Water and Wastewater, Vol. 36, No. 1, pp: 97-113

Studying the Performance of Customers Meters and Analyzing the Parameters Affecting Their Measurement Accuracy Along with Policy-Making for Conducting Cluster Testing of Meters

Shirzad Iranmehr[1*], Ali Haftani[2], Mohammad Panahi Emam[3], Amir Taghipoornia[4], Mojtaba Zare Zirak[4]

1. In Charge Operation Expert, Water and Wastewater Company, District 3 of Tehran, Tehran, Iran (Corresponding Author) shirzad.iranmehr@gmail.com
2. Master Student, Civil-Environmental Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Deputy Director of Operation, Water and Wastewater Company, District 3 of Tehran, Tehran, Iran
4. Operation Expert, Water and Wastewater Company, District 3 of Tehran, Tehran, Iran

https://doi.org/10.22093/wwj.2025.508207.3473 **Original Paper**

Abstract

The quantity and quality of customer meters, as measuring instruments of water sales, are important for water and wastewater companies and their customers. In this study, the performance of customer meters and the amount of their measurement error are comprehensively examined. While evaluating the accuracy of the meters, the effect of key parameters on the accuracy of the meters is investigated. For this purpose, 702 meter tests were performed at the customers level of 3 reservoirs. Customer meters of different models and diameters were randomly selected. Tests were performed at 5 different flow rates from the startup flow rate to the maximum flow rate that can be withdrawn from the subscription. The effects of parameters such as meter diameter, meter age, meter operating rate, pressure, and startup flow rate at the 5 tested flow rates were evaluated. A reference meter was used to compare the accuracy of meters at different flow rates. For each meter, a data set was created and a statistical analysis was performed by measuring the pressure at the measurement site and calculating the accuracy of the meter at different flow rates in comparison with the reference meter. The results show that 17% of the meters have an error in the range of ±2%, 57% in the range of ±5%, and 6% of the meters are completely damaged. The error rate of the meter depends on the meter model and its manufacturer, so that 7 different meter models have shown completely different error ranges. Additionally, linear correlations between the error at different test flow rates and the parameters under study confirm the effect of these parameters on the error rate. Finally, recommendations are provided to water network management officials for optimal management of customer meters based on the analyses performed.

Keywords:
Water Distribution Network, Water Connection, Water Loss, Apparent Loss, Customers Meters, Cluster Testing.

Received: Jan. 12, 2025
Revised: Apr. 4, 2025
Accepted: Apr. 27, 2025

To cite this article:
Iranmehr, Sh., Haftani, A., Panahi Emam, M., Taghipoornia, A., Zare Zirak, M., 2025. Studying the performance of customers meters and analyzing the parameters affecting their measurement accuracy along with policy-making for conducting cluster testing of meters. *Water and Wastewater*, 36(1), 97-113. https://doi.org/10.22093/wwj.2025.508207.3473.

Use your device to scan and read the article online

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

1. Introduction

The performance quantity and quality of water meters are important for both water and wastewater companies, and their customers. Therefore, ensuring the proper operation and accuracy of customer meters warrants particular attention (Ghasemi Razveh et al., 2019). If the meter error lowers the common consumption class, a substantial portion of the water and wastewater companies' revenues will be lost through apparent water loss (Salehi Servak et al., 2006) and it seems that the cost of replacing malfunctioning, damaged, and high-error meters is likely to have a return on investment in an acceptable period of time (Mashayekh et al., 2021).

To date a comprehensive observation of customer meters has not been carried out on a large and appropriate number of meters and study area. Moreover, in previous studies, the parameters affecting the performance of customer meters have not been fully investigated. Also, the impact of certain parameters such as meter start-up pressure and flow rate has become more important due to the new policies of water and wastewater companies to reduce network pressure, and the approach of customers to using pumps and tanks. In this study, the results of cluster testing of customer meters are examined. While evaluating the accuracy of the meters, an attempt is made to evaluate the impact of key parameters on the accuracy of the meters to provide the necessary recommendations to the authorities for the optimal management of customer meters.

2. Methodology

To select the target meters, meters from different factories were randomly selected from the customers list of the studied reservoirs. To select the sample size in each reservoir, a percentage of the total customers of the reservoir was used as the criterion. To select the desired flow rates, the design flow rate Q3 and the design ratio R, which is the ratio of Q3 to the start-up flow rate, were used. To evaluate the tested meters, the parameters of the meter brand, pressure, life, and operating volume were examined.

The five test flow rates in the present study are as shown in Table 1. It is noteworthy that these values may vary somewhat in different tests, depending on the type of meter and its performance, especially in the starting and maximum flow rates.

Table 1. Five flow rates of meters test

Row	Flow rate	Title	Flow rate order (Lps)
1	Q_1	Start	Related to Meter's R value and starting to work
2	Q_2	Minimum	30
3	Q_3	Transition	120
4	Q_4	Stable	1000
5	Q_5	Maximum	1500

After performing the desired tests and collecting data related to the measured flow and volumes, a dataset is created from all test records. Also, in this dataset, common characteristics of the test item and the pressure measured at the test site are added. Finally, the necessary statistical analysis is performed on the data collected in the relevant comprehensive dataset.

3. Results and discussion

The overall results of the test show that 109 tests result in failure or error above 50%. Of these, 68 cases included an error above 50% in at least one of the flows and 41 cases included failure. It is expected that the failed meters and meters with an error above 50% would be the first and second priorities for meter replacement. On the other hand, it can be seen that an acceptable number of error values fall within the standard range of ±2% or ±5%. As an estimate for the statistical population, the percentages of this category of meters can be generalized to the entire statistical population. That is, from a probability perspective, approximately 6% of all meters in the studied network are out of order, and about 9% exhibit very high errors that render their operation technically unjustifiable. Moreover, considering the acceptable standard error defined for meters of up to 2 and 5 percent, it can be seen that the number of meters requiring repair or replacement is increasing.

The error values of the meter types at 5 different flow rates are shown in Fig. 1. The most important point that can be understood from this figure is that the meter error at different flow rates, before any other parameter, is completely dependent on the meter model and the method and quality of its construction. This is clearly evident from the diverse and wide range of meter errors in different models.

