehri & Bijankhan, 2019، Fallah Morsali et al., 2023). مدیریت میزان برداشت در نقطه‌های مصرف به لحاظ کاربردی اهمیت زیادی دارد. مجتمع‌های مسکونی به‌طور معمول با استفاده از مخزن‌های ذخیره مقدار زیادی از آب را در مدت زمان بسیار کوتاهی به خود اختصاص می‌دهند. این عمل منجر به افت فشار شدید در دیگر نقطه‌های شبکه، به‌ویژه در زمان اوج مصرف، می‌شود. پرسش اصلی این تحقیق معطوف به امکانسنجی کاربرد شیرهای خودکار مهار جریان برای اعمال محدودیت در برداشت آب توسط واحدهای پرمصرف در زمان اوج می‌باشد. هدف از این امر توزیع مناسب فشار در سطح شبکه در زمان اوج مصرف می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

تعیین الگوی مصرف مشترکان پرمصرف برای انتخاب دبی طراحی شیرخودکار مهار جریان بسیار مهم است. از این رو در بخش مواد و روش‌ها نسبت به تعیین مشترکان پرمصرف در استان قزوین، نحوه اندازه‌گیری دبی و رقوم مخزن، الگوی مصرف آب و همچنین شیرخودکار مهار جریان پرداخته شده است.

۲-۱- تعیین مشترکان پر مصرف

ضمن دریافت استعلام از شرکت آب و فاضلاب استان قزوین، نسبت به تعیین مشترکان پر مصرف اقدام شد. بر این اساس، بیشترین مصارف مربوط به مرکزهای درمانی، آموزشی، ورزشی و اماکن نظامی شامل بیمارستان ولایت، مجتمع آفتاب درخشان صحرا، دانشگاه آزاد اسلامی و دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) می‌باشد. بیمارستان

ولایت و مجتمع آفتاب درخشان صحرا مراکز درمانی و تجاری هستند که درعمل فعالیت‌های مربوط به پایش و نصب شیرخودکار مهار جریان در آنها می‌تواند با دشواری-های اجرایی زیادی همراه باشد. لذا از میان دانشگاه آزاد اسلامی (واحد باراجین) و دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) یک گزینه باید مدنظر قرار گیرد. ضمن بازدید از مخزن آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، شرایط مربوط به مخزن بررسی و ارزیابی شد. آب مصرفی دانشگاه بوسیله یک لوله ۳ اینچی منشعب از آب شهری به یک مخزن زمینی دوقلو واقع در ضلع شمالی محوطه دانشگاه، منتقل می‌شود (شکل ۴). برای تامین آب با فشار مطلوب یک ایستگاه پمپاژ جنب مخزن زمینی تعبیه شده است. آب شهری وارد مخزن شده و بواسطه وجود یک فلوتر تنظیم سطح آب از سرریز شدن مخزن در طول شب جلوگیری می‌شود. لوله رانش پمپ یک لوله آهنی با اندازه ۶ اینچ می‌باشد که برای نصب دبی‌سنج اندازه‌گیری جریان به‌منظور برآورد الگوی مصرف دانشگاه بسیار مطلوب می‌باشد.

Fig. 4 Location of the underground reservoir supplying drinking water to Imam Khomeini International University

شکل ۴ محل مخزن زمینی تامین آب شرب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

Fig. 5 View of the twin underground reservoirs supplying drinking water to Imam Khomeini International University

شکل ۵ نمایی کلی از مخزن زمینی دوقلوی تامین آب شرب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

حجم مخزن ذخیره آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) معادل ۶۰۰/۰۰۰ لیتر می‌باشد. از این حجم چیزی معادل ۲۰۰/۰۰۰ لیتر برای زمان‌های ضروری و آتش‌نشانی درنظر گرفته شده است. لذا حجم ۴۰۰/۰۰۰ لیتر برای مصرف‌های شرب قابل برنامه‌ریزی است. با توجه به میانگین ماهانه مصرف آب که معادل ۱۰/۷۴۵ مترمکعب است، میانگین مصرف روزانه معادل ۳۵۸/۰۰۰ لیتر خواهد بود. به‌عبارت دیگر مخزن ذخیره آب می‌تواند حتی درصورت قطعی کامل آب، چیزی در حدود یک شبانه روز آب دانشگاه را تأمین کند. مخزن تامین آب شرب دانشگاه آزاد اسلامی (واحد باراجین) معادل ۱۲۰۰ متر مکعب می‌باشد. از این میزان با درنظر گرفتن ۳۰ درصد برای مصارف ضروری و آتش‌نشانی مخزنی معادل ۸۴۰/۰۰۰ لیتر برای مصرف‌های شرب قابل برنامه‌ریزی است. همچنین ورودی آب شهری توسط یک لوله ۴ اینچ تامین می‌شود. ضمن پیگیری‌های انجام شده امکان بازدید از مخزن یادشده فراهم نبود. لذا بدلیل دسترسی بهتر محققان به مخزن آب آشامیدنی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و سهولت در انجام هماهنگی‌های لازم، این مورد برای انجام امور میدانی مدنظر قرار گرفت.

شایان ذکر است که تامین آب شهری در زمان‌های اوج مصرف روزانه به‌ویژه در فصول گرم سال بسیار چالش‌برانگیز است. هدف از این طرح پژوهشی استفاده از حجم مخزن‌های ذخیره واحدهای پرمصرف به عنوان یک بافر برای عدم برداشت بیشتر از شبکه در زمان‌های اوج مصرف است. لذا برای این منظور نصب شیرخودکار تثبیت دبی برای مدیریت دبی اوج روزانه مدنظر خواهد بود.

۲-۲- تجهیزات اندازه‌گیری دبی و الگوی مصرف آب

برای اندازه‌گیری دبی از یک دستگاه دبی‌سنج فراصوتی ثبات استفاده شد. این ابزار شامل دو حسگر فراصوتی است که روی لوله رانش پمپ نصب شدند. اصول کار به این شکل است که از اختلاف فاز ارسال و دریافت موج‌های فراصوتی و رابطه آن با سرعت جریان (که پیشتر توسط شرکت سازنده واسنجی شده است)، دبی جریان قابل محاسبه می‌باشد. شایان ذکر است که برای حصول اطمینان از چگونگی عملکرد دبی‌سنج ثبات، از یک دستگاه دبی‌سنج پرتابل که قبلا مورد واسنجی قرار گرفته بود استفاده شد و دقت دستگاه فعلی مورد تأیید محققین این نوشتار نیز قرار گرفت. حسگرهای دبی‌سنج روی لوله رانش پمپ در قسمتی که قبل و پس از آنها به فاصله دست‌کم یک متر هیچ اتصالی وجود نداشت نصب شد. یک حافظه جانبی با ظرفیت ۳۲ گیگابایت برای ذخیره داده‌ها استفاده شد. دبی لحظه‌ای با گام زمانی ۵ دقیقه توسط دستگاه اندازه‌گیری و در حافظه جانبی ذخیره شد. لازم به یادآوری است که کیفیت سیگنال دستگاه هم برای دبی‌های کمتر از ۱ لیتر بر ثانیه و هم برای دبی‌های بیشتر از ۱ لیتر بر ثانیه در حدود ۹۴ درصد و مناسب بوده است. اگرچه تمرکز بر دبی‌های بیشتر بوده و دقت دستگاه در دبی‌های بالاتر دارای اهمیت می‌باشد زیرا هدف مدیریت دبی بیشینه می‌باشد. نمونه‌ای از مقدارهای دبی ثبت شده در مقابل زمان در شکل ۶ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بیشینه دبی مصرفی در سطح دانشگاه در حدود ۷ لیتر بر ثانیه است. داده‌های شکل ۶ با گام زمانی ۵ دقیقه آورده شده است که در هر زمان بدلیل تغییرپذیری‌های برداشت لحظه‌ای نوسان‌های به‌نسبت زیادی نیز ملاحظه می‌شود که با توجه به اتصال مستقیم پمپ به شبکه آبرسانی این امر قابل توجیه است. همچنین با توجه به الگوی مصرف آب ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار مصرف در حدود ساعت ۱۴ رخ داده است. چرا که در این زمان بدلیل شستشوی ظرف‌های در غذاخوری‌ها بیشترین مصرف وجود دارد. همچنین از ساعت حدود ۱۹ تا حدود ۵ صبح مصرف آب به صفر می‌رسد. با توجه به اینکه این بررسی بر شبکه توزیع آب دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین انجام شده است، ارزیابی منحنی مصرف نشان داد که کمترین جریان شبانه (MNF) در بازه ساعت‌های نیمه‌شب درعمل برابر با صفر است. علت این موضوع، تعطیلی کامل فعالیت‌ها و نبودن مصرف‌کنندگان در این بازه زمانی می‌باشد. بنابراین در این تحقیق امکان استفاده از MNF به‌عنوان یک شاخص کمّی برای تحلیل نشت یا تعیین الگوی کمینه‌ای مصرف وجود نداشت و روش تحلیل منحنی مصرف بر مبنای داده‌های واقعی برداشت در ساعت‌های اوج و میان‌بار انجام شده است. به همین دلیل،

در این پژوهش از MNF استفاده نشده و مرحله‌های تحلیل برمبنای شرایط واقعی شبکه دانشگاه تنظیم شد.

