

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

Mohammad Bijankhan<sup>1\*</sup>, Ali Fazli<sup>2</sup>, Sara Fakouri<sup>3</sup>, Hadi Ramezani Etedali<sup>3</sup>

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](mailto:bijankhan@eng.ikiu.ac.ir)

### Abstract

**Introduction:** The growing scarcity of freshwater resources—driven by population growth and rising demand—has intensified the need for rigorous analysis and optimization of urban water distribution networks (WDNs). Flow control valves play a pivotal role in ensuring equitable water distribution across such networks. Atashparvar et al. (2019) designed and experimentally evaluated flow control valves with nominal flow rates of 5 and 10 L/s. Using dimensional analysis, they investigated the flow behavior through a cylindrical orifice and found that the actual discharge consistently fell below the design flow rate, highlighting the influence of hydraulic losses and geometric constraints.

Water extraction patterns at consumer endpoints significantly affect network performance. In residential complexes, rapid bulk withdrawal—typically for filling elevated or ground-level storage tanks—often results in transient, high-intensity demand surges. These surges induce substantial pressure drops elsewhere in the network, particularly during peak usage periods. Building upon prior research, the primary innovation of this study lies in the implementation of an automatic flow-stabilizing valve, adapted from the design principles of Bijankhan et al. (2025), to regulate maximum inflow at high-demand nodes. Critically, this approach aims to enhance upstream network pressure without altering end-user consumption behavior—achieved through the strategic sizing and deployment 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 first validated in the hydraulic laboratory at IKIU. Prototype automatic flow-stabilizing valves were fabricated with nominal capacities of 2 and 4 L/s, respectively. These were subsequently installed on the municipal supply line feeding the university's potable water reservoir.

All comparative analyses were conducted using operational data recorded on Sunday, 3 March 2024. Under uncontrolled inflow (baseline scenario), reservoir levels remained relatively stable. In contrast, with the 4 L/s automatic valve in operation (indicated by the blue circle in time-series plots), a progressive deficit emerged—peaking at ~3:00 PM due to sustained high demand—and reached a maximum drawdown of 40 cm by midnight, representing a 10 cm increase (from 30 cm to 40 cm) over 24 hours. The valve was activated at 12:00 PM on 3 March 2024 and remained operational until 6 March 2024. Over this 3.5-day period, the cumulative reservoir deficit stabilized at ~35 cm, equivalent to a volume loss of approximately 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.

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

محمد بی جن خان<sup>۱\*</sup>، علی فضلی<sup>۲</sup>، سارا فکوری<sup>۳</sup>، هادی رضانی اعتدالی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
- ۲- 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](mailto:bijankhan@eng.ikiu.ac.ir)

**چکیده:** مجتمع‌های مسکونی بزرگ معمولاً با استفاده از مخازن ذخیره مقدار زیادی از آب را در مدت زمان بسیار کوتاهی مصرف می‌کنند. این عمل منجر به افت فشار شدید در سایر نقاط شبکه، خصوصاً در زمان پیک مصرف، می‌شود. شیرهای تثبیت دبی اگر به صورت درست طراحی و انتخاب شوند می‌توانند در زمان پیک مصرف برای تعدیل توزیع آب در سطح شبکه بسیار کارآمد باشند. در این مقاله 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 تثبیت دبی 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 مراحل بعدی پژوهش اقدام به نصب آنها روی لوله آب شهری شد و عملکرد میدانی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کسری مخزن در طول هفته مدام افزایش یافته و در نهایت به حدود ۱۵۰ هزار لیتر رسید. تنها در روز جمعه با در نظر گرفتن دبی ورودی به مخزن معادل ۲ لیتر بر ثانیه می‌توان حدود ۱۶۴ هزار لیتر آب برای ورودی به مخزن در نظر گرفت و در نتیجه کل کسری مخزن قابل جبران خواهد بود. از طرفی با بررسی فشار آب روی خط لوله آب شهری ملاحظه شد در حالتیکه هیچ کنترلی 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 کنترل روزانه و کنترل هفتگی به صورت حدودی فشار روی خط لوله آب شهری به  $3/6$  و ۷ متر افزایش یافت.

**کلیدواژه‌ها:** شیر خودکار کنترل دبی، آب شهری، تغییرات فشار، تغییرات دبی.

## ۱- مقدمه

پژوهش‌ها نشان داده است که بزرگی و وقوع نشت، با کاهش و ثبات فشار در سامانه توزیع کاهش پیدا می‌کند (Thornton and Lambert, 2006). تنظیم و کنترل 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 نمود (Falahi and Salhzadh, 2018). (Shahrozi and Ghazizadh, 2018) در پژوهش خود برای مدیریت فشار و جلوگیری از نشت در شبکه‌های توزیع آبرسانی شهری به بررسی استفاده از مخازن داخلی برای شبکه‌های در حال بهره برداری پرداختند. نتایج آنها نشان

کمبود منابع آب شیرین و افزایش جمعیت و به طبع آن افزایش تقاضا باعث شده است تا به بررسی دقیق‌تر شبکه‌های آبرسانی شهری پرداخته شود. در حال حاضر شبکه‌های توزیع آب بر اساس حداکثر مصرف ساعتی طراحی می‌شوند لذا تغییرات زمانی مصرف آب در ساعات مختلف سبب نوسان فشار و افزایش نشت در این شبکه‌ها می‌شود. از این رو کنترل فشار در شبکه که افزایش آن در خطوط انتقال یکی از دلایل اصلی نشت و افزایش مصرف است، حائز اهمیت می‌باشد.