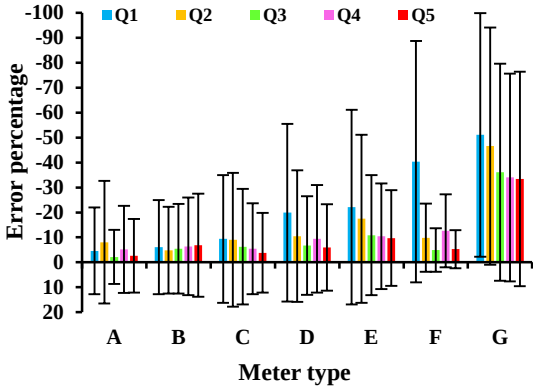

Fig. 1. Error value of meter models in five flow rates

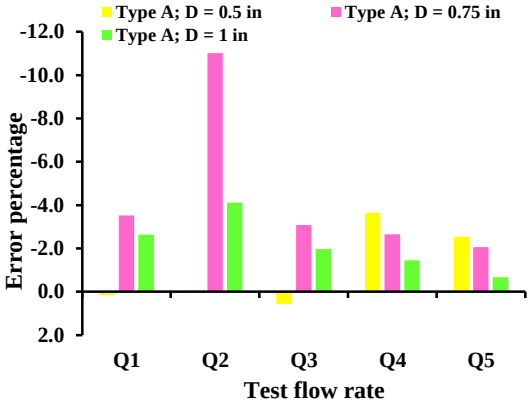

Fig. 2. Comparison of the error rate of meters in different diameters for type A meter

As previously discussed, the meter error depends on its model. Therefore, to examine the effect of different parameters on the error rate, the comparison should be limited to a specific model. Generally, the results obtained for a specific model cannot be generalized to all types of meter models.

A comparison of the error rate of meters in different diameters for the 5 flow rates tested for the meter model A is shown in Fig. 2. This figure indicates that in the range of different flow rates, the meter shows variable behavior in different diameters. As explained, in low flow rates, the error is very small in the diameter of 0.5 inches, and with increasing diameter, different behavior is observed in diameters of 0.75 and 1 inches. On the other hand, in high test flow rates, the error of the meters in low diameters is greater, while increasing the diameter causes a decrease in the error rate.

As Fig. 3. shows, in model D meters, the undershooting error of the meters increases with increasing meter performance. This behavior is visible in all 5 test discharges; although the slope of the changes is different in different discharges.

The results show that the selection of the desired meters for testing, while random, should take into account the meter type and

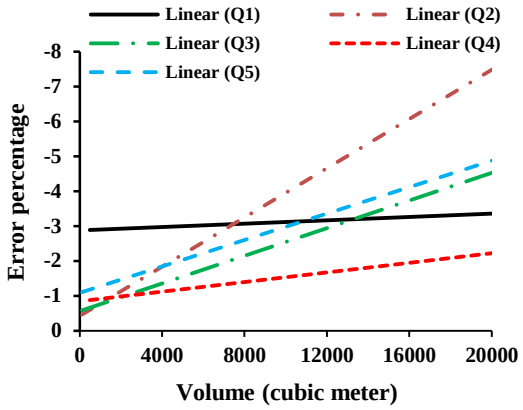

Fig. 3. Error at different flow rates for a Model D meter with a diameter of 0.5 inches

manufacturer. The results also show that besides the meter type, other parameters including diameter, application, network pressure ranges and meter working life affect meter performance. The results also indicate that as network pressure decreases, on average, the amount of undershoot error increases, especially at low flow rates. Based on the error values, most meters in the water and sewage network are undersized, resulting in significant apparent wastage.

آب و فاضلاب، دوره ۳۶، شماره ۱، صفحه: ۱۱۳-۹۷

مطالعه عملکرد کنتورهای مشترکین و تحلیل پارامترهای مؤثر بر دقت اندازه‌گیری آن‌ها به همراه سیاست‌گذاری انجام تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین

شیرزاد ایرانمهر[۱]، علی هفتانی[۲]، محمد پناهی امام[۳]، امیر تقی‌پورنیا[۴]، مجتبی زارع زیرک[۴]

۱- کارشناس مسئول بهره‌برداری، شرکت آب و فاضلاب منطقه ۳ تهران، تهران، ایران
(نویسنده مسئول) shirzad.iranmehr@gmail.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران- محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- معاون بهره‌برداری، شرکت آب و فاضلاب منطقه ۳ تهران، تهران، ایران
۴- کارشناس بهره‌برداری، شرکت آب و فاضلاب منطقه ۳ تهران، تهران، ایران

مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.22093/wwj.2025.508207.3473

چکیده

کمیّت و کیفیت عملکردی کنتورهای مشترکین به‌عنوان ابزار سنجش فروش آب، برای شرکت‌های آب و فاضلاب و مشترکین آن حائز اهمیت است. در این پژوهش، به‌صورت جامع به بررسی عملکرد کنتورهای مشترکین و میزان خطای اندازه‌گیری آن‌ها پرداخته شد و ضمن ارزیابی دقت کنتورها، سعی شد تأثیر پارامترهای کلیدی بر روی دقت کنتورها، بررسی شود. برای این امر، تعداد ۷۰۲ تست کنتور در سطح مشترکین ۳ مخزن انجام شد. کنتورهای مشترکین از مدل‌ها و قطرهای مختلف به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. همچنین تست‌ها در ۵ دبی مختلف از دبی راه‌اندازی تا دبی حداکثر قابل‌برداشت از اشتراک انجام شد. تأثیر پارامترهایی مانند قطر کنتور، سن کنتور، میزان کارکرد کنتور، فشار و دبی راه‌اندازی در ۵ دبی تست شده، ارزیابی شد. برای پیاده‌سازی این امر، از یک کنتور مرجع برای مقایسه دقت کنتورها در دبی‌های مختلف استفاده شد. برای هر کنتور با اندازه‌گیری فشار در محل اندازه‌گیری و محاسبه دقت کنتور در دبی‌های مختلف در مقایسه با کنتور مرجع، دیتاستی از داده‌ها ایجاد و تحلیل آماری بر روی آن انجام شد. نتایج نشان داد که ۱۷ درصد از کنتورها خطای در بازه ۲± درصد، ۵۷ درصد در بازه ۵± درصد دارند و ٦ درصد از کنتورها به‌طور کامل خراب هستند. میزان خطای کنتور وابسته به مدل کنتور و سازنده آن است، به‌طوری‌که ۷ مدل کنتور مختلف، بازه‌های خطایی کاملاً متفاوتی از همدیگر نشان دادند. همچنین هم‌بستگی‌های خطی بین خطا در دبی‌های تست مختلف و پارامترهای موردبررسی، نشان‌دهنده تأثیر این پارامترها بر میزان خطا بود. در پایان، تلاش شد که بر اساس تحلیل‌های انجام شده، توصیه‌های لازم به متولیان امر مدیریت شبکه آب، برای مدیریت بهینه کنتورهای مشترکین، ارائه شود.