نوسان‌های لحظه‌ای برداشت آب امری طبیعی است که در تمام نقطه‌های شبکه آبرسانی شهری وجود دارد. با استفاده از داده‌های با گام زمانی ۵ دقیقه، مقدارهای کمینه، بیشینه و متوسط دبی مصرفی در بازه‌های یک ساعتی محاسبه و در شکل ۷ مقابل زمان رسم شد. از آنجایی که در این تحقیق در نظر است تا با کاهش دبی بیشینه نسبت به تعدیل برداشت آب در شبکه اقدام نمود، لذا لازم است الگوی مصرف با دبی بیشینه نیز برای طراحی شیر خودکار مهار جریان مدنظر قرار گیرد. شایان ذکر است که الگوی مصرف در محل لوله رانش پمپ آبرسانی دانشگاه اندازه‌گیری شده است. اما نصب شیر خودکار تثبیت روی لوله آب شهری که منبع را تغذیه می‌کند صورت خواهد گرفت. به عبارت دیگر اگر در هنگام مصرف آب در زمان اوج مصرف (دبی حدود ۷ لیتر بر ثانیه)، آبگیری مخزن کاهش یابد، برای جبران این کمبود بخشی از آب مصرفی دانشگاه از مخزن ذخیره تامین خواهد شد. این امر تا زمانی ادامه خواهد یافت که تقاضای آب کاهش یافته و به مقداری کمتر از دبی تنظیم شده برای شیر خودکار مهار جریان برسد. در این هنگام مخزن شروع به پر شدن خواهد کرد به بیان دیگرهدف از تحقیق این است که در زمان اوج مصرف از محل ورودی آب شهری، اوج آبگیری مخزن را کاهش داده تا در زمان اوج مصرف، از شبکه آبگیری انجام نشود بلکه از ذخیره مخزن استفاده شده و در زمان‌های خارج از اوج، مخزن پر شود. از طرفی به‌طورمعمول مخزن‌های خیلی بزرگ‌تر از نیاز واحدها می‌باشد. به عنوان مثال برج‌های مسکونی کسری در استان قزوین بالغ بر ۷۶۰ واحد دارد و از جمله نمونه‌هایی است که حجم مخزن آن بسیار زیاد می‌باشد. این برج‌ها دارای دو مخزن ذخیره آب به حجم یک میلیون لیتر است که با توجه به مصرف واحدها مخزن‌های بسیار بزرگی می‌باشند.

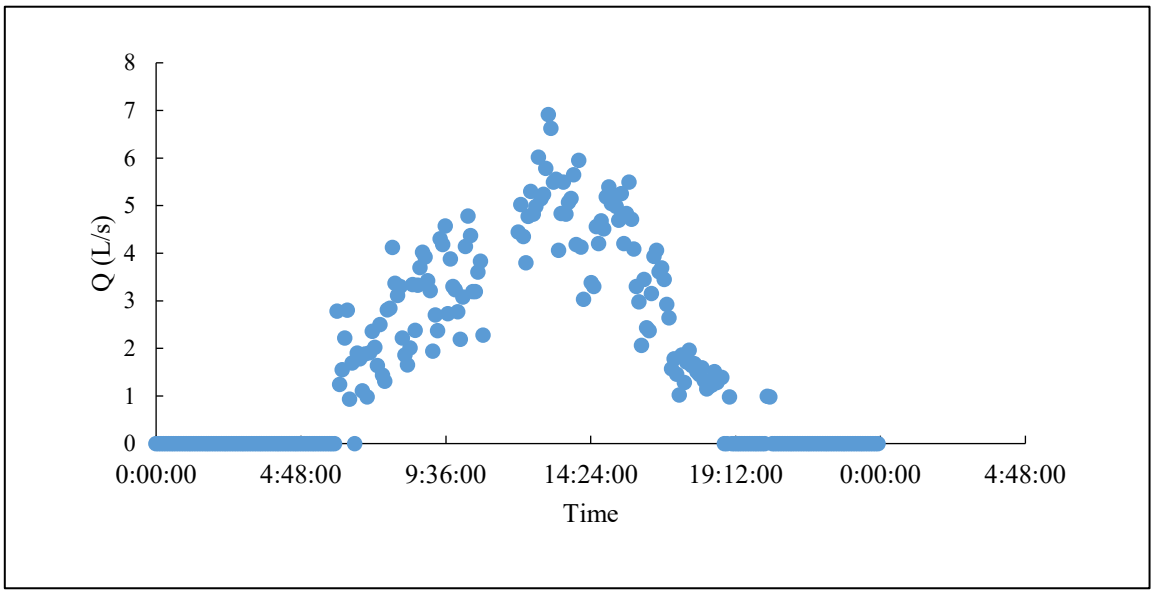

Fig. 6 A sample of water consumption pattern in Imam Khomeini International University

شکل ۶ نمونه‌ای از الگوی مصرف آب روزانه دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

با توجه به نمودار ارائه شده در شکل ۶ مشاهده می‌شود که در ساعت ۱۹ مخزن پر شده و این مسئله نشان می‌دهد که در زمان‌های غیر از اوج مصرف (مانند ساعت ۱۲ شب الی ۶ صبح) که می‌توانست زمان مناسب‌تری برای پر شدن مخزن باشد، ظرفیت مخزن تکمیل است. به همین دلیل در این طرح با به کارگیری شیر تثبیت دبی و اعمال محدودیت در دبی دریافتی از شبکه در زمان اوج مصرف، تلاش می‌شود تا پرشدن مخزن به زمان‌های غیر از اوج منتقل شود.

با توجه به توضیح‌های بالا، اندازه‌گیری سطح آب در مخزن، به عنوان یک نشانگر از شرایط ذخیره موجود لازم است تا در دستور کار قرار گیرد.

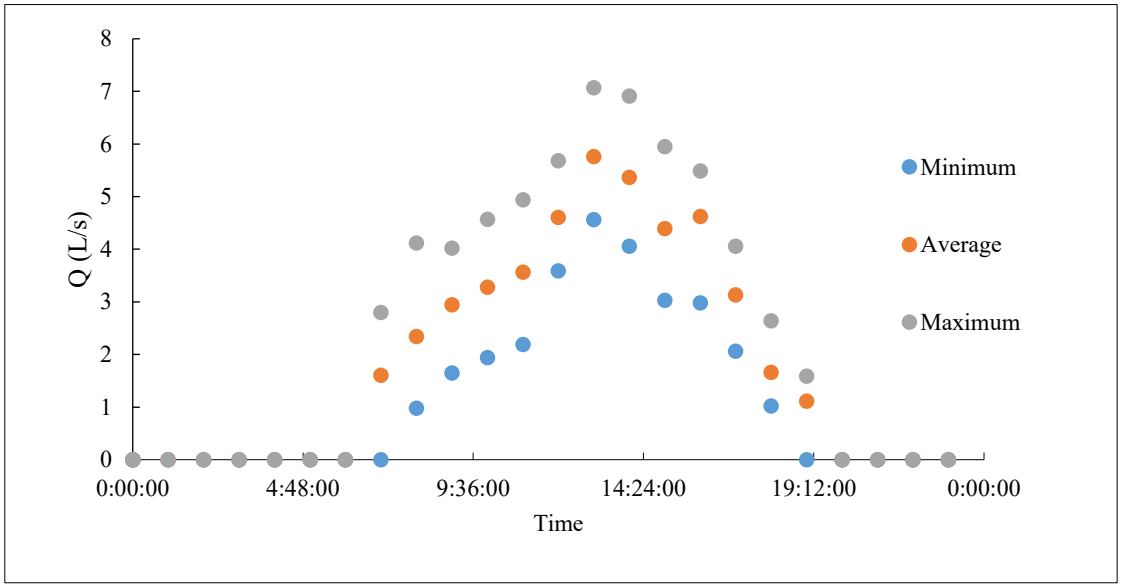

Fig. 7 A sample of daily water consumption pattern in Imam Khomeini International University

شکل ۷ نمونه‌ای از الگوی مصرف آب روزانه در مقیاس ساعتی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