اختلاف ارتفاع اتفاق می‌افتد. در تحقیق‌های انجام شده تاکنون محققان سعی کردند با روش‌های مختلفی فشار ورودی به یک سامانه را در قسمت‌های مختلف آن کنترل کنند. یکی از راه‌حل‌ها شیرهای فشار شکن هستند که با نام‌های شیر توپی (ball valve)، پروانه‌ای (butterfly)، کره‌ای (globe) و شیرهای سوزنی (needle valves) به عنوان ابزارهای کنترل جریان در لوله‌های تحت فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند. (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 علاوه بر شرایط فیزیکی آن، مانند میزان بازشدگی، به شدت وابسته به رژیم جریان است. بر این اساس، آنها رفتار هیدرولیکی شیرهای توپی را به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم کردند. ژو و همکاران ژانگ و وانگ Zhang and Wang (2015)، برای اولین بار اصول بنیادی طراحی نوعی شیر کنترل دبی (شکل ۱) را ارائه دادند. شیر پیشنهادی، از دو نگهدارنده در ورودی و خروجی، فنر، دوک، میله 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 کنترل دبی شروع به کار می‌کند.

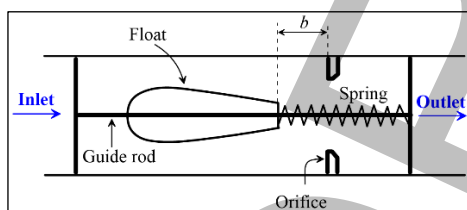


Fig. 1 Schematic view of control valve and its components

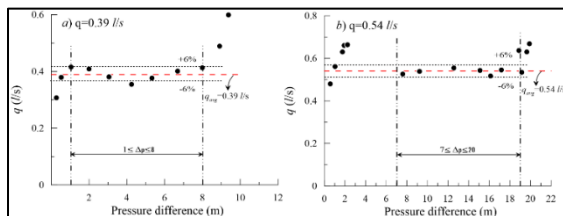
شکل ۱ نمایی از شیر کنترل دبی و اجزای تشکیل دهنده آن

روش طراحی آنها تنها برای شیر کنترل با دبی ۰/۴ لیتر بر ثانیه و اختلاف فشار ۶ تا ۷۰ کیلوپاسکال قابل استفاده است. Liu et al. (2021) به بررسی آزمایشگاهی مشخصات جریان عبوری از شیر کنترل طراحی شده پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد عدد رینولدز، ضخامت صفحه روزنه، دوک و خروج از مرکز تاثیر آشکاری بر ضریب جریان عبوری از روزنه دارند. افت فشار در MCOP عمدتاً در نزدیکی روزنه ایجاد می‌شود و فشار بالادست روزنه در جهت جریان

داد با قرار گیری مخازن بر روی پشت بام و پارکینگ حداقل میزان کاهش نشت به ترتیب ۳۱ و ۶۷ درصد محاسبه می‌شود. (Cao et al., 2019) جانمایی همزمان سنسورهای فشار و شیرهای فشارشکن به منظور کنترل فشار در شبکه‌های توزیع آب شرب را بررسی نمودند. در این تحقیق فرآیندی برپایه روش K-mean++ برای تعیین هم زمان تعداد و موقعیت سنسورهای فشار و شیرهای فشارشکن به کار برده شد. نتایج روش ارائه شده نشان داد سنسورهای 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 نقاط بهینه پایش فشار در شبکه توزیع آب پرداختند. با استفاده از روش آنالیز حساسیت تغییر فشار در یک گره ناشی از تغییر دبی در گره‌های دیگر و همچنین به کمک روش آنالیز سهم فشار، مجموع سهم فشار یک گره ناشی از تغییر دبی در گره دیگر محاسبه گردید. سپس با قرار دادن نشت در نقطه‌های معین، نتایج به دست آمده از تغییرات فشار پایش شده با این روش، با روش جریان‌های غیرماندگار مقایسه شد که نتایج قابل قبول بود.

با توجه به سابقه مطالعات عمده تحقیقات صورت گرفته، عمدتاً هدف کنترل فشار در شبکه انتقال آب شهری معطوف به کنترل پدیده نشت بوده است. با توجه به جستجوهای صورت گرفته در سابقه مطالعات، پژوهشی که منحصراً نسبت به توزیع یکنواخت فشار با اعمال محدودیت در نقاط پرمصرف باشد یافت نشد. شایان ذکر است که نقاط پرمصرف می‌توانند باعث افت قابل توجه فشار برای مشترکین مجاور در زمان‌های پیک 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 مشترکین پرمصرف نسبت به توزیع عادلانه آب بین سایر مشترکین اقدام کرد. لذا در ادامه بررسی سابقه مطالعات نسبت به کاربردهای شیر خودکار تثبیت دبی پرداخته خواهد شد. شیر خودکار تثبیت دبی تاکنون برای مقاصد مختلف در حوزه‌های کشاورزی و کنترل آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. توزیع غیر یکنواخت فشار به دلیل اصطکاک، افت‌های موضعی و

(2019) در بررسی کاربرد شیر کنترل در تحویل حجمی آب در پمپ‌ها به این نتیجه رسیدند که با نصب شیر کنترل روی یک پمپ سانتریفیوژ با وجود تغییر دور موتور پمپ، دبی خروجی از آن روی مقادیر طراحی ۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب در محدوده فشار کارکرد ۱ تا ۱۰ متر و ۳ تا ۱۵ متر به صورت تقریباً ثابت می‌باشد (شکل ۳).

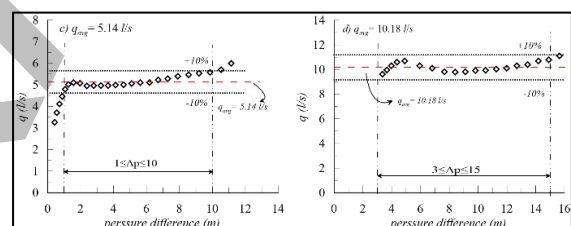


**Fig. 3** Automatic flow control valve operation, for flow rates of 5 and 10 liters/second, respectively, in the operating pressure range of 1 to 10 meters and 3 to 15 meters.