واژه‌های کلیدی:
شبکه توزیع آب، انشعاب آب، هدر رفت آب، هدر رفت ظاهری، کنتورهای مشترکین، تست خوشه‌ای

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳
اصلاح: ۱۴۰۴/۱/۱۵
پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۷

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
ایرانمهر، ش.، هفتانی، ع.، پناهی امام، م.، تقی‌پورنیا، ا.، زارع زیرک، م.، ۱۴۰۴، مطالعه عملکرد کنتورهای مشترکین و تحلیل پارامترهای مؤثر بر دقت اندازه‌گیری آن‌ها به همراه سیاست‌گذاری انجام تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین. آب و فاضلاب. ۳۶(۱)، ۱۱۳-۹۷. https://doi.org/10.22093/wwj.2025.508207.3473

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

آب به‌عنوان مایه و مایع حیات، منبع اصلی ایجاد و بقای تمدن‌های بشری بوده و هست. هرگونه اختلال در فرایند آب‌رسانی پیوسته به مصرف‌کنندگان، اعم از خانگی، تجاری، کشاورزی یا صنعتی، تهدیدی جدی برای کارکرد صحیح و بقای سیستم‌های انسانی است. با این وجود، در سالیان اخیر، با توجه به مواردی مانند تغییرات آب و هوایی، افزایش سریع جمعیت و بالا رفتن سطح رفاه زندگی، تنش آبی به‌صورت شدیدی در بسیاری از نقاط جهان رخ داده است. حفاظت از منابع آبی و لزوم تضمین جریان پیوسته زنجیره تأمین، انتقال و توزیع آب، جزء مهم‌ترین وظایف شرکت‌های آب و فاضلاب است. در راستای مقابله با تنش آبی، مقابله با هدر رفت آب به‌عنوان عاملی برای از دست دادن منابع موجود آب، بیش‌ازپیش حائز اهمیت شده است. در این میان، هدر رفت ظاهری به‌عنوان بخشی از هدر رفت کل، موردنیاز توجه ویژه است. خطای محاسباتی کنتورهای مشترکین، یکی از منابع اصلی ایجاد هدر رفت ظاهری است (Salehi Servak et al., 2006).

نقطه نهایی زنجیره تأمین، انتقال و توزیع آب، انشعاب مشترکین است. کنتورهای مشترکین به‌عنوان آخرین تجهیز و آخرین نقطه در شبکه، مرز میان شبکه و مصرف‌کننده، محل سنجش حجم آب تحویلی به مشترک و محل تأمین درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب است. مکانیسم، روش اندازه‌گیری، تکنولوژی ساخت و دقت کار کنتورها دامنه گسترده‌ای دارد. کمیّت و کیفیت عملکردی این کنتورها، هم برای شرکت‌های آب و فاضلاب و هم برای مشترکین حائز اهمیت است. بنابراین حصول اطمینان از صحت عملکرد و میزان دقت کنتورهای مشترکین باید موردتوجه ویژه قرار گیرد.

به‌طور ویژه این نکته را باید مدنظر داشت که تعیین قیمت آب در شرکت‌های آب و فاضلاب بر اساس گروه‌های طبقاتی مصرف انجام می‌شود (Ghasemi Razveh et al., 2019). این امر موجب می‌شود که رابطه مصرف آب با هزینه آب غیرخطی باشد. بنابراین انحراف از اندازه دقیق حجم آب مصرف شده، موجب خسارت قابل‌توجه به مشترک یا شرکت‌های آب و فاضلاب می‌شود. اگر خطای کنتور طبقه مصرف مشترک را پایین بیاورد، در قالب هدر رفت ظاهری، بخش عمده‌ای از درآمدهای شرکت‌های آب و فاضلاب از دست خواهد رفت. بنابراین بررسی عملکرد کنتورهای مشترکین، ازلحاظ اقتصادی توجیه قابل‌توجهی دارد و به نظر می‌رسد که هزینه تعویض کنتورهای ازکارافتاده، خراب و با خطای بالا، در مدت‌زمان قابل‌قبولی بازگشت سرمایه خواهد داشت.

بررسی دقت اندازه‌گیری کنتورهای مشترکین موردبررسی پژوهشگران مختلفی قرار گرفته است. مشایخ و همکاران عوامل مختلف تأثیرگذار روی دقت اندازه‌گیری کنتورهای مشترکین را شامل مواردی مانند فرسایش، افزایش درجه حرارت، نفوذ مواد معلق و رسوب در داخل کنتور، عبور هوا از داخل کنتور، عدم دقت در دبی پایین کارکرد کنتور، عدم دقت در دبی انتقالی تا حداکثر، نوسانات فشار شبکه، عدم وجود شیر یک‌طرفه و عوامل خارجی عنوان کردند و برای بهبود عملکرد کنتورها، پیشنهادهایی مانند بهبود کیفیت تجهیزات، بهبود کیفیت نصب انشعاب، بهبود کیفیت بازرسی و تعمیر و نگهداری کنتورها را ارائه کردند (Mashayekh et al., 2021).

قنبری عدیوی و همکاران به بررسی تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین پرداخته و گزارش دادند که جنس، کیفیت ساخت و مواد مصرفی کنتور در مقایسه با قطر کنتور، تأثیر بیشتری بر خرابی کنتور دارد. آن‌ها همچنین ارتباط مستقیمی میان عمر کنتور و درصد خرابی مشاهده نکردند. از طرفی کارکرد کنتور، یعنی حجم آب عبوری از کنتور در دوره کارکرد، تأثیر مستقیمی روی خطای کنتور و خرابی آن داشته است (Ghanbari Adaivi et al., 2018).

فروغی و رجبی‌نسب در پژوهش خود گزارش دادند که در مورد مطالعاتی ایشان، تمام کنتورهای با سن بیش از ۱۵ سال دارای خطای بیشتر از محدوده مجاز بوده‌اند. همچنین عنوان کردند که سهم خطای کنتورها در دبی حداقل بیش از ۱/۵ برابر خطا در دبی‌های بیشتر است (Foroughi and Rajabinasab, 2019).

پیش‌یار گزارش داد که حدود ۱۲ درصد از ۳۰۳۹ کنتور بررسی شده در شهر سبزوار، خارج از محدوده مجاز خطای ۵ درصد قرار داشته‌اند (Pishyar, 2017).

آنالویی و همکاران با انتخاب تعدادی از کنتورهای مشترکین به‌صورت خوشه‌ای و گزینشی به بررسی میزان خطای آن‌ها برای مدل‌های مختلف کنتور پرداختند. آن‌ها به محاسبه ضریب تصحیح کنتورها به‌عنوان مقداری که باید در دبی‌های عبوری ضرب شود تا مقدار دبی واقعی در رژیم‌های مختلف محاسبه شود، پرداختند. کنتورهای با ضریب تصحیح بالای ۱ به‌عنوان کنتورهای کم انداز

که در آن‌ها محاسبه حجم به زیان شرکت‌های آب و فاضلاب انجام می‌شود، معرفی شدند (Analoui et al., 2017).