۲-۳- تجهیزات اندازه‌گیری سطح آب مخزن آب

اندازه‌گیری سطح آب مخزن برای تعیین شرایط ذخیره یا مصرف آب بسیار با اهمیت است. برای این منظور اقدام به ساخت یک سطح سنج فراصوتی گردید. حسگرهای مربوطه خریداری و به میکروکنترلرهای مربوط به ذخیره داده‌های ارسال شده از حسگرهای فراصوتی متصل شد. سپس مجموعه طراحی شده در یک محفظه قرار داده شد و درون مخزن نصب شد. پس از پیدا کردن موقعیت صفر حسگرها، تغییرپذیری رقوم سطح آب در مخزن اندازه‌گیری و نمونه‌ای از آن در شکل ۸ آورده شد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که بیشترین تغییرپذیری سطح آب مخزن حدود ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد. شایان ذکر است که بدلیل وجود فلوتر درون مخزن دقت تثبیت سطح آب چندان بالا نیست و به همین دلیل در طول روز با افزایش و کاهش برداشت سطح آب در مخزن کمی تغییر می‌کند. اما به صورت کلی با توجه به عمق مفید مخزن که حدود ۲ متر می‌باشد بیشینه تغییرپذیری سطح آب در مخزن از حدود ۶ درصد فراتر نرفته است. در حال حاضرکم بودن نوسان‌های سطح آب مخزن بدین مفهوم است که میزان ورود آب شهری با میزان مصرف دانشگاه به‌صورت تقریبی برابر است. لذا، چنین نتیجه می‌شود که در زمان اوج مصرف نیز مخزن همچنان پر بوده در صورتی که هدف این است زمان پر شدن مخزن با زمان اوج مصرف از آب شهری تداخل نداشته باشد و هر چقدر زمان پر شدن مخزن به زمان‌های غیر از زمان اوج شیفت پیدا کند، مطلوب‌تر است. بدین منظور لازم است تا در زمان اوج مصرف دانشگاه، حجم آبگیری مخزن از آب شهری کاهش پیدا کند تا مخزن خالی شود.

در این قسمت از تحقیق همه تجهیزات مورد نیاز برای خوانش لحظه‌ای الگوی مصرف آب شرب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و همچنین اندازه‌گیری تغییرات سطح آب مخزن ذخیره آب خریداری و در محل نصب شدند. اندازه‌گیری‌های اولیه نشان داد که الگوی مصرف آب و همچنین تغییرپذیری‌های سطح آب مخزن، با گام زمانی ۵ دقیقه‌ای، قابل برداشت و ذخیره‌سازی می‌باشد. در ادامه با برداشت دوره زمانی از داده‌های یادشده نسبت به بررسی الگوی مصرف در روزهای مختلف هفته در طول یک ماه اقدام خواهد شد. آنگاه نسبت به تعیین دبی شیر خودکار مهار جریان متناسب با الگوی مصرف و حجم مخزن اقدام خواهد شد.

نمایی کلی از الگوی مصرف ساعتی آب در طول یک روز در شکل ۹ آورده شده است. شایان ذکر است که الگوی مصرف آب شهری بدین صورت نبوده و در طول شبانه روز چندین اوج دارد. اما در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی مطابق شکل ۹ در ساعت‌های نزدیک به ظهر، بیشترین مصرف آب وجود

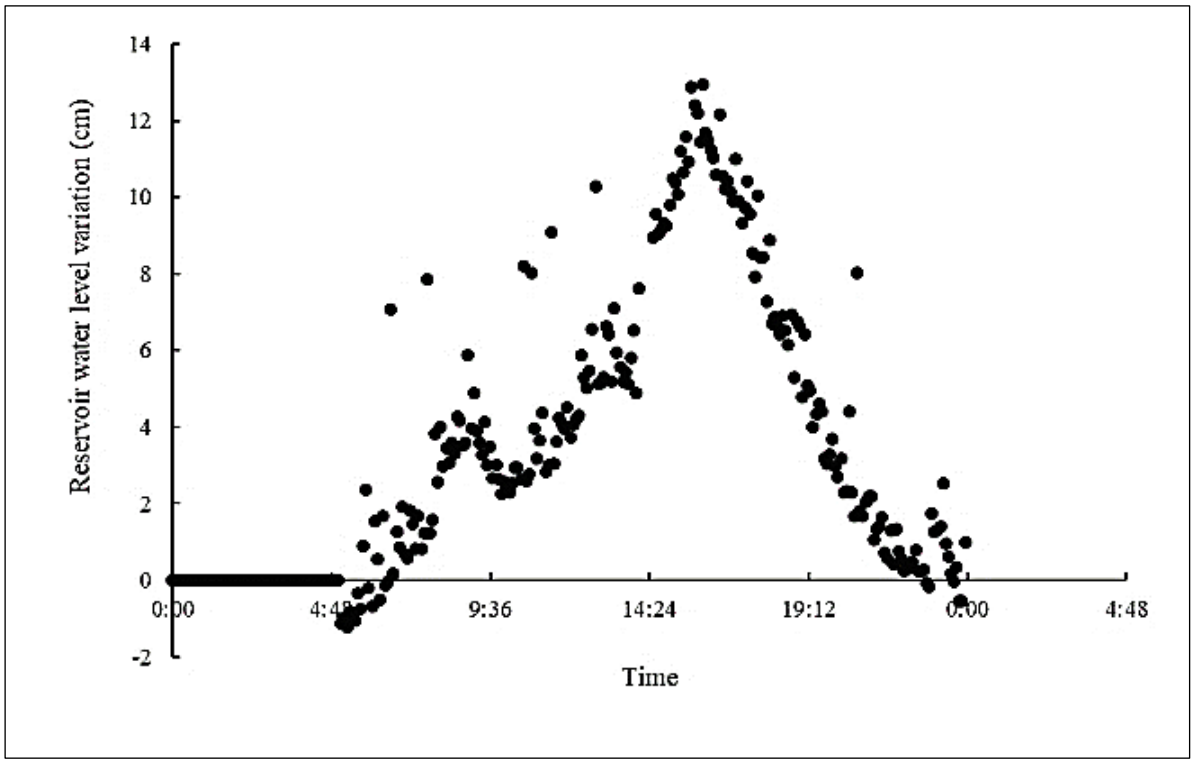

Fig. 8 Variation of the reservoir water level in terms of time

شکل ۸ تغییرپذیری‌های سطح آب مخزن ذخیره آب شرب در مقابل زمان

داشته و با تعطیلی بخش اداری و کلاس‌ها مصرف کاهش می‌یابد. در شکل ۹، $Q_{c.v}$ دبی شیر تثبیت جریان می‌باشد. پرسش اصلی اینجاست که مقدار $Q_{c.v}$ چطور باید تعیین شود. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در بخش‌های آبی رنگ، دبی مصرف شده از میزان تأمین آب از شبکه کمتر است و درنتیجه در این قسمت‌ها مخزن ذخیره آب پر می‌شود. شیر مهار جریان در بخش‌های آبی رنگ نمودار در عمل وارد مدار نخواهد شد. حال آنکه در بخش قرمز رنگ، شیر خودکار مهار جریان اجازه افزایش برداشت را نداده و بدلیل کمتر بودن ورودی از خروجی مخزن ذخیره خالی خواهد شد. با کاهش برداشت آب، فشار در محدوده نصب شیرخودکار در سطح شبکه افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر، سطح هاشور خورده حجمی از مخزن ذخیره است که در این مدت تخلیه می‌شود. لذا دبی ورودی به مخزن، $Q_{c.v}$، باید به شکلی تعیین شود که حجم بخش هاشور خورده از حجم مخزن کمتر باشد. این عدد می‌تواند معادل ۸۰ درصد حجم مخزن درنظر گرفته شود. برای این منظور لازم است مراحل زیر انجام شود:

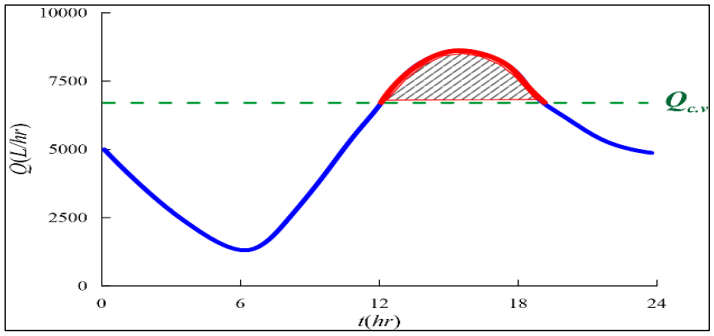

Fig. 9 Schematic view of the water consumption pattern in Imam Khomeini International University

شکل ۹ نمایی شماتیک از الگوی مصرف آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

الف) انتخاب بخشی از شبکه (یک مجتمع مسکونی) که بزرگترین مخزن نگهداشت آب نسبت به جمعیت را داشته باشد. این انتخاب کمک می‌کند تا بیشترین حجم بافر در اختیار قرار گیرد،

ب) پایش الگوی مصرف آب با اندازه‌گیری دبی پس از مخزن (به‌دست آوردن منحنی دبی-زمان)،

ج) تعیین دبی شیر خودکار مهار جریان با توجه به حجم مخزن و منحنی بخش الف،

د) وارسی قابلیت تامین $Q_{c.v}$ در خط انتقال آب اصلی (درصورت نیاز نسبت به پایش دبی در خط انتقال آب از شبکه به مخزن اقدام خواهد شد).