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

تاکنون مطالعات متعددی روی نحوه طراحی و کاربرد انواع شیرهای خودکار کنترل دبی انجام شده است اما کاربرد آنها در شبکه‌های انتقال آب شهری مغفول مانده است (Tayebi et al. 2019, Mehri & Bijankhan. 2019, Gyasi-Agyei 2019, Fallah Morsali et al. 2021). کنترل میزان برداشت در نقاط مصرف به لحاظ کاربردی اهمیت زیادی دارد. مجتمع‌های مسکونی معمولاً با استفاده از مخازن ذخیره مقدار زیادی از آب را در مدت زمان بسیار کوتاهی به خود اختصاص می‌دهند. این عمل منجر به افت فشار شدید در سایر نقاط شبکه، خصوصاً در زمان پیک مصرف، می‌شود. سوال اصلی تحقیق حاضر معطوف به امکان‌سنجی کاربرد شیرهای خودکار کنترل دبی برای اعمال محدودیت در برداشت آب توسط واحدهای پرمصرف در زمان پیک می‌باشد. هدف از این امر توزیع مناسب فشار در سطح شبکه در زمان پیک مصرف می‌باشد.

اندکی کاهش می‌یابد، در حالی که فشار پایین دست روزنه روند بازیابی را نشان می‌دهد. (Rezazadeh et al. 2019) بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، روشی برای باز طراحی شیر کنترل دبی ارائه کردند و همینطور محدوده کارکرد شیر کنترل دبی را توسعه دادند. آنها شیر کنترل با دبی‌های ۰/۸، ۰/۶ و ۰/۴ لیتر بر ثانیه را طراحی و آزمایش نمودند. محدوده کارکرد شیر کنترل دبی را تا ۰/۶ لیتر بر ثانیه و اختلاف فشار را تا ۲۰ متر آب توسعه دادند. این محققان اصول طراحی شیر کنترل دبی را برای دبی‌های ۰/۴ و ۰/۶ لیتر بر ثانیه، به ترتیب برای محدوده فشار کارکردهای ۱ تا ۷ و ۲/۶ تا ۲۰ متر آب ارائه کردند. برای این منظور، ابتدا به مطالعه منحنی‌های دبی-اختلاف فشار روزنه‌ای پرداختند که قطعات استوانه‌ای شکل با قطرهای مختلف وسط آن را پر کرده باشد. پس از آن با استفاده از نتایج به دست آمده، شکل اولیه منحنی دوک را ارائه کردند و نشان دادند معادله منحنی دوک را می‌توان با استفاده از نتایج آزمایشگاهی به گونه‌ای اصلاح کرد که به عملکرد بهتر شیر کنترل بینجامد. در شکل ۲ نحوه عملکرد شیر خودکار کنترل دبی را مشاهده می‌کنید.



**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 کنترل دبی، برای دبی‌های ۰/۴ و 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 کنترل 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 کنترل کمتر از دبی طراحی است. سپس با ایجاد تغییراتی در محل نصب دوک اقدام به بازطراحی شیر خودکار کنترل دبی کردند. و یک روش گام به گام برای طراحی شیر کنترل دبی ارائه کردند. (Atashparvar et al.



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

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

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 سایز ۶ اینچ می‌باشد که برای نصب فلومتر اندازه‌گیری جریان بمنظور برآورد الگوی مصرف دانشگاه بسیار مطلوب می‌باشد.

حجم مخزن ذخیره آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) معادل ۶۰۰/۰۰۰ لیتر می‌باشد. از این حجم چیزی معادل ۲۰۰/۰۰۰ لیتر برای مواقع ضروری و آتش‌نشانی در نظر گرفته شده است. لذا حجم ۴۰۰/۰۰۰ لیتر برای مصارف 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. به عبارت دیگر مخزن ذخیره آب قادر است تا حتی در صورت قطعی کامل آب، چیزی در حدود یک شبانه روز آب دانشگاه را تامین کند. مخزن تامین آب شرب دانشگاه آزاد اسلامی (واحد باراجین) معادل ۱۲۰۰ متر مکعب می‌باشد. از این میزان با در نظر گرفتن ۳۰ درصد برای مصارف ضروری و آتش‌نشانی مخزنی معادل ۸۴۰/۰۰۰ لیتر برای مصارف شرب قابل برنامه‌ریزی است. همچنین ورودی آب شهری توسط یک لوله ۴ اینچ تامین می‌گردد. ضمن پیگیری‌های انجام شده امکان بازدید از مخزن مذکور میسر نبود. لذا بدلیل دسترسی بهتر محققین به مخزن آب شرب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و سهولت در انجام هماهنگی‌های لازم، این مورد برای انجام امور میدانی مدنظر قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

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

### ۱-۲- تعیین مشترکین پرمصرف

ضمن اخذ استعلام از شرکت آب و فاضلاب استان قزوین، نسبت به تعیین مشترکین پرمصرف اقدام شد. بر این اساس، بیشترین مصارف مربوط به مراکز 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 عملاً فعالیت‌های مربوط به پایش و نصب شیرخودکار کنترل دبی در آنها می‌تواند با دشواری‌های 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 بین‌المللی امام خمینی (ره)، شرایط مربوط به مخزن مورد بررسی قرار گرفت. 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



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)

الگوی مصرف آب ملاحظه می‌شود که بیشترین مقادیر مصرف در حدود ساعت ۱۴ رخ داده است. شایان ذکر است که در این زمان بدلیل شستشوی ظروف در غذاخوری‌ها بیشترین مصرف وجود دارد. همچنین از ساعت حدود ۱۹ تا حدود ۵ صبح مصرف آب به صفر می‌رسد. با توجه به اینکه مطالعه حاضر بر شبکه توزیع آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین انجام شده است، بررسی منحنی مصرف نشان داد که حداقل جریان شبانه (MNF) در بازه ساعات نیمه‌شب عملاً برابر با صفر است. علت این موضوع، تعطیلی کامل فعالیت‌ها و عدم وجود مصرف‌کنندگان در این بازه زمانی می‌باشد. بنابراین در این تحقیق امکان استفاده از MNF به‌عنوان یک شاخص کمی جهت تحلیل نشت یا تعیین الگوی حداقلی مصرف وجود نداشت و روش تحلیل منحنی مصرف بر مبنای داده‌های واقعی برداشت در ساعات اوج و میان‌بار انجام شده است. به همین دلیل، در این مطالعه از MNF استفاده نشده و مراحل تحلیل مطابق شرایط واقعی شبکه دانشگاه تنظیم گردید.