مهردادی و همکاران به بررسی عملکرد کنتورهای مشترکین در قالب تست ۱ درصد کنتورهای مورد مطالعاتی خود پرداختند. آن‌ها برای محاسبه میزان مصرف واقعی مشترک و برآورد دقیق‌تر میزان هدر رفت کنتور، یک الگوی ۶ نقطه‌ای توزیع دبی‌های مصرف شامل نقاط حداکثر و حداقل ۵۰ درصد حداکثر دبی و ۲ درصد مصارف خیلی کم ارائه کردند. پس‌ازآن با محاسبه خطای کنتورها و هدر رفت آن‌ها، ضریب وزنی هدر رفت برای کل کنتورهای شهر و همچنین هدر رفت ظاهری کل برای محدوده موردمطالعه برآورد شده است. آن‌ها عمر مفید کنتور را ۵ تا ۶ سال برآورد کرده و کارکرد در ادامه عمر کنتور پس‌ازاین محدوده را به ضرر شرکت‌های آب و فاضلاب ارزیابی کردند. آن‌ها اعلام کردند که کنتورها در دبی کمتر از ۴۵ لیتر در ساعت کارکرد ندارند و مصارف با دبی کمتر از این مقدار، عملاً محاسبه نمی‌شود (Mehrdadi et al., 2008).

قاسمی رزوه و همکاران سن مناسب تعویض کنتور برای پیشگیری از زیان شرکت‌های آب و فاضلاب را حدود ۸ سال بهره‌برداری برآورد کردند. آن‌ها همچنین عنوان کردند سن کنتور را نمی‌توان تنها عامل مؤثر بر خطای کنتور قلمداد کرد و پارامترهای دیگری مانند کلاس کنتور، شرکت سازنده کنتور، فشار شبکه، نحوه نگهداری و بهره‌برداری و کیفیت مواد مصرفی نیز بر روی خطای کنتور مؤثر هستند(Ghasemi Razveh et al., 2019).

قصمی و همکاران با بررسی ۲۴۰۰ دستگاه از کنتورهای مشترکین مورد مطالعاتی خود، تأثیر عواملی همچون قطر کنتور، عمر کنتور، کلاس کنتور و میزان کارکرد کنتور (حجم آب عبوری از کنتور) بر میزان دقت کنتورها را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که کیفیت اندازه‌گیری کنتورها نسبت طبیعی با عمر و عدد شماره‌انداز کنتور ندارد و کنتورهای قدیمی‌تر دقت بیشتری در ثبت مصارف مشترکین نسبت به کنتورهای جدید دارند. آن‌ها گزارش دادند که دبی استارت در مورد مطالعاتی ۴ برابر حد مجاز و بیشتر از حداکثر حد قابل‌تحمل برای دبی استارت کنتور ۱۲ لیتر بر ساعت است که این موضوع باعث عدم ثبت مصارف زیر دبی استارت کنتور مشترک از قبیل مصارف مشترکین در هنگام پر شدن ثقلی مخازن ذخیره خانگی می‌شود. بنابراین در شبکه‌هایی که به دلیل کم‌فشار بودن شبکه توزیع، اغلب مشترکین ناچار به استفاده از مخازن ذخیره آب خانگی هستند، نیاز است که وضعیت دبی استارت کنتورهای مشترکین موردعنایت ویژه قرار گیرد (Ghassami et al., 2019).

رابطه مستقیمی بین انجام تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین و برنامه تعویض کنتور وجود دارد. تست خوشه‌ای می‌تواند به بهینه کردن فرایند تعویض کنتور کمک کند. ملایی و همکاران به ارزیابی تعویض کنتورهای مشترکین با کنتورهای اولتراسونیک پرداخته و گزارش کردند که کنتورهای اولتراسونیک جریان‌های تا ۵۰ درصد بیشتر از کنتورهای معمولی را نشان داده که با توجه به رابطه غیرخطی مصرف با آب بهاء تا ۱۱۳ درصد موجب افزایش درآمدهای شرکت آب و فاضلاب می‌شود (Mollaei et al., 2019).

بارانی و عبدالله قاضی به بررسی تأثیر تعویض کنتورهای خراب مشترکین بر افزایش درآمدهای شرکت آب و فاضلاب پرداختند. آن‌ها با بررسی طبقه مصرفی مشترکین و قیمت آب بهاء، زمان بازگشت سرمایه تعویض کنتورهای خراب مشترکین را حدود ۳/۵ سال برآورد کردند. آن‌ها گزارش دادند که تعویض کنتورها منجر به افزایش حدودی ۲۷ درصد مصرف آب شده که با اعمال طبقه‌بندی مشترکین باعث افزایش حدود ۶۸ درصد درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب شده است (Barani and Abdullah Ghazi, 2021).

نتایج مشابهی توسط (Amini and Eshthardiha, 2021, Delavari et al., 2016, Motiee Allah et al., 2018, Zabihi and Ehsani, 2020, Ekramnia and Alikhasi, 2011) گزارش شده است.

یکی دیگر از مسائلی که در مورد کنتورهای مشترکین و تست آن‌ها مطرح می‌شود، شرایط کاری کنتورها و نحوه استفاده مشترک از آب شبکه است. به‌عنوان‌مثال، می‌توان کارکرد مصرف آب مشترکین در دبی‌های پایین مانند مصرف آب کولرها را مطرح کرد. در همین راستا، امیدی کاشانی و دیمی به بررسی کارکرد کنتورهای مشترکین در محدوده مصرف کولرهای تبخیری مشترکین و کمتر از آن (تا محدوده دبی راه‌اندازی کنتور) پرداختند. آن‌ها با بررسی چند کنتور جدید به همراه چند کنتور کارکرده و مقایسه با یک کنتور اولتراسونیک، بیان کردند که بهترین محدوده کاری برای کنتورهای خانگی بین ۱۵ تا ۲۲ لیتر در ساعت است که در آن کنتورها کمترین خطا را دارند. آن‌ها با بررسی چندین وضعیت

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.508207.3473

سایکرومتریک مختلف در محدوده موردمطالعه خود، گزارش دادند که بیشترین مصرف آب کولر در شرایط دمای خشک بالا، رطوبت نسبی پایین و فشار هوای بیشتر، در محدوده ۵۶ لیتر در ساعت به‌دست‌آمده است. محدوده مصرف آب کولرها در دور بالای فن کولر بین ۸ تا ۵۵ لیتر در ساعت و در دور پایین فن بین ۸ تا ۴۵ لیتر در ساعت گزارش شده است. مورد بهره‌برداری دیگر کنتورها، نصب پمپ به‌صورت مستقیم بعد از کنتور است (Omidi Kashani and Deymi, 2021).