۲-۴- شیرخودکار مهار جریان

این پژوهش برای مدیریت بیشینه دبی برداشتی از شبکه انتقال آب از شیر خودکار مهار جریان استفاده شده است. مبانی ساخت و آزمون آزمایشگاهی شیرهای خودکار مهار جریان بر مبنای Bijankhan et al. (2025) صورت گرفته است. عملکرد شیرهای تثبیت دبی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) مورد ارزیابی قرار گرفت. منحنی‌های دبی در مقابل اختلاف فشار طراحی مربوط به شیرهای خودکار تثبیت دبی با بده طراحی ۲ و ۴ لیتر بر ثانیه در شکل ۱۰ آورده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که میانگین دبی طراحی برای هر یک از شیرها در محدوده ۲ و ۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد. شیر خودکار با دبی ۲ لیتر بر ثانیه قادر است در محدوده اختلاف فشار ۳ تا ۲۱ متر با اختلاف ۵ درصد نسبت به دبی طراحی کار کند. حال آنکه این مقدارها برای شیر تثبیت دبی ۴ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۱ تا ۲۱ متر با اختلاف ۱۵ درصد می‌باشند. هرچند که طراحی شیرها برای کارکرد تا بیشینه فشار ۴ اتمسفر بود اما بدلیل محدودیت‌های آزمایشگاهی امکان ایجاد اختلاف فشار بیشتر میسر نشد.

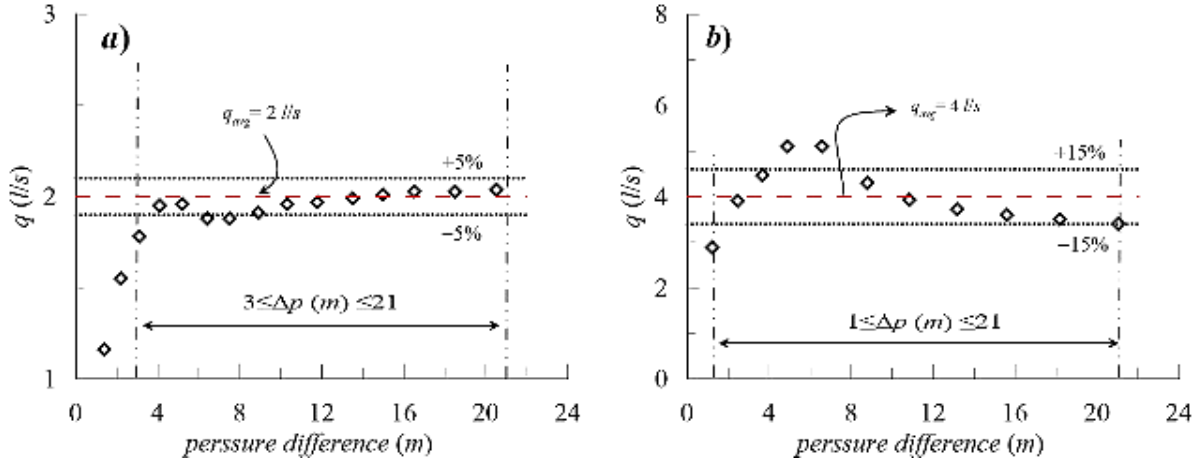

Fig. 10 Flow rate-pressure difference diagram for automatic valves a) two liters per second and b) four liters per second

شکل ۱۰ نمودار دبی-اختلاف فشار شیرهای خودکار الف) دولیتر بر ثانیه و ب) چهار لیتر بر ثانیه

۳- نتایج

۳-۱- تعیین الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

پایش دبی و برآورد الگوی مصرف آب، اولین گام در راستای تعیین مقدار دبی شیر خودکار مهار جریان می‌باشد. اعمال محدودیت در بیشینه دبی لحظه‌ای باید بگونه‌ای باشد که در میزان مصرف آب توسط مشترک تغییری ایجاد نشود. به عبارت دیگر پس از اعمال محدودیت در بیشینه دبی ورودی آب به مخزن، بدلیل بیشتر بودن مصرف، سطح آب داخل مخزن افت می‌کند. در این حالت، در مقاطع اوج مصرف مخزن شروع به خالی شدن خواهد کرد. بیشینه دبی ورودی آب به مخزن باید به گونه‌ای باشد که کسری مخزن در سایر زمان‌هایی که شبکه در اوج مصرف نیست جبران گردد. در این مرحله از انجام پژوهش الگوی مصرف

آب دانشگاه در بازه یک هفته (اول لغایت هشتم بهمن ماه ۱۴۰۲) برداشت شده است که نتایج آن در ادامه ارائه شده است. پس از نصب ابزار مورد نیاز برای پایش دبی لحظه‌ای الگوی مصرف آب در سطح دانشگاه، اطلاعات مربوط به الگوی مصرف آب با استفاده از اندازه‌گیری دبی لحظه‌ای به‌دست آمد. نتایج در شکل ۱۱ تا شکل ۱۸ برای بازه زمانی اول تا هشتم بهمن ماه ۱۴۰۲ آورده شده است.

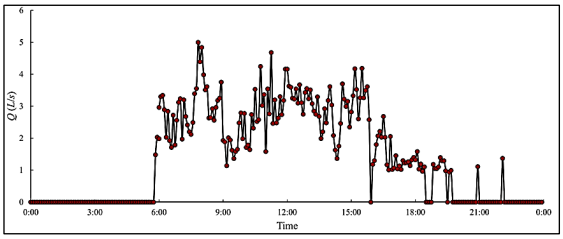

Fig. 11 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Saturday, January 21, 2024

شکل ۱۱ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، یکشنبه اول بهمن ماه ۱۴۰۲

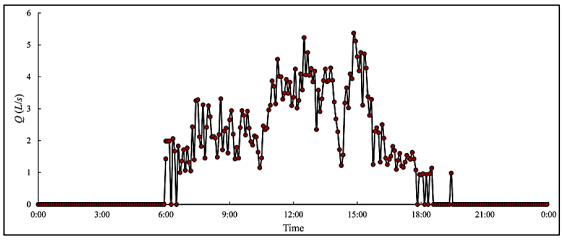

Fig. 12 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Monday, January 22, 2024

شکل ۱۲ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، دوشنبه دوم بهمن ماه ۱۴۰۲

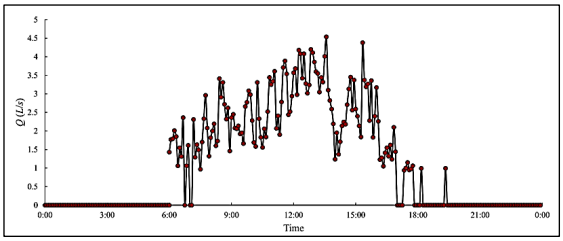

Fig. 13 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Tuesday, January 23, 2024

شکل ۱۳ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، سه شنبه سوم بهمن ماه ۱۴۰۲

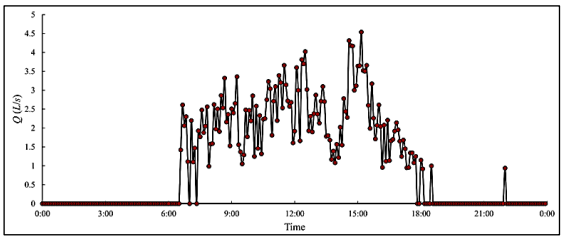

Fig. 14 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Wednesday, January 24, 2024

شکل ۱۴ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، چهارشنبه چهارم بهمن ماه ۱۴۰۲

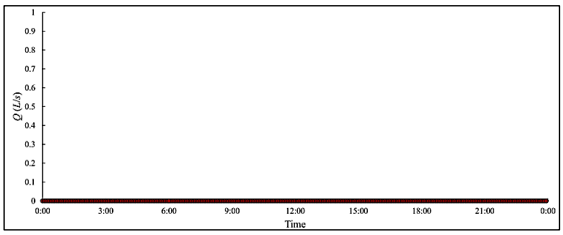

Fig. 15 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Thursday, January 25, 2024