نوسانات لحظه‌ای برداشت آب امری طبیعی است که در تمام نقاط شبکه آبرسانی شهری وجود دارد. با استفاده از داده‌های با گام زمانی ۵ دقیقه، مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط دبی مصرفی در بازه‌های یک ساعته محاسبه و در شکل ۷ مقابل زمان رسم شد. از آنجایی که در مطالعه حاضر 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 تثبیت دبی 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 پیک مصرف (دبی حدود ۷ لیتر بر ثانیه)، آگیری 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 مقادیری کمتر از دبی تنظیم شده برای شیر خودکار تثبیت دبی برسد. در این هنگام مخزن شروع به پر شدن خواهد کرد به بیان دیگر هدف پژوهش حاضر این است که در زمان پیک مصرف از محل ورودی آب شهری، پیک آگیری مخزن را کاهش داده تا در زمان پیک مصرف، از شبکه آگیری انجام نشود بلکه از ذخیره

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

## ۲-۲- تجهیزات اندازه‌گیری دبی و الگوی مصرف آب

برای اندازه‌گیری دبی از یک دستگاه فلومتر اولتراسونیک ثبات استفاده شد. این ابزار شامل دو سنسور اولتراسونیک است که روی لوله رانش پمپ نصب شدند. اصول کار به این شکل است که از اختلاف فاز ارسال و دریافت امواج اولتراسونیک و رابطه آن با سرعت جریان (که قبلاً توسط شرکت سازنده واسنجی شده است)، دبی جریان قابل محاسبه می‌باشد. شایان ذکر است که برای حصول اطمینان از نحوه عملکرد فلومتر ثبات، از یک دستگاه فلومتر پرتابل که قبلاً مورد واسنجی قرار گرفته بود استفاده شد و دقت دستگاه فعلی مورد تأیید محققین این نوشتار نیز قرار گرفت. سنسورهای فلومتر روی لوله رانش پمپ در قسمتی که قبل و بعد از آنها به فاصله حداقل یک متر هیچ اتصالی وجود نداشت نصب گردید. یک حافظه جانبی با ظرفیت ۳۲ گیگابایت برای ذخیره داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. دبی لحظه‌ای با گام زمانی ۵ دقیقه توسط دستگاه قرائت و در حافظه جانبی ذخیره شد. لازم به ذکر 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 حائز اهمیت می‌باشد زیرا هدف کنترل دبی بیشینه می‌باشد. نمونه‌ای از مقادیر دبی ثبت شده در مقابل زمان در شکل ۶ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود حداکثر دبی مصرفی در سطح دانشگاه حدوداً معادل ۷ لیتر بر ثانیه است. داده‌های شکل ۶ با گام زمانی ۵ دقیقه آورده شده است که در هر زمان بدلیل تغییرات برداشت لحظه‌ای نوسانات نسبتاً زیادی نیز ملاحظه می‌شود که با توجه به اتصال مستقیم پمپ به شبکه آبرسانی این امر قابل توجیه است. همچنین با توجه به

با توجه به توضیحات فوق، قرائت سطح آب در مخزن، به عنوان یک نشانگر از شرایط ذخیره موجود لازم است تا در دستور کار قرار گیرد.

### ۳-۲- تجهیزات اندازه‌گیری سطح آب مخزن آب

اندازه‌گیری سطح آب مخزن برای تعیین شرایط ذخیره یا مصرف آب بسیار حائز اهمیت است. برای این منظور اقدام به ساخت یک سطح سنج اولتراسونیک گردید. سنسورهای مربوطه خریداری و به میکروکنترلرهای مربوط به ذخیره داده‌های ارسال شده از سنسورهای اولتراسونیک متصل شد. سپس مجموعه طراحی شده در یک محفظه قرار داده شد و درون مخزن نصب شد. پس از پیدا کردن موقعیت صفر سنسورها، تغییرات رقوم سطح آب در مخزن اندازه‌گیری و نمونه‌ای از آن در شکل ۸ آورده شد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که حداکثر تغییرات 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 حداکثر تغییرات سطح آب در مخزن از حدود ۶ درصد فراتر نرفته است. در حال حاضر کم بودن نوسانات سطح آب مخزن بدین مفهوم است که میزان ورود آب شهری با میزان مصرف دانشگاه تقریباً برابر است. لذا، چنین نتیجه می‌شود که در زمان پیک مصرف نیز مخزن همچنان پر بوده در صورتی که هدف این است زمان پر شدن مخزن با زمان پیک مصرف از آب شهری تداخل نداشته باشد و هر چقدر زمان پر شدن مخزن به زمان‌های غیر از پیک شیف‌ت پیدا کند، مطلوب‌تر است. بدین منظور لازم است تا در زمان پیک مصرف دانشگاه، حجم آب‌گیری مخزن از آب شهری کاهش پیدا کند تا مخزن خالی شود.

مخزن استفاده شده و در زمان‌های خارج از پیک، مخزن پر شود. از طرفی معمولاً مخازن 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 مخازن بسیار بزرگی می‌باشند.

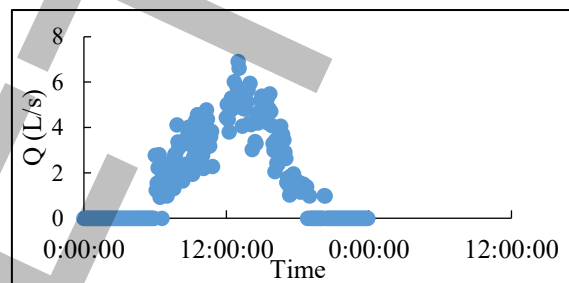


Fig. 6. A sample of water consumption pattern in Imam Khomeini International University

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 پیک 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 طرح حاضر با به کارگیری شیر تثبیت دبی و اعمال محدودیت در دبی تحویلی از شبکه در زمان پیک مصرف، تلاش می‌شود تا پر شدن مخزن به زمان‌های غیر از پیک منتقل گردد.