طالب‌بیدختی و کارگر شریف‌آباد به بررسی عددی تأثیر نصب پمپ بعد از کنتور پرداختند. نتایج نشان داد که در شرایط یکسان و در دبی‌های بیشتر از ۵۳۶ لیتر بر ساعت، سرعت چرخش پروانه نسبت به حالت بدون پمپ حداکثر ۱۷ درصد کاهش می‌یابد و درنتیجه کنتور نسبت به حالت بدون پمپ، دارای خطای منفی در اندازه‌گیری و به‌اصطلاح کم‌انداز می‌شود، اما در دبی‌های کمتر از ۷۵ لیتر بر ساعت، سرعت چرخشی پروانه نسبت به حالت بدون پمپ، تقریباً دو برابر افزایش می‌یابد و به همین ترتیب خطای اندازه‌گیری کنتور نسبت به حالت بدون پمپ، بیشتر و به‌اصطلاح پیش‌انداز می‌شود. مورد بهره‌برداری دیگر از کنتورهای مشترکین، مصرف غیرمجاز در قالب دستکاری کنتور است (Talebbydokhty and Kargarsharifabad, 2020).

بختیاریان و همکاران نیز افزایش قابل‌توجه در هزینه، خرابی کنتور و افت فشار را به دلیل پمپاژ مستقیم گزارش دادند(Bakhtiarian et al., 2018).

امینی به بررسی روش‌های مختلف داده‌کاوی برای تشخیص مشترکین با مصارف غیرمجاز بر اساس بررسی مشخصات و سوابق مشترکین با دستکاری کنتور و بدون دستکاری کنتور پرداخته و روش رگرسیون لجستیک را به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی کرده است (Amini, 2020).

با توجه به موارد بیان شده، می‌توان عنوان کرد که مشاهده جامعی بر روی کنتورهای مشترکین به شکلی که تعداد کنتور و محدوده مطالعاتی گسترده و مناسب داشته باشد، انجام نشده است. علاوه بر این، در پژوهش‌های گذشته، بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد کنتورهای مشترکین به‌صورت کامل انجام نشده است. همچنین تأثیر پارامترهای خاصی مانند فشار و دبی راه‌اندازی کنتور با توجه به سیاست‌گذاری‌های جدید شرکت‌های آب و فاضلاب مبنی بر کاهش فشار شبکه و همچنین رویکرد مشترکین به استفاده از پمپ و مخزن، اهمیت بیشتری پیدا کرده است.

در این پژوهش، به بررسی نتایج حاصل از انجام تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین پرداخته شد. ضمن ارزیابی دقت کنتورها، سعی شد تأثیر پارامترهای کلیدی بر روی دقت کنتورها، ارزیابی شود. در پایان، تلاش شد که بر اساس تحلیل‌های انجام شده، توصیه‌های لازم به متولیان امر، برای مدیریت بهینه کنتورهای مشترکین، ارائه شود.

۲- روش پژوهش

در این پژوهش، با انجام تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین در دبی‌های مختلف کارکردی کنتورها، به بررسی خطای کنتورها و عوامل مؤثر بر آن پرداخته شد. هدف از انجام تست، ارزیابی خطای کنتورهای کارکرده نصب شده در سیستم بود که عمده مزایای این کار در شکل ۱ نشان داده شده است.

ارزیابی کنتورهای مشترکین و خطای آن‌ها در سطح مشترکین سه مخزن انجام شد. لیست مخازن و تعداد و درصد نمونه‌های انتخابی در جدول ۱ نشان داده شده است. بنا به استانداردهای تعریف شده، توصیه می‌شود که نسبت تعداد تست کنتور به‌کل

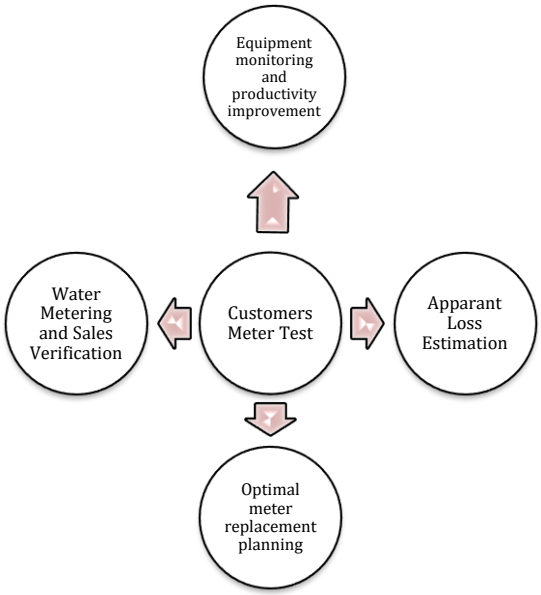

Fig. 1. Benefits of performing cluster testing of customers meters

شکل ۱- مزایای انجام تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین

جدول ۱- تعداد کنتورهای جامعه و نمونه آماری انتخابی در هر مخازن

Table 1. Number of population meters and selected statistical samples in each reservoir

Case study	Customer number	Test number	Test fraction
AA	5041	401	7.95%
BB	7503	301	4.01%
CC	309	40	12.94%

کنتورهای موجود در جامعه آماری بین ۱ تا ۴ درصد باشد (Water and Wastewater Company of Iran, 2023).

کنتورهای نصب شده در سطح مخزن از برندهای مختلف بوده است. تعداد کنتور ارزیابی شده از هر نوع به تفکیک قطر کنتور، در جدول ۲ نشان داده شده است. در صورتی که انتخاب کنتورها برای تست، متناسب با تعداد موجود کنتور از هر نوع و قطر آن‌ها باشد، مناسب است. با رعایت این نکته، با توجه به وابستگی مقدار خطابه این پارامترها (که در ادامه بررسی خواهد شد)، تعمیم نتایج تست به همه کنتورهای موجود در جامعه آماری، قابل‌قبول‌تر خواهد بود؛ بنابراین در این پژوهش تمرکز بر روی مدل کنتورهایی بود که تعداد قابل‌توجهی از آن‌ها در قطرها و دبی‌های مختلف تست شده بود و کنتورهایی که تعداد کمی از آن‌ها تست شده، در نتایج تحلیل وارد نشدند؛ زیرا به دلایل آماری امکان تعمیم نتایج آن‌ها وجود نداشت.

انشعاب مشترکین تست شده، دارای کاربری‌های مختلفی است. تعداد کنتورهای تست شده از هر نوع کاربری در قالب توزیع قطر کنتورهای تست شده در جدول ۳ نشان داده شده است. بخش عمده کنتورهای تست شده از نوع کاربری مسکونی و بخش عمده قطرهای کنتورها، قطرهای ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ است. کاربری مشترکین، در تعمیم نتایج تست در دبی‌های تست مختلف به ساعات مصرف مشترک در طول شبانه‌روز حائز اهمیت است.