شکل ۱۵ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، پنجشنبه پنجم بهمن ماه ۱۴۰۲

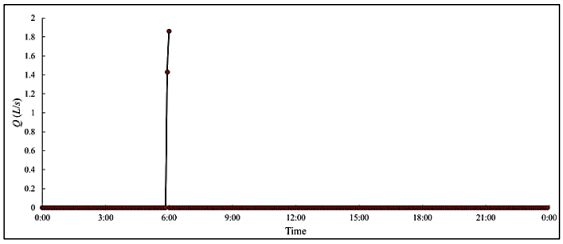

Fig. 16 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Friday, January 26, 2024

شکل ۱۶ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، جمعه ششم بهمن ماه ۱۴۰۲

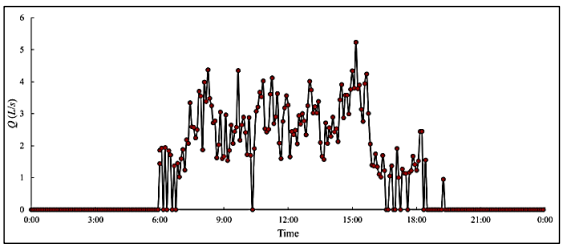

Fig. 17 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Saturday, January 27, 2024

شکل ۱۷ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، شنبه هفتم بهمن ماه ۱۴۰۲

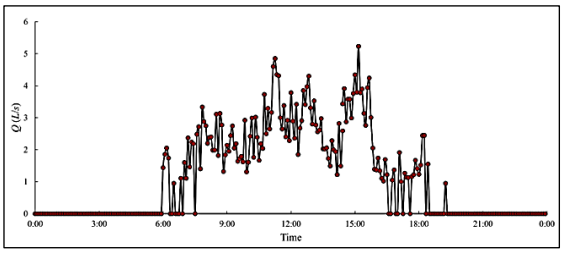

Fig. 18 Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Sunday, January 28, 2024

شکل ۱۸ الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، یکشنبه هشتم بهمن ماه ۱۴۰۲

با توجه به شکل ۱۱ تا شکل ۱۸ ملاحظه می‌شود که نوسان‌های لحظه‌ای قابل توجهی در برداشت آب از مخزن وجود دارد. این امر با توجه به تصادفی بودن ماهیت مصرف آب در سطح دانشگاه امری پذیرفتنی است. دبی لحظه‌ای در بازه‌های پنج دقیقه‌ای اندازه‌گیری شده است. شایان ذکر است که در مجموع تعداد ۲۱۱۸ داده از روز اول بهمن ماه ۱۴۰۲ ساعت ۶ تا روز هشتم بهمن ماه ۱۴۰۲ ساعت ۱۴:۲۵ برداشت شده است. همچنین، بمنظور بررسی بهتر روند الگوی مصرف آب، از داده‌های مربوط به میانگین، کمینه و بیشینه ساعتی نیز استفاده شد (جدول ۱). نتیجه در شکل ۱۹ برای روزهای مختلف داده‌برداری ارائه شده است.

در مجموع نکته‌های زیر زمینه الگوی مصرف آب به‌دست آمد:

۱. ملاحظه می‌شود که الگوی مصرف آب در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) به صورت چند قله‌ای می‌باشد. به صورت کلی می‌توان گفت که یک اوج حوالی ساعت ۸ تا ۱۰ صبح، اوج بعدی در هنگام ظهر حوالی ساعت ۱۲ و در برخی روزهای نیز یک اوج پس از ناهار و حوالی ساعت ۱۵ رخ داده است،

۲. بیشترین دبی لحظه‌ای معادل ۵/۳۷ لیتر بر ثانیه و در روز دوشنبه دوم بهمن ماه ۱۴۰۲ بوده است، بیشترین دبی میانگین ساعتی معادل ۳/۹۹ لیتر ثانیه بوده که مربوط به روز دوشنبه دوم بهمن ماه ۱۴۰۲ می‌باشد. شایان ذکر است که روز دوشنبه شلوغ‌ترین زمان کاری دانشگاه بدلیل تاکید مقامات دانشگاه برای حضور تمام اعضای هیات علمی و اکثریت دانشجویان می‌باشد.

۳. روزهای پنجشنبه و جمعه بدلیل تعطیل بودن دانشگاه درعمل مصرفی وجود نداشته است.

حجم آب مصرفی روزانه در بازه زمانی یکشنبه اول بهمن تا شنبه هفتم بهمن ماه ۱۴۰۲ در **شکل ۲۰** رسم شده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین حجم آب مصرفی مربوط به روز یکشنبه با ۱۲۱/۳۶ متر مکعب می‌باشد. کمترین حجم آب مصرفی نیز در روز چهارشنبه با ۹۱/۸۴ متر مکعب می‌باشد. در مجموع در این بازه زمانی کل حجم آب مصرف شده در سطح دانشگاه معادل ۵۳۲/۹۹ مترمکعب می‌باشد. شایان ذکر است که این حجم آب از کل آب ذخیره شده در مخزن دانشگاه (حدود ۶۰۰ متر مکعب) کمتر است. به عبارت دیگر مخزن تعبیه شده در دانشگاه قادر است در هفته اول بهمن ماه آب هفت روز دانشگاه را تامین کند. این امر خود نشان می‌دهد که حجم مخزن نسبت به مصرف آب بسیار بزرگتر می‌باشد فلذا ایده نصب شیر خودکار مهار جریان برای مدیریت بیشینه دبی ورودی به مخزن از انشعاب آب شهری می‌تواند بدون ایجاد خللی در نحوه و الگوی مصرف آب در سطح دانشگاه، نسبت به افزایش فشار در سطح شبکه انتقال آب شهری موثر باشد. به عبارت دیگر می‌توان با کاهش دبی ورودی به مخزن آب دانشگاه به افزایش فشار در سطح شبکه انتقال آب شهری دست یافت.

شایان ذکر است که برای تامین آب فضای سبز از دو استخر روباز استفاده می‌شود و مخزن مورد بررسی در این تحقیق صرفاً برای تامین آب شرب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) بکار می‌رود. به صورت کلی لازم است برای دبی طراحی شیر خودکار مهار جریان برای بیشینه برداشت روزانه در طول سال لحاظ شود. از آنجاییکه در تابستان کلاس‌های آموزشی دانشگاه تعطیل است، لزوماً بیشینه مصرف در گرمترین فصل سال رقم نخواهد خورد. لذا بهترین گزینه پایش سالانه آب مصرفی و سپس در نظر گرفتن مقدار دبی شیر خودکار مهار جریان با توجه به مصارف روزانه در طول یکسال می‌باشد.