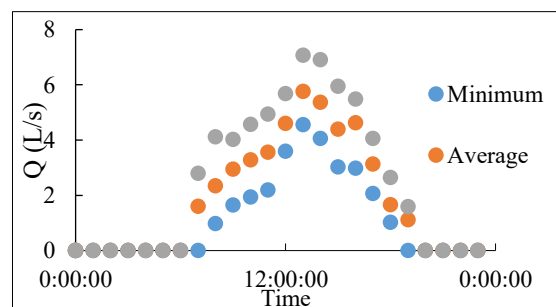


Fig. 7. A sample of daily water consumption pattern in Imam Khomeini International University

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

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 در نظر گرفته شود. برای این منظور لازم است مراحل زیر انجام شود:

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 بعد از مخزن (بدست آوردن منحنی دبی-زمان)،

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

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

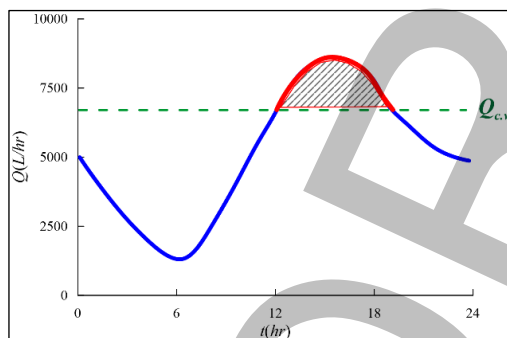


Fig. 9 Schematic view of the water consumption pattern in Imam Khomeini International University

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

#### ۲-۴- شیرخودکار کنترل دبی

در تحقیق حاضر برای کنترل حداکثر دبی برداشتی از شبکه انتقال آب از شیر خودکار کنترل دبی استفاده شده است. مبانی ساخت و آزمون آزمایشگاهی شیرهای خودکار کنترل دبی بر اساس (Bijankhan et al. (2025 صورت گرفته است. عملکرد شیرهای تثبیت دبی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) مورد ارزیابی قرار

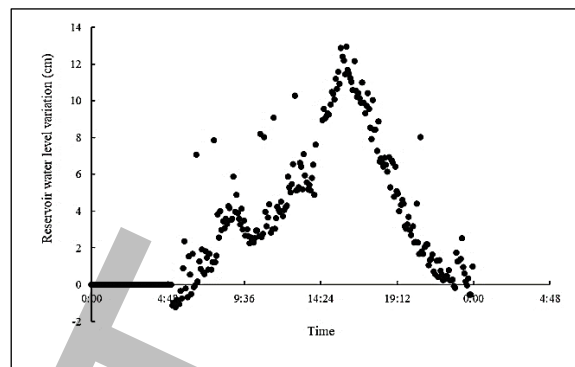


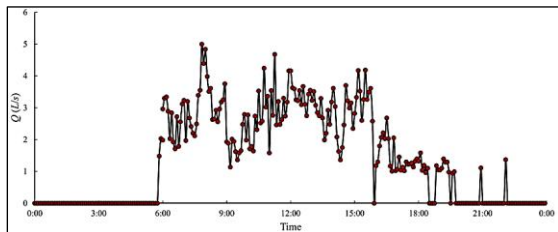
Fig. 8 Variation of the reservoir water level in terms of time

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

در این قسمت از تحقیق کلیه تجهیزات مورد نیاز برای قرائت 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 تغییرات سطح آب مخزن، با گام زمانی ۵ دقیقه‌ای، قابل برداشت و ذخیره‌سازی می‌باشد. در ادامه با برداشت سری زمانی از داده‌های مذکور نسبت به بررسی الگوی مصرف در روزهای مختلف هفته در طول یک ماه اقدام خواهد شد. سپس نسبت به تعیین دبی شیر خودکار تثبیت دبی متناسب با الگوی مصرف و حجم مخزن اقدام خواهد شد.

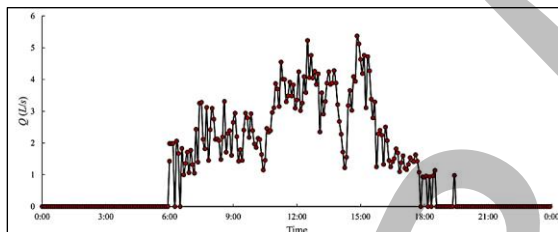
نمایی شماتیک از الگوی مصرف ساعتی آب در طول یک روز در شکل ۹ آورده شده است. شایان ذکر است که الگوی مصرف آب شهری بدین صورت نبوده و در طول شبانه روز چندین پیک دارد. اما در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی مطابق شکل ۹ در ساعت‌های نزدیک به ظهر، بیشترین مصرف آب وجود داشته و با تعطیلی بخش اداری و کلاس‌ها مصرف کاهش می‌یابد. در شکل ۹،  $Q_{c.v}$  دبی شیر تثبیت جریان می‌باشد. سوال 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 در نتیجه در این قسمت‌ها مخزن ذخیره آب پر می‌شود. شیر کنترل دبی در بخش‌های آبی رنگ نمودار در عمل مدار نخواهد شد. حال آنکه در بخش قرمز رنگ، شیر خودکار تثبیت دبی اجازه افزایش برداشت را نداده و بدلیل کمتر بودن ورودی از خروجی مخزن ذخیره

شده است که نتایج آن در ادامه ارائه شده است. پس از نصب ادوات مورد نیاز برای پایش دبی لحظه‌ای الگوی مصرف آب در سطح دانشگاه، اطلاعات مربوط به الگوی مصرف آب با استفاده از قرائت دبی لحظه‌ای بدست آمد. نتایج در شکل ۱۱ تا شکل ۱۸ برای بازه زمانی اول تا هشتم بهمن ماه ۱۴۰۲ آورده شده است.