برای انتخاب کنتورهای هدف، از لیست مشترکین مخزن‌های موردبررسی، به‌صورت تصادفی کنتورهای از خانواده‌های مختلف انتخاب شدند. برای انتخاب اندازه نمونه در هر مخزن، درصدی از کل مشترکین مخزن ملاک عمل قرار گرفت.

جدول ۲- تعداد کنتورهای تست شده از هر نوع

Table 2. Number of tested meters of each type

Row	Meter type	0.5 in Diameter	0.75 in Diameter	1 in Diameter	All	Percentage
1	A	33	82	11	126	17.0%
2	B	76	46	7	129	17.4%
3	C	26	72	0	98	13.2%
4	D	112	107	0	219	29.5%
5	E	32	46	1	79	10.6%
6	F	15	11	9	35	4.7%
7	G	34	0	0	34	4.6%
8	H	2	8	2	12	1.6%
10	I	0	3	0	3	0.4%
11	J	0	3	0	3	0.4%
12	Others	0	2	2	4	0.4%

جدول ۳- توزیع قطر کنتورهای تست شده به تفکیک کاربری

Table 1. Distribution of diameters of tested meters by usage

Usage	0.5 in Diameter	0.75 in Diameter	1 in Diameter	All	Percentage
Residential	285	341	28	654	88.1%
Residential-commercial	15	14	1	30	4.0%
Commercial	12	12	1	25	3.4%
Under construction	8	3	0	11	1.5%
Public and government places	10	10	2	22	3%
All	330	380	32	742	100%

برای انتخاب دبی‌های موردنظر، از دبی طراحی Q_3 و نسبت طراحی R که نسبت Q_3 به دبی راه‌اندازی است، استفاده شد. برای ارزیابی کنتورهای آزمایش شده، پارامترهای برند، فشار، عمر و حجم کارکرد کنتور بررسی شد.

درصد خطای قابل‌قبول برای کنتورهای مشترکین در دبی‌های مختلف در بازه‌های ۲± و ۵± درصد متفاوت است (Deputy for Strategic Planning and Supervision, 2012). در انجام میدانی تست کنتور، کنتور مرجع و کنتور مشترک به‌صورت سری باهم اتصال می‌یابند و حجم آب عبوری از آن‌ها آزمایش و مقایسه می‌شود. همچنین اندازه‌گیری فشار آب شبکه در محل انجام تست برای مقایسه فشار تست در کنتورهای مختلف، ضروری است.

کنتور مرجع باید کنتوری با کلاس کاری D باشد که بیشترین سطح دقت کنتورها است. همچنین کنتور مرجع باید قبل از شروع تست‌ها، مورد ارزیابی و در صورت لزوم کالیبراسیون قرار گیرد و درصد خطای آن در دبی‌های مختلف تعیین شود. همچنین در طول تست‌ها، اگر تعداد تست‌ها زیاد باشد، بهتر است که سلامت کنتور مرجع باز ارزیابی شود تا اطمینان مناسبی نسبت به عملکرد آن وجود داشته باشد.

به‌طورمعمول، بر روی بدنه کنتورهای مختلف دبی طراحی (Q_3) و مقدار نسبت دبی طراحی به دبی راه‌اندازی (R) نوشته می‌شود. تعیین دبی‌های تست کنتور بر اساس این دو پارامتر انجام می‌شود. انجام و بررسی تست‌ها مبتنی بر استانداردهای OIML-R49 از سازمان ملی استاندارد (Iran National Standards Organization, 2011) و دستورالعمل OP-205 شرکت مهندسی آب و فاضلاب (Water and Wastewater Company of Iran, 2023) است.

دبی‌های ۵ گانه تست در این پژوهش در جدول ۴ نشان داده شده است. قابل‌توجه است که این مقدار متناسب با نوع کنتور و عملکرد آن به‌خصوص در دبی‌های راه‌اندازی و حداکثر، ممکن است در تست‌های مختلف تا حدودی تغییر کند.

پس از انجام تست‌های موردنظر و جمع‌آوری داده‌های مرتبط با دبی و احجام اندازه‌گیری شده، دیتاستی از همه رکوردهای تست انجام شده ایجاد می‌شود. همچنین در این دیتاست مشخصات مشترک مورد تست و فشار اندازه‌گیری شده در محل تست اضافه می‌شود.

جدول ۴- دبی‌های پنجگانه تست کنتور

Table 2. Five flow rates of meters test

Row	Flow rate	Title	Flow rate order (Lps)
1	Q_1	Start	Related to Meter's R Value and Starting to Work
2	Q_2	Minimum	30
3	Q_3	Transition	120
4	Q_4	Stable	1000
5	Q_5	Maximum	1500

درنهایت، تحلیل آماری لازم بر روی داده‌های جمع‌آوری شده در دیتاست جامع مربوطه، انجام می‌شود. فلوچارت کلی انجام پژوهش به شرح شکل ۲ است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- کنتورهای خراب و ازکارافتاده

نتایج کلی آزمون انجام شده در جدول ۵ نشان داده شده است. تعداد ۱۰۹ تست نتایجی شامل ازکارافتادگی یا خطای بالای ۵۰ درصد نشان داده شده است. از این تعداد ۶۸ مورد شامل خطای بالای ۵۰ درصد در حداقل یکی از دبی‌ها و ۴۱ مورد شامل ازکارافتادگی است. قابل‌انتظار است که کنتورهای ازکارافتاده و کنتورهای با خطای بالای ۵۰ درصد به‌عنوان اولویت‌های اول و دوم تعویض کنتور قرار گیرند. از سوی دیگر، می‌توان مشاهده کرد که تعداد قابل‌قبولی از مقدار خطا در محدوده استاندارد ۲± یا ۵± درصد قرار می‌گیرند.

به‌صورت تخمینی برای جامعه آماری، درصدهای این دسته‌بندی از کنتورها را می‌توان به کلیت جامعه آماری تعمیم داد؛ یعنی از دید احتمالاتی، حدود ۶ درصد از کل کنتورهای شبکه موردمطالعه ازکارافتاده و حدود ۹ درصد از آن‌ها خطای بسیار زیادی دارند که عملاً کار کردن آن‌ها، توجیه فنی ندارد. از طرفی با در نظرگیری خطای استاندارد قابل‌قبول تعریف شده برای کنتورها تا سقف ۲ و ۵ درصد، می‌توان مشاهده کرد که آمار کنتورهای نیازمند تعمیر یا تعویض بیشتر می‌شود.