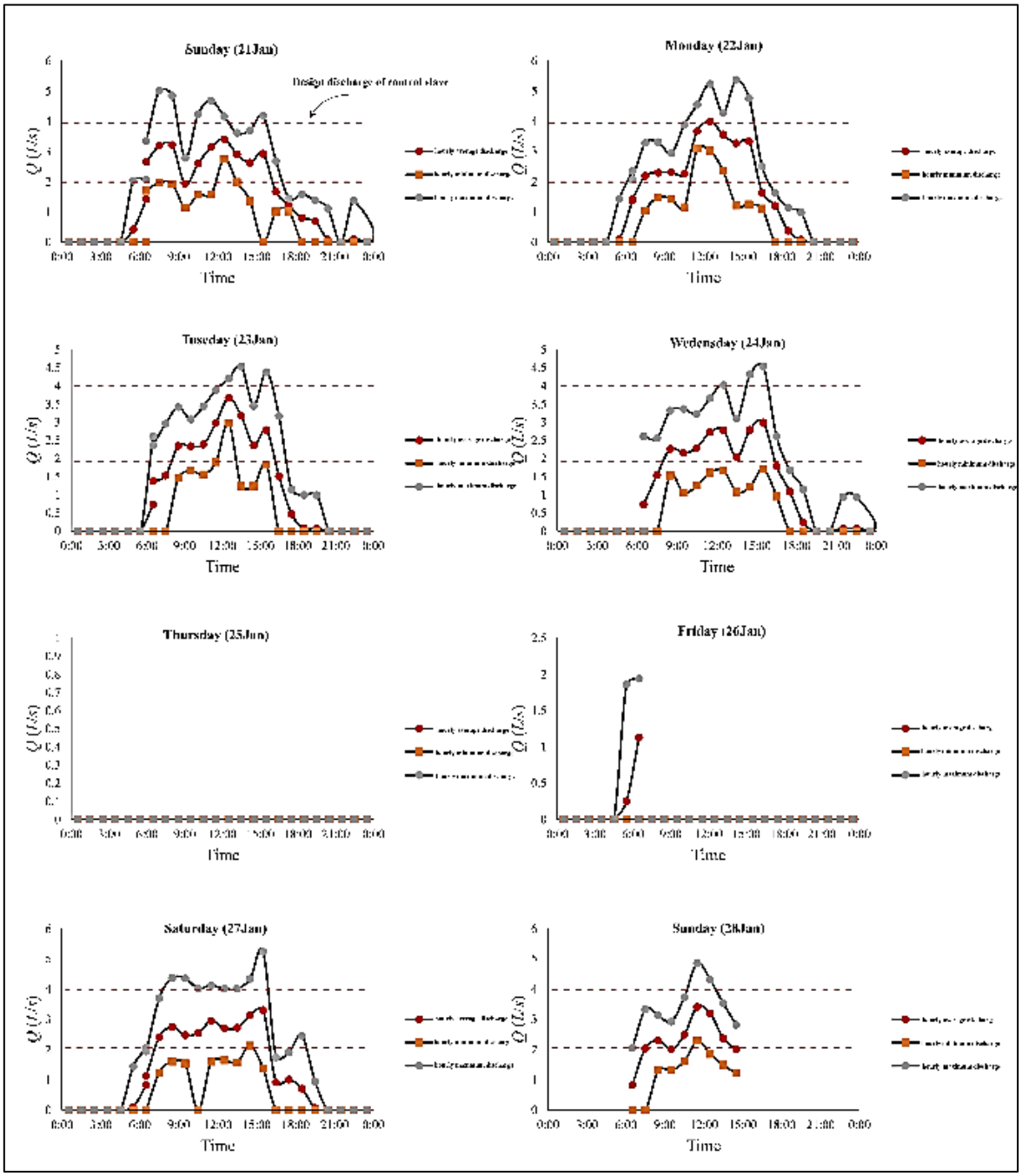

Fig. 19 Average, minimum and maximum hourly values of the water consumption pattern of Imam Khomeini International University, for the 21 to the 28 days of January 2024

شکل ۱۹ مقدارهای میانگین، کمینه و بیشنیه ساعتی الگوی مصرف آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، مربوط به روزهای اول تا هشتم بهمن ماه ۱۴۰۲

هرچند که با توجه به محدودیت زمانی، ملاک بررسی و ارزیابی روش پیشنهادی برای مدیریت بیشینه دبی روزانه معطوف به بازه داده‌برداری در طول یک هفته می‌باشد. در مرحله بعدی نسبت به تعیین دبی شیر خودکار مهار جریان بر اساس داده‌های به‌دست آمده اقدام خواهد شد. سپس نصب شیر در محل ورودی آب شهری به مخزن ذخیره آب دانشگاه در دستور کار قرار خواهد گرفت و در نهایت با پایش نحوه عملکرد شیر خودکار مهار جریان نسبت به ارزیابی میزان افزایش فشار در شبکه انتقال آب شهری در محدوده مخزن آب دانشگاه اقدام خواهد شد.

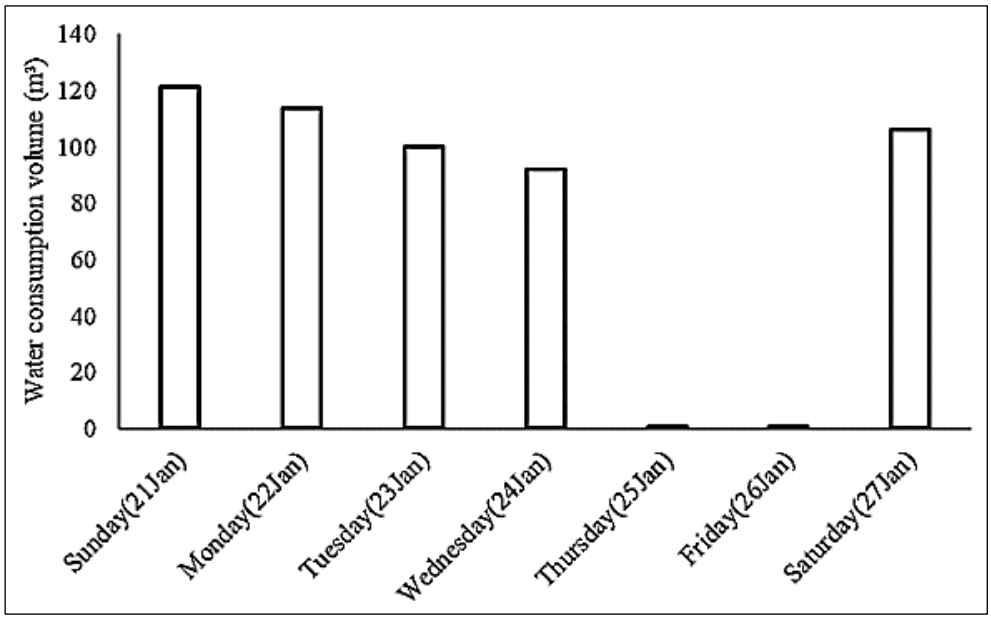

Fig. 20 Daily water consumption volume in the period from Sunday, January 21 to Saturday, January 27, 2024

شکل ۲۰ حجم آب مصرفی روزانه در بازه زمانی یکشنبه اول بهمن تا شنبه هفتم بهمن ماه۱۴۰۲

۳-۲- نتایج میدانی نصب شیرهای خودکار

یادآوری می‌شود که هدف از طرح حاضر نصب شیرهای خودکار تثبیت دبی برای کاهش برداشت آب در زمان‌های اوج و جبران کسری مخزن در زمان‌های غیر اوج مصرف می‌باشد. در این زمینه مقیاس زمانی برای جبران کسری مخزن بسیار مهم است. به عنوان مثال می‌توان شرایطی را درنظر گرفت که کسری مخزن به صورت روزانه یا هفتگی جبران شود. جبران کسری مخزن به صورت روزانه برای مجتمع‌های مسکونی و جبران کسری مخزن به صورت هفتگی برای ادارات بزرگ دولتی و دانشگاه‌ها قابل طرح خواهد بود. به عبارت دیگر به دلیل تعطیل بودن ادارات دولتی در پنجشنبه و جمعه می‌توان جبران کسری مخزن‌های را در صورت امکان به روزهای تعطیل منتقل کرد. حال آنکه در مصارف شهری و در مناطق مسکونی این امر میسر نیست و لازم است هرگونه کسری مخزن در طول شب جبران گردد.

دو شیر خودکار با دبی‌های ۲ و ۴ لیتر بر ثانیه روی لوله آب شهری ورودی به مخزن آب شرب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) نصب شدند. شایان ذکر است که تمام این موارد برای روز یکشنبه ۱۳ اسفند ۱۴۰۲، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. تغییرپذیری سطح آب در مخزن (کسری مخزن) در حالت‌های مختلف در مقابل زمان در شکل ۲۱ رسم شده است. با مقایسه دو حالت نصب شیر خودکار با دبی طراحی ۴ لیتر بر ثانیه (دایره آبی) و زمانیکه شیر خودکار نصب نشده باشد (ضربدر نارنجی) مشاهده می‌شود که به صورت کلی کسری مخزن در حالت نصب شیر خودکار مقدارهای بیشتری نسبت به زمانیکه هیچ مدیریتی در آب ورودی مخزن نیست دارد. از طرفی کسری مخزن تا حدود ساعت ۱۵ مرتب افزایش یافته و پس از آن بدلیل کمتر شدن مصرف نسبت به دبی ورودی کسری مخزن کاهش می‌یابد تا جاییکه در هر دو حالت کسری مخزن تقریباً به صفر می‌رسد. تغییرپذیری کسری مخزن با زمان برای زمانیکه شیر خودکار با دبی طراحی ۲ لیتر بر ثانیه نصب شده است نیز در شکل ۲۱ آورده شده است. این تغییرپذیری کسری مخزن مربوط به روز دوشنبه ۱۴ اسفند ۱۴۰۲ می‌باشد. کسری مخزن ساعت ۱۲ شب حدود ۳۰ سانتی‌متر بوده است. در طول شب این مقدار به ۲۰ سانتی‌متر رسیده است و از حدود ساعت ۶ صبح کسری مخزن شروع به افزایش کرده است. بیشترین کسری مخزن حدوداً ساعت ۱۵ رخ داده است و از آن پس بدلیل کمتر شدن مصرف آب مخزن شروع به پر شدن کرده است و ساعت ۱۲ شب کسری مخزن به حدود ۴۰ سانتی‌متر رسیده است. به عبارت دیگر کسری مخزن

در طول یک روز استفاده از حدود ۳۰ سانتی‌متر به حدود ۴۰ سانتی‌متر رسیده است و مخزن ۱۰ سانتی‌متر بیشتر خالی شده است. نمودار کامل تغییرپذیری‌های سطح مخزن (کسری مخزن) در طول یک هفته در شکل ۲۲ آورده شده است.