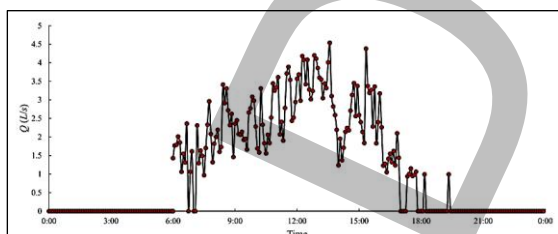
**Fig. 11** Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Saturday, January 21, 2024

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



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

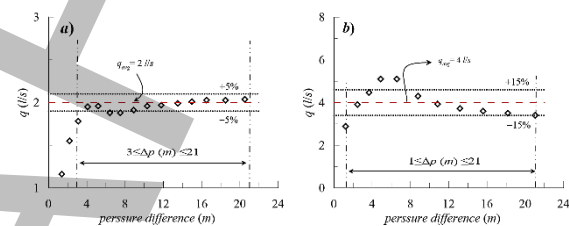
شکل ۱۲ الگوی مصرف آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دوشنبه دوم بهمن ماه ۱۴۰۲



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

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

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 مقادیر 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 حداکثر فشار ۴ اتمسفر بود اما بدلیل محدودیت‌های آزمایشگاهی امکان ایجاد اختلاف فشار بیشتر میسر نشد.



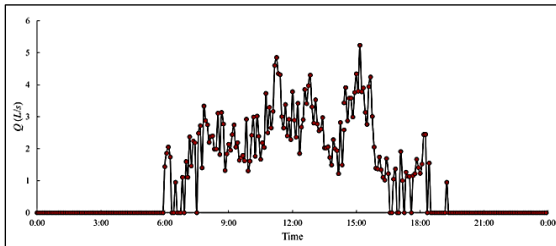
**Fig. 10** Flow rate-pressure difference diagram for automatic valves a) two liters per second and b) four liters per second

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

### ۳- نتایج

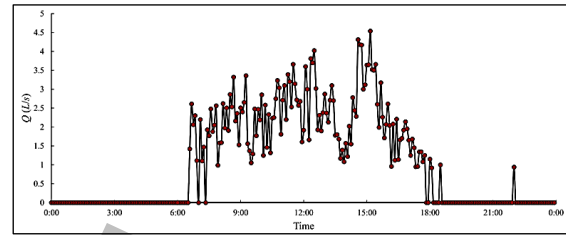
#### ۳-۱- تعیین الگوی مصرف آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

پایش دبی و برآورد الگوی مصرف آب، اولین گام در راستای تعیین مقدار دبی شیر خودکار تثبیت دبی می‌باشد. اعمال محدودیت در حداکثر دبی لحظه‌ای باید بگونه‌ای باشد که در میزان مصرف آب توسط مشترک تغییری ایجاد نشود. به عبارت دیگر پس از اعمال محدودیت در حداکثر دبی ورودی آب به مخزن، بدلیل بیشتر بودن مصرف، سطح آب داخل مخزن افت می‌کند. در این حالت، در مقاطع پیک مصرف مخزن شروع به خالی شدن خواهد کرد. حداکثر 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



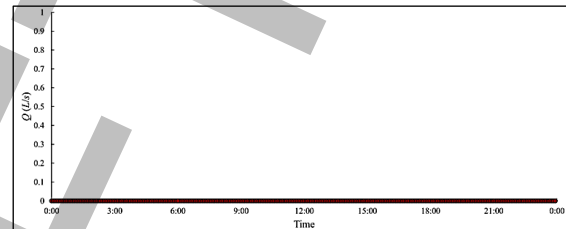
**Fig. 18** Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Sunday, January 28, 2024

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



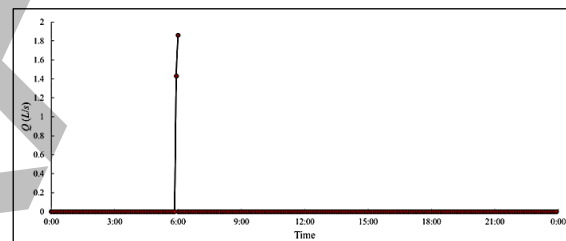
**Fig. 14** Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Wednesday, January 24, 2024

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



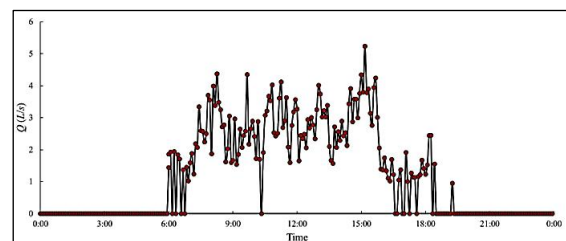
**Fig. 15** Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Thursday, January 25, 2024

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



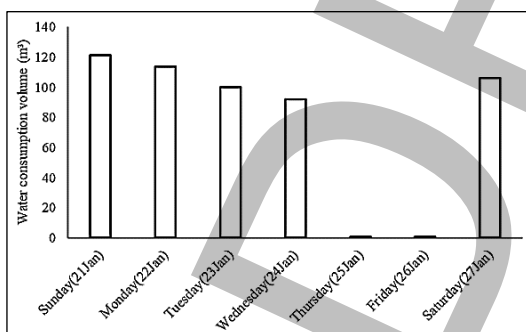
**Fig. 17** Water consumption pattern of Imam Khomeini International University, Saturday, January 27, 2024

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

با توجه به شکل ۱۱ تا شکل ۱۸ ملاحظه می‌شود که نوسانات 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 قرائت 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 نکات زیر در خصوص الگوی مصرف آب بدست آمد:

- ۱- ملاحظه می‌شود که الگوی مصرف آب در دانشگاه بین المللی 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 پیک بعد از نهار و حوالی ساعت ۱۵ 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.