۳-۲- مدل کنتور

مقدار خطای انواع کنتور در ۵ دبی مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. مهم‌ترین نکته‌ای که از این شکل می‌توان دریافت

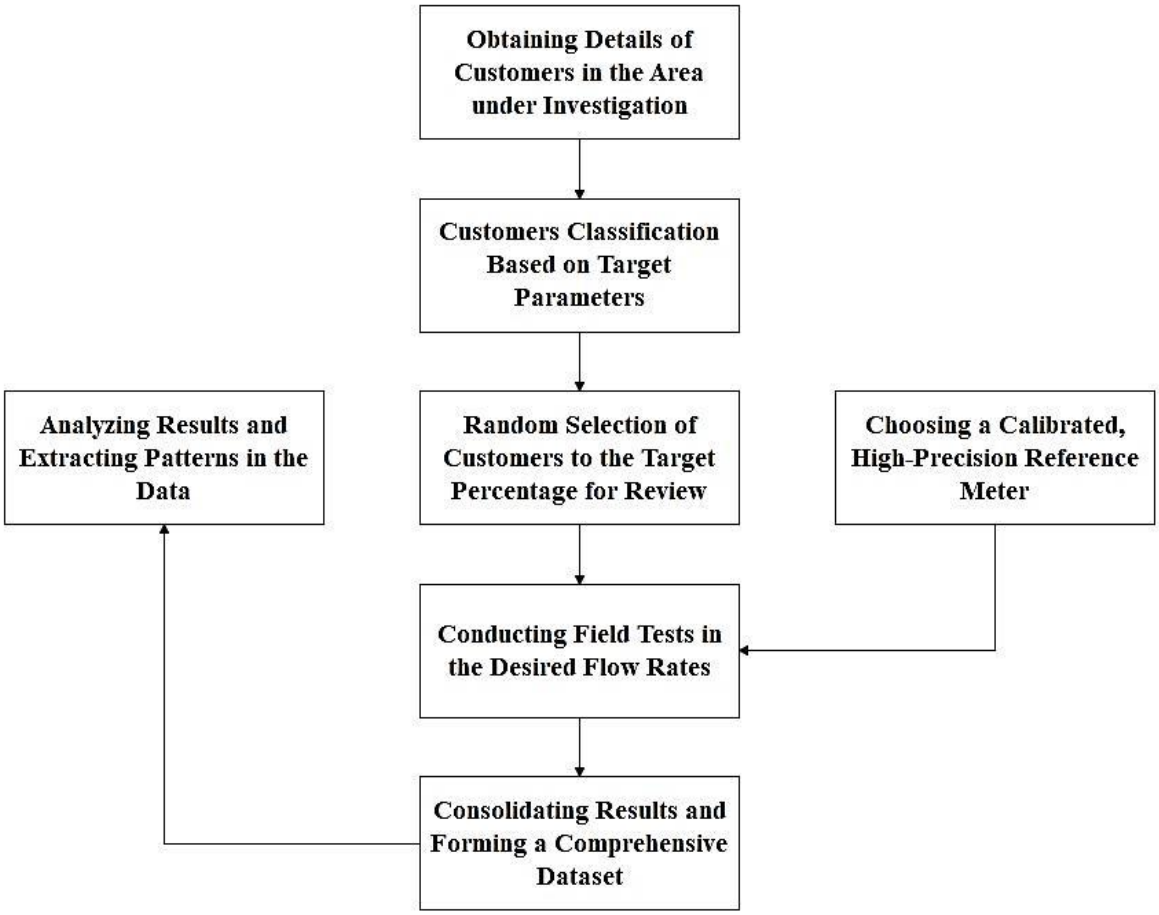

Fig. 2. The general algorithm of current study

شکل ۲- الگوریتم کلی انجام این پژوهش

جدول ۵- نتایج کلی آزمون برای ۷۴۲ تست در سه مورد مطالعاتی

Table 3. Overall test results for 742 tests in three case studies

Row	Title	All	Percentage of All	AA	Percentage of AA	BB	Percentage of BB	CC	Percentage of CC
1	Total number of tests	742	100%	401	100%	301	100%	40	100%
2	Total number of meters with an error between ±2%	125	17%	37	9%	74	25%	14	35%
3	Total number of meters with an error between ±5%	420	57%	198	49%	201	67%	21	53%
4	Total number of meters with an error between ±50%	633	85%	336	84%	267	89%	30	75%
5	Total number of meters out of order (at least 3 dB error above 100% or test not possible)	41	6%	29	7%	9	3%	3	8%

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.508207.3473

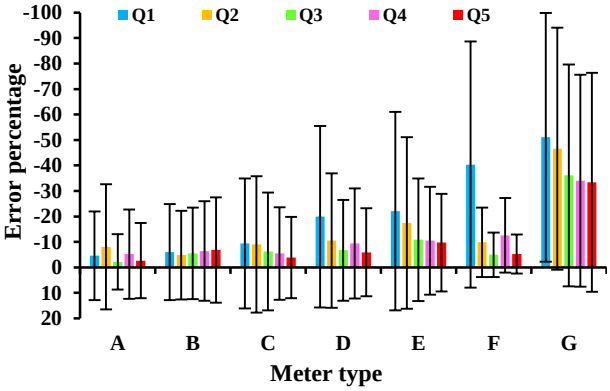

Fig. 3. Error value of meter models in five flow rates

شکل ۳- مقدار خطای مدل‌های کنتور در دبی‌های پنجگانه

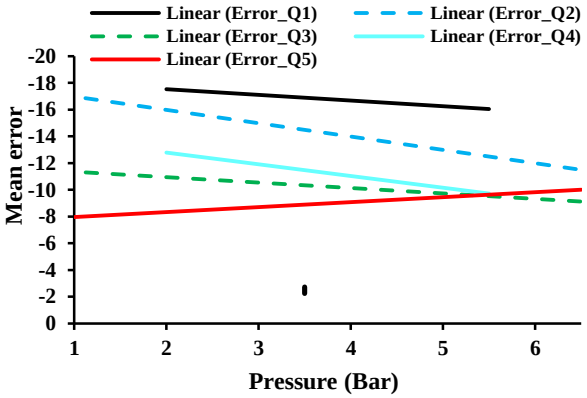

Fig. 4. Average error in terms of pressure

شکل ۴- خطای میانگین برحسب فشار

کرد، این است که خطای کنتور در دبی‌های مختلف، پیش از هر پارامتر دیگری، کاملاً وابسته به مدل کنتور و روش و کیفیت ساخت آن است. این امر به‌خوبی از دامنه متنوع و گسترده خطای کنتورها در مدل‌های مختلف مشهود است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که دامنه تغییرات خطا در هر دبی و در هر مدل، بسیار زیاد است. این امر بیانگر آن است که اندازه‌گیری خطا، از کنتور به کنتور، می‌تواند شرایط بسیار مختلفی داشته باشد.