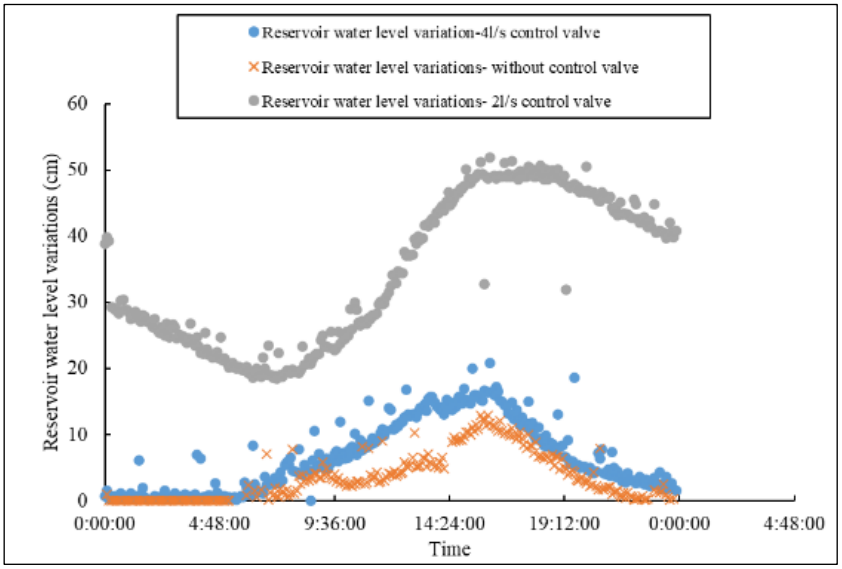

Fig. 21 Reservoir water level changes versus time for Monday, March 4, 2024

شکل ۲۱ تغییرپذیری سطح آب مخزن در مقابل زمان برای روز دوشنبه ۱۴ اسفند ۱۴۰۲

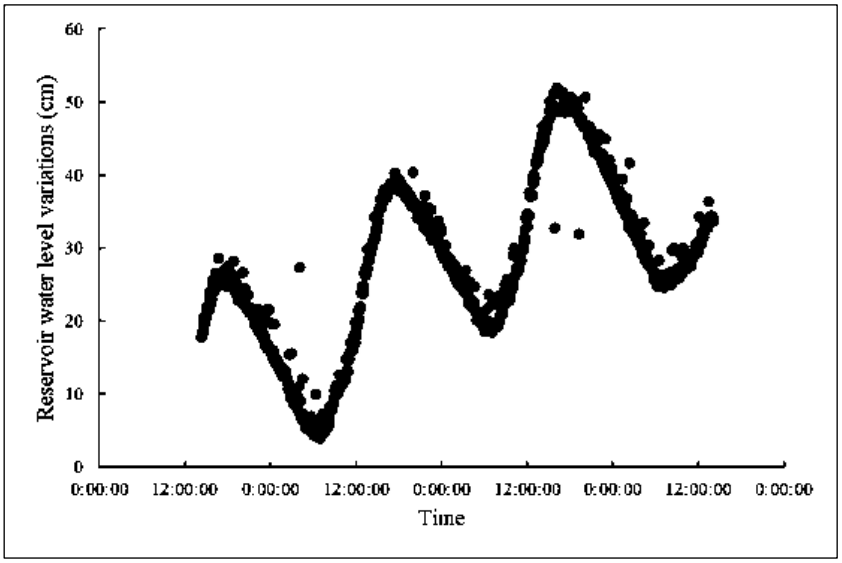

Fig. 22 Changes in water level in the reservoir (tank fraction) over time with an automatic valve stabilizing the flow rate of 2 liters per second

شکل ۲۲ تغییرپذیری سطح آب در مخزن (کسری مخزن) نسبت به زمان برای شیر خودکار مهار جریان۲ لیتر بر ثانیه

با توجه به شکل ۲۲ ملاحظه می‌شود که شیر خودکار مهار جریان روز یکشنبه ۱۳ اسفند ۱۴۰۲، ساعت حدود ۱۲ ظهر نصب و تا روز چهارشنبه ۱۶ اسفندماه ۱۴۰۲ در مدار قرار گرفته است. ملاحظه می‌شود که کسری مخزن در طول هفته پیوسته افزایش یافته است. تا در نهایت به حدود ۳۵ سانتی‌متر معادل ۱۵۰ هزار لیتر رسیده است. درعمل از چهارشنبه عصر تا شنبه صبح زمان تعطیلی دانشگاه است که مصرف آب در کمترین مقدار خود است و زمان کافی برای پر شدن مخزن وجود دارد. تنها در روز جمعه با درنظر گرفتن دبی ورودی به مخزن معادل ۲ لیتر بر ثانیه می‌توان حدود

۱۶۴ هزار لیتر آب برای ورودی بـه مخزن در نظر گرفـت و درنتیجه کل کسری مخزن قابل جبران خواهد بود.

با اندازه‌گیری دبی و فشـــار روی خط لوله آب شـــهری نتایج بســیار قابل توجهی حاصــل شــد که نتایج آن در جدول ۱ و شـــکل ۲۳ آورده شـــده اســـت. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌شـود که شـیر خودکار تثبت دبی توانسـته اسـت با دقت بسـیار مطلوبی دبی ورودی را در محدوده‌ای بسـیار نزدیک به دبی طراحی حفظ کند. همچنین فشـار اندازه‌گیری شـده روی خط اصلی لوله شهری در محدوده ۷ متر بوده است.

جدول ۱ مقدارهای فشار و دبی ورودی به مخزن برای شیر خودکار با دبی ۲ لیتر بر ثانیه (دوشنبه ۱۴ اسفندماه ۱۴۰۲)

Table 1 Pressure and flow rates into the tank for an automatic valve with a flow rate of 2 liters per second (Monday, March 4, 2024)

Measurement Time	Discharge (L/s)	Pressure (m)
11:55	1.96	7.1
13:00	1.93	7
13:55	1.92	7.2
14:50	1.84	7.3

فشار آب روی خط لوله آب شهری در حالت‌های مختلف بدون مدیریت، مدیریت روزانه (دبی چهار لیتر بر ثانیه) و مدیریت هفتگی (دبی دو لیتر بر ثانیه) اندازه‌گیری شد. با توجه به شکل ۲۳ ملاحظه می‌شود که در حالتیکه هیچ مدیریتی روی مقدار آب ورودی به مخزن نباشد فشار در محل ورود آب به مخزن دانشگاه حدود صفر بوده است و به عبارت دیگر آب با بیشترین دبی و کمترین فشار وارد مخزن شده است. با اعمال مدیریت روزانه و مدیریت هفتگی به صورت حدودی فشار روی خط لوله آب شهری به ۳/۶ و ۷ متر افزایش یافته است. این افزایش فشار در شبکه بدون ایجاد کوچکترین نقصانی در میزان مصرف آب در دانشگاه حاصل شده است. تنها با اعمال مدیریت مصرف و پر کردن مخزن آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) در زمان‌های غیر اوج امکان افزایش فشار آب در خط لوله شهری به شکل قابل توجهی میسر شده است. شایان ذکر است که در زمینه مدیریت فشار در شبکه به هر دو پارامتر فشار بیشینه و کمینه باید توجه شود. فشار بالا باعث تشدید نشت و در نتیجه تحمیل خسارت به شبکه می شود و فشار پایین اعتراضات مشتریکن شبکه و بروز تنش های اجتماعی را در پی دارد. مدیریت میزان مصرف مشترکان پرمصرف با استفاده از شیرهای خودکار مهار جریان می‌تواند منجر به افزایش فشار شبکه در زمان اوج مصرف گردد.