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 بین‌المللی امام خمینی (ره) بکار می‌رود. به صورت کلی لازم است برای دبی طراحی شیر خودکار تثبیت دبی 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 تثبیت دبی با توجه به مصارف روزانه در طول یکسال می‌باشد. هرچند که با توجه به محدودیت زمانی، ملاک بررسی و ارزیابی روش پیشنهادی برای کنترل حداکثر دبی روزانه معطوف به بازه داده‌برداری در طول یک هفته می‌باشد. در مرحله بعدی نسبت به تعیین دبی شیر خودکار تثبیت دبی بر اساس داده‌های بدست 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 تثبیت دبی نسبت به ارزیابی میزان افزایش فشار در شبکه انتقال آب شهری در محدوده مخزن آب دانشگاه اقدام خواهد شد.

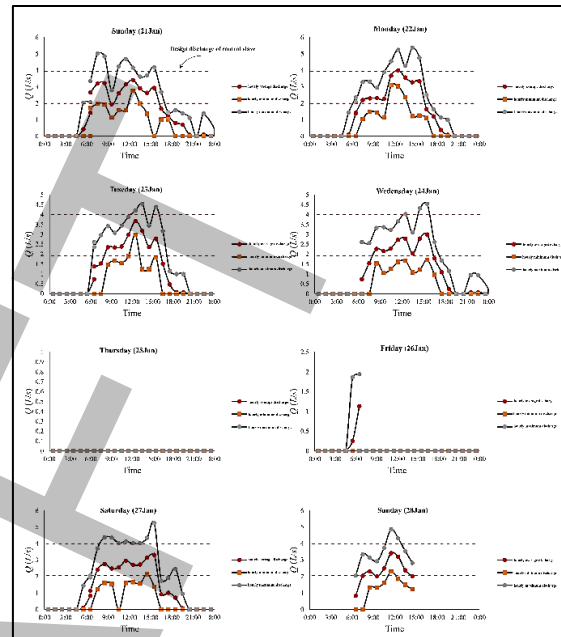


**Fig. 20.** Daily water consumption volume in the period from Sunday, January 21 to Saturday, January 27, 2024  
شکل ۲۰ حجم آب مصرفی روزانه در بازه زمانی یکشنبه اول بهمن تا شنبه هفتم بهمن ماه ۱۴۰۲

### 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 پیک و جبران کسری مخزن در زمان‌های غیر پیک مصرف

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



**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 مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه ساعتی الگوی مصرف آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، مربوط به روزهای اول تا هشتم بهمن ماه ۱۴۰۲

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 لذا ایده نصب شیر خودکار تثبیت دبی برای کنترل حداکثر 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

۴۰ سانتی‌متر رسیده است و مخزن ۱۰ سانتی‌متر بیشتر خالی شده است. نمودار کامل تغییرات سطح مخزن (کسری مخزن) در طول یک هفته در شکل ۲۲ آورده شده است.

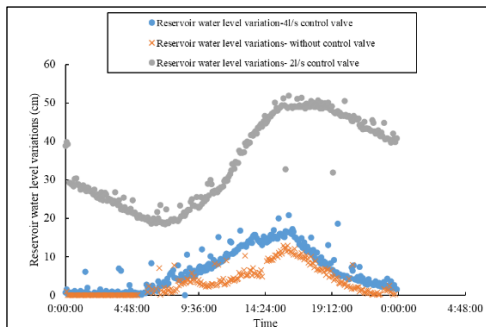


Fig. 21 Reservoir water level changes versus time for Monday, March 4, 2024

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

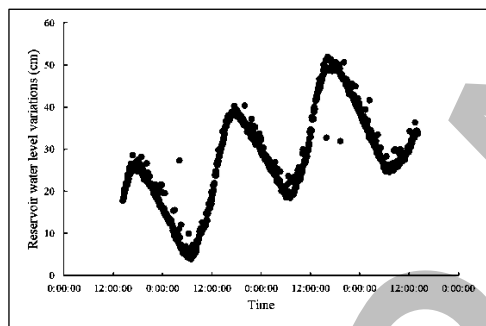


Fig. 22 Changes in water level in the reservoir (tank fraction) over time with an automatic valve stabilizing the flow rate of 2 liters per second

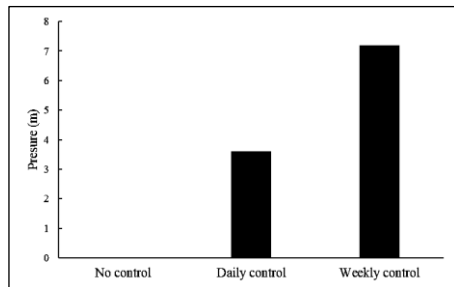
شکل ۲۲ تغییرات سطح آب در مخزن (کسری مخزن) نسبت به زمان برای شیر خودکار تثبیت دبی ۲ لیتر بر ثانیه

با توجه به شکل ۲۲ ملاحظه می‌شود که شیر خودکار تثبیت دبی 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 مدام افزایش یافته است. تا در نهایت به حدود ۳۵ سانتی‌متر معادل ۱۵۰ هزار لیتر رسیده است. عملاً از چهارشنبه عصر تا شنبه صبح زمان تعطیلی دانشگاه است که مصرف آب در حداقل مقدار خود است و زمان کافی برای پر شدن مخزن وجود دارد. تنها در روز جمعه با در نظر گرفتن دبی ورودی به مخزن معادل ۲ لیتر بر ثانیه می‌توان حدود ۱۶۴ هزار لیتر آب برای ورودی به مخزن در نظر گرفت و در نتیجه کل کسری مخزن قابل جبران خواهد بود.