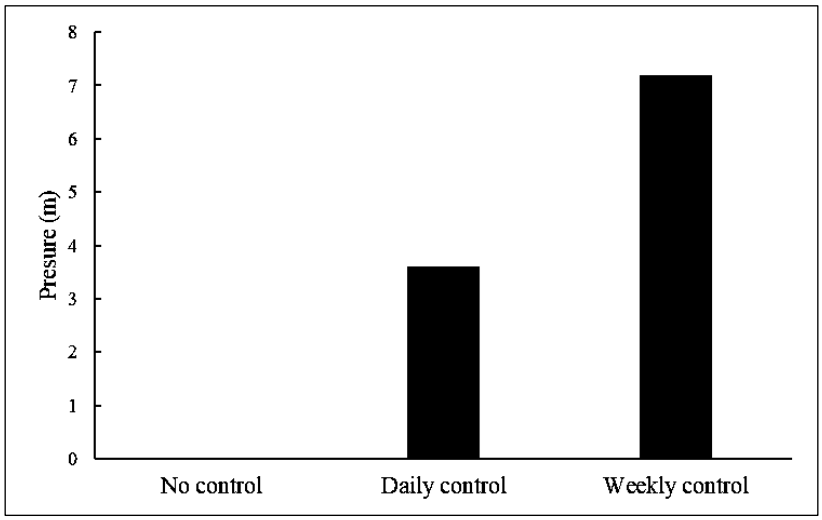

Fig. 23 Network pressure in different modes: no control, daily control (flow rate of four liters per second), and weekly control (flow rate of two liters per second)

شکل ۲۳ فشار شبکه در حالت‌های مختلف بدون مدیریت، مدیریت روزانه (دبی چهار لیتر بر ثانیه) و مدیریت (دبی دو لیتر بر ثانیه)

۴- نتیجه‌گیری

بنابر بررسی‌های انجام شده دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) بهترین گزینه، هم به لحاظ اجرایی و هم به لحاظ فنی، برای پایش الگوی مصرف و نصب شیر خودکار مهار جریان

شناخته شد. انتظار می‌رود که نتایج مربوط به این نمونه قابل تعمیم به دیگر مشترکان پرمصرف با لحاظ کردن الگوی مصرف مربوطه باشد. با استفاده از داده‌های ثبت شده بیشترین مصرف دبی میانگین ساعتی معادل ۳/۹۹ لیتر ثانیه محاسبه شد. بدین منظور شیر خودکار تثبیت دبی، با دبی طراحی ۴ و ۲ لیتر بر ثانیه برای انجام پژوهش انتخاب شد. ملاحظه شد که میانگین دبی طراحی برای هر یک از شیرها در محدوده ۲ و ۴ لیتر بر ثانیه می‌باشد. شیر خودکار با دبی ۲ لیتر بر ثانیه می‌تواند در محدوده اختلاف فشار ۳ تا ۲۱ متر با اختلاف ۵ درصد نسبت به دبی طراحی کار کند. حال آنکه این مقدارها برای شیر تثبیت دبی ۴ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۱ تا ۲۱ متر با اختلاف ۱۵ درصد می‌باشند. شیر خودکار مهار جریان انتخاب شده روز یکشنبه ۱۳ اسفند ۱۴۰۲، ساعت حدود ۱۲ ظهر نصب و تا روز چهارشنبه ۱۶ اسفندماه ۱۴۰۲ در مدار قرار گرفته است. ملاحظه شد که کسری مخزن در طول هفته پیوسته افزایش یافته تا در نهایت به حدود ۳۵ سانتی‌متر معادل ۱۵۰ هزار لیتر رسیده است. درعمل از چهارشنبه عصر تا شنبه صبح زمان تعطیلی دانشگاه است که مصرف آب در کمترین مقدار خود است و زمان کافی برای پر شدن مخزن وجود دارد. تنها در روز جمعه با درنظر گرفتن دبی ورودی به مخزن معادل ۲ لیتر بر ثانیه می‌توان حدود ۱۶۴ هزار لیتر آب برای ورودی به مخزن در نظر گرفت و درنتیجه کل کسری مخزن قابل جبران خواهد بود و در نتیجه هدف از نصب شیرهای خودکار تثبیت دبی برای کاهش مصرف آب در زمان‌های اوج و جبران کسری مخزن در زمان‌های غیر اوج مصرف حاصل شد. همچنین مشاهد شد که فشار در محل ورود آب به مخزن دانشگاه حدود صفر بوده است و به عبارت دیگر آب با بیشترین دبی و کمترین فشار وارد مخزن شده است. با اعمال مدیریت روزانه و مدیریت هفتگی به صورت حدودی فشار روی خط لوله آب شهری به ۳/۶ و ۷ متر افزایش یافته است. در نتیجه تنها با اعمال مدیریت مصرف و پر کردن مخزن آب دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) در زمان‌های غیر اوج امکان افزایش فشار آب در خط لوله شهری به شکل قابل توجهی فراهم شده است.

۵- فهرست علائم

Q	دبی شیر خودکار مهار جریان (m^3s^{-1})
T	زمان (s)
	زیرنویس‌ها:
cv	شیرخودکار مهار جریان
Ave	مقدار میانگین

۶- تقدیر و سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF)، برگرفته شده از طرح شماره "۴۰۲۰۸۲۹" انجام شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

حمایت های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی شماره پژوهانه ۴۰۲۰۸۲۹ صورت گرفته است. بدینوسیله از حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) تقدیر می‌شود.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: نگارش مقاله، بررسی نتایج، تجزیه و تحلیل داده‌ها.

نویسنده دوم: تجزیه و تحلیل داده‌ها.

نویسنده سوم: نگارش مقاله، تجزیه و تحلیل داده‌ها.

نویسنده چهارم: بررسی نتایج.

۷- منبع‌ها

Atashparvar, S., Bijankhan, M. & Mahdavi Mazdeh, A. (2019). Application of constant flow rate control valve in pump discharge regulation. *Journal of*

Reduction for Distribution Networks under Operation. *Journal of Water and Wastewater*, *29*(5), 112-119. (In Persian)

Jun, S. & Kwon, H.J. (2019). The Optimum Monitoring Location of Pressure in Water Distribution System. *Water*, *11*(2), 307. https:// doi.org/10.3390/w11020307.

Liu, M., Zhang, X. & Wang, D. (2021). Experimental Study on the Flow Characteristics of a Plate with a Mechanically Choked Orifice. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, *17*(1), 97-107.

Mehri, N. & Bijankhan, M. (2019). Experimental Estimation of Head Loss Coefficient and Performance of Discharge Control Valve. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(8), 2001-2007. (In Persian)

Rezazadeh, P., Bijankhan, M. & Mahdavi Mazdeh, A. (2019). An Experimental study on a flow control device applicable in pressurized networks. *Flow Measurement and Instrumentation*, *68*, August 2019, 101533, https://doi.org/10.1016/j. flowmeasinst.2019.01.017.

Tayebi, F., Bijankhan, M. & Ramezani Etedali, H. (2021). Field investigation on the Application of an Automatic Discharge Control Valve on Water Uniformity in a Tape Irrigation System. Iranian *Journal of Soil and Water Research*, *51*(12), 3033-3043. (In Persian)

Thornton, J. & Lambert, A. (2006). Managing pressure to reduce new breaks. *Water*, 21, *8*(6), 24-26.

Zhang, X.K. & Wang, D. (2015). A flow control device for incompressible fluids. *Flow Measurement and Instrumentation*, *41*, March 2015, 165-173.

Irrigation and Drainage Engineering, *145*(7), https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.00 01393.

Bijankhan, M., Zakoaei, A.A., Tayyebi, F., Ramezani Etedali, H., Fakouri, S., Nazari, S. & Mahdavi Mazdeh, A. (2025). Field application of the inline gated pipe equipped with constant flow control valve, case study: Qazvin, Iran. *Flow Measurement and Instrumentation*, *107*, January 2026, 103036. https://doi.org/10.1016/j. flowmeasinst.2025.103036.

Cao, H., Hopfgarten, S., Ostfeld, A., Salomons, E. & Li, P. 2019. Simultaneous Sensor Placement and Pressure Reducing Valve Localization for Pressure Control of Water Distribution Systems. *Water*, *11*(7), 1352. https://doi.org/10.3390/w11071352.

Falahi, G. & Salehzadeh, M. (2018). Pressure Management in Water Distribution Networks using Geographic Information System and Spatial Open Source Database (Case Study: Golestan Town of Shiraz). *Journal of Water and Sustainable Development*, *4*(2), 151-158. (In Persian)

Fallah Morsali, M., Ramezani Etedali, H., Bijankhan, M. & Mahdavi Mazdeh, A. (2023). Evaluating the Application of Automatic Flow Control Valves to Increase the Water Uniformity Distribution in the Drip Irrigation System in Sloping Lands and Modeling by EPANET Software (Case Study: Barajin Park, Qazvin). *Irrigation Sciences and Engineering*, *46*(2), 59-73. (In Persian)

Ferreira, J., Martins, N. & Covas, D. (2018). Ball Valve Behavior under Steady and Unsteady Conditions. *Journal of Hydraulic Engineering*, *144*(4), 04018005. https://doi.org/10.1061 /(ASCE)HY.1943-7900.0001434.

Jalili Ghazizade, M.R. & Shahrouzi, SH. (2018). Effect of Household Water Tanks on Leakage

© 2026 The Author(s). Published by Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.