می‌باشد. در این خصوص مقیاس زمانی برای جبران کسری مخزن بسیار مهم است. به عنوان مثال می‌توان شرایطی را در نظر 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 مخزن 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. تغییرات 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 مقادیر بیشتری نسبت به زمانیکه هیچ کنترلی 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. تغییرات 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 تغییرات 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

استفاده از شیرهای خودکار کنترل دبی می‌تواند منجر به افزایش فشار شبکه در زمان پیک 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 کنترل، کنترل روزانه (دبی چهار لیتر بر ثانیه) و کنترل هفتگی (دبی دو لیتر بر ثانیه)

#### ۴- نتیجه‌گیری

طبق بررسی‌های انجام شده دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) بهترین گزینه، هم به لحاظ اجرایی و هم به لحاظ فنی، برای پایش الگوی مصرف و نصب شیر خودکار تثبیت دبی شناخته شد. انتظار می‌رود که نتایج مربوط به این نمونه قابل تعمیم به سایر مشترکین 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 قادر است در محدوده اختلاف فشار ۳ تا ۲۱ متر با اختلاف ۵ درصد نسبت به دبی طراحی کار کند. حال آنکه این مقادیر برای شیر تثبیت دبی ۴ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۱ تا ۲۱ متر با اختلاف ۱۵ درصد می‌باشند. شیر خودکار تثبیت دبی 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 مدام افزایش یافته تا در نهایت به حدود ۳۵ سانتی‌متر معادل ۱۵۰ هزار لیتر رسیده است. عملاً از چهارشنبه عصر تا شنبه صبح زمان تعطیلی دانشگاه است که مصرف آب در حداقل مقدار خود است و زمان کافی برای پر شدن مخزن وجود دارد. تنها در روز جمعه با در نظر

با اندازه‌گیری دبی و فشار روی خط لوله آب شهری نتایج بسیار قابل توجهی حاصل شد که نتایج آن در جدول و شکل ۲۳ آورده شده است. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که شیر خودکار تثبیت دبی توانسته است با دقت بسیار مطلوبی دبی ورودی را در محدوده‌ای بسیار نزدیک به دبی طراحی حفظ کند. همچنین فشار اندازه‌گیری شده روی خط اصلی لوله شهری حدوداً در محدود ۷ متر بوده است.

**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)

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

فشار (m)	دبی (L/s)	زمان قرائت
۷/۱	۱/۹۶	۱۱:۵۵
۷	۱/۹۳	۱۳:۰۰
۷/۲	۱/۹۲	۱۳:۵۵
۷/۳	۱/۸۴	۱۴:۵۰

فشار آب روی خط لوله آب شهری در حالت‌های مختلف بدون کنترل، کنترل روزانه (دبی چهار لیتر بر ثانیه) و کنترل هفتگی (دبی دو لیتر بر ثانیه) اندازه‌گیری شد. با توجه به شکل ۲۳ ملاحظه می‌شود که در حالتیکه هیچ کنترلی 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 کنترل روزانه و کنترل 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 بین‌المللی امام خمینی (ره) در زمان‌های غیر پیک امکان افزایش فشار آب در خط لوله شهری به شکل قابل توجهی میسر شده است. شایان ذکر است که در خصوص 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 می‌شود و فشار پایین اعتراضات مشترکین شبکه و بروز تنش‌های اجتماعی را در پی دارد. مدیریت میزان مصرف مشترکین پرمصرف با

107, January 2026, 103036.  
<https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2025.103036>

Cao, H., Hopfgarten, S., Ostfeld, A., Salomons, E. and Li P. 2019. Simultaneous Sensor Placement and Pressure Reducing Valve Localization for Pressure Control of Water Distribution Systems. *Journal of Water*. 11, 1352. DOI:10.3390/w11071352

Falahi, G. and 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. doi: 10.22067/jwsd.v4i2.62432. (In Persian)

Fallah Morsali, M., Ramezani Etedali, H., Bijankhan, M., Mahdavi Mazdeh, A. (2021). 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). DOI: 10.22055/JISE.2022.38621.1991. (In Persian)

Ferreira, J., Martins, N., and Covas, D. (2018). "Ball Valve Behavior under Steady and Unsteady Conditions." *Journal of Hydraulic Engineering*, 144(4), 04018005.

Jalili Ghazizade, M. R., Shahrouzi, SH. (2018). Effect of Household Water Tanks on Leakage Reduction for Distribution Networks under Operation. *Journal of Water and Wastewater*. Doi:10.22093/WWJ.2017.59376.2235. (In Persian)

Jun, S., & Kwon, H. J. (2019). The Optimum Monitoring Location of Pressure in Water Distribution System. *Journal of Water*. 11, 307. DOI: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. DOI: 10.32604/fdmp.2021.0112.

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

Thornton, J. & Lambert, A. (2006). Managing pressure to reduce new breaks. *Journal of Water 21-Magazine of the International Water Association (IWA Publishing)*, 8(6), 24-26.

Zhang, X. and Wang, D., (2015). A flow control device for incompressible fluids. *Flow Measurement and Instrumentation*, 41, pp.165-173. Doi:10.1016/j.flowmeasinst.2014.12.008.

گرفتن دبی ورودی به مخزن معادل ۲ لیتر بر ثانیه می‌توان حدود ۱۶۴ هزار لیتر آب برای ورودی به مخزن در نظر گرفت و در نتیجه کل کسری مخزن قابل جبران خواهد بود و در نتیجه هدف از نصب شیرهای خودکار تثبیت دبی برای کاهش مصرف آب در زمان‌های پیک و جبران کسری مخزن در زمان‌های غیر پیک مصرف حاصل شد. همچنین مشاهده 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 کنترل روزانه و کنترل 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 پیک امکان افزایش فشار آب در خط لوله شهری به شکل قابل توجهی میسر شده است.

## ۵- فهرست علائم

$Q$	دبی شیر خودکار تنظیم دبی ( $m^3s^{-1}$ )
T	زمان (s)
	زیرنویس‌ها:
cv	شیر خودکار کنترل دبی
Ave	مقدار متوسط

## ۶- تقدیر و تشکر

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

## ۷- منابع

Atashparvar, S., Bijankhan, M., and Mahdavi Mazdeh, A. (2019). "Application of constant flow rate control valve in pump discharge regulation." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001393

Bijankhan, M., Zakoaei, A.A., Tayyebi, F., Ramezani Etedali, H., Fakouri, S., Nazari, S., Ali Mahdavi Mazdeh, A. (2025). Field application of the inline gated pipe equipped with constant flow control valve, case study: Qazvin, Iran., Volume