داده‌های نمایش داده شده بیانگر آن هستند که با افزایش دبی تست کنتور، تقریباً در همه انواع کنتور، خطای کنتور کاهش پیدا کرده است. این بدین معنی است که کنتورها بیشترین خطای خود را در دبی کمینه کاری خود نمایش می‌دهند. این امر بیانگر آن است که کیفیت عملکرد کنتورها در دبی‌های پایین می‌تواند شاخصی برای قضاوت و مقایسه عملکرد آن‌ها باشد.

نکته مهم دیگر این است که تقریباً همه کنتورها به‌صورت میانگین، کم‌انداز هستند. به این معنی که حجم کمتری از میزان آب عبوری از خود را ثبت و نمایش می‌دهند. درنتیجه ازنقطه‌نظر مالی، محاسبه احجام مصرف به ضرر فروشنده آب اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین توجه به‌سلامت کنتورهای مشترکین و برنامه‌ریزی مناسب برای تست، تعمیر و یا تعویض آن‌ها، ازنقطه‌نظر مالی بسیار حائز اهمیت است.

۳-۳- فشار شبکه

تغییرات خطای میانگین برای دبی‌های مختلف با فشار در شکل ۴ نشان داده شده است. به‌طورکلی می‌توان گفت که با افزایش فشار، کنتورها به سمت نشان دادن افزایش در حجم اندازه‌گیری شده تمایل دارند. بدین معنی که با افزایش فشار، از مقدار کم‌اندازی کنتورها کاسته می‌شود.

بنابراین ازآنجاکه عمده کنتورهای مشترکین کم‌انداز هستند، افزایش فشار سبب بهبود دقت اندازه‌گیری و نزدیک‌تر کردن آن به سمت واقعیت در دبی‌های پایین می‌شود. این بدین معنی است که سیاست‌های کاهش فشار شبکه برای کم کردن مصرف مشترکین با توجه به کاهش مصارف وابسته به فشار و تأثیر بر سایر مصارف، باعث زمینه‌سازی برای افزایش خطای کنتور و درنتیجه افزایش هدر رفت ظاهری در دبی‌های پایین می‌شود.

این امر می‌تواند به حداقل مومنتوم جریان برای غلبه بر اصطکاک داخلی کنتور و به حرکت درآوردن آن در کنتورهای عقربه‌ای و توربینی برگردد. مشخصاً در دبی کمینه که جریان توان و مومنتوم کمتری دارد، تأثیر فشار بر خطای کنتور به شکل قابل‌توجهی برجسته است. همچنین با کاهش فشار، مصارف وابسته به فشار نیز کاهش می‌یابند. بنابراین دبی عبوری از کنتور نیز کاهش پیدا کرده که باعث پایین آوردن مومنتوم جریان عبوری می‌شود.

۳-۴- قطر کنتور

همان طور که بررسی شد، خطای کنتور وابسته به مدل آن است. بنابراین برای بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی میزان خطا، باید مقایسه محدود به مدل خاصی باشد و در حالت کلی، نمی‌توان نتایج حاصله برای یک مدل خاص را به همه انواع

مدل‌های کنتور، تعمیم داد.

مقایسه میزان خطای کنتورها در قطرهای مختلف برای ۵ دبی تست شده برای کنتور مدل A در شکل ۵ نشان داده شده است. این شکل بیانگر آن است که در محدوده دبی‌های مختلف، کنتور در قطرهای متفاوت رفتار متغیری از خود نشان می‌دهد. به شرحی که در دبی‌های پایین در قطر ۰/۵ اینچ، خطای بسیار کمی داشته و با افزایش قطر، رفتار متفاوتی در قطرهای ۰/۷۵ و ۱ اینچ مشاهده می‌شود. از طرفی در دبی‌های تست بالا، خطای کنتورها در قطرهای پایین بیشتر است و افزایش قطر، سبب کاهش میزان خطا می‌شود.

همچنین درصد خطای متوسط کنتورهای مدل D در دو قطر ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ، در ۵ دبی تست مختلف، در شکل نشان داده شده است. می‌توان مشاهده کرد که در این مدل، با افزایش قطر خطای اندازه‌گیری بیشتر و با افزوده شدن دبی تست نیز میزان خطای اندازه‌گیری کاهش می‌یابد.

رفتار متفاوت خطا برحسب دبی و قطر در این مدل کنتور، بیانگر آن است که سازوکار درونی این کنتور، رفتار و واکنش متفاوت‌تری نسبت به عبور جریان از آن و میزان دبی و سرعت عبوری دارد.

به‌طورکلی، می‌توان گفت با افزایش قطر کنتور، سرعت آب درگذر از کنتور کاهش پیدا می‌کند و این موضوع قدرت تشخیص کنتور در دبی‌های پایین را تضعیف می‌کند. از طرفی با افزایش قطر کنتور، دبی آب موردنیاز برای عبور نیز وابسته به مشترک و میزان تقاضای آب آن، بالا می‌رود که باعث عدم پاسخ‌گویی مناسب کنتور می‌شود.

به‌عبارت‌دیگر، عملکرد صحیح کنتور در قطرهای مختلف در مقابله با دبی‌های بالا و پایین، وابسته به توان و سرعت پاسخ‌گویی مکانیسم و سازوکار درونی کنتور است. این امر طبیعتاً به کیفیت کنتورها برمی‌گردد و فاکتور مناسبی برای انتخاب مدل‌های بهتر برای استفاده در شبکه توزیع آب است.

۳-۵- سن کنتور

سن کنتور یکی از عوامل تأثیرگذار بر روی میزان خطای اندازه‌گیری است. قابل‌انتظار است که با افزایش سن کنتور، احتمال بروز آسیب از انواع مختلف در آن‌ها بالاتر می‌رود. در شکل ۶

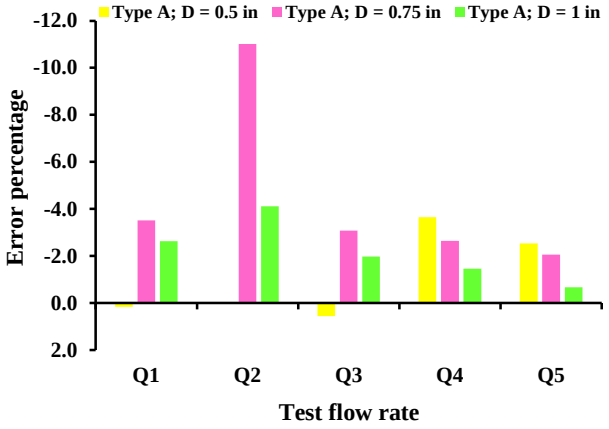

Fig. 5. Comparison of the error rate of meters in different diameters for type A meter

شکل ۵- مقایسه میزان خطای کنتورها در قطرهای مختلف برای کنتور نوع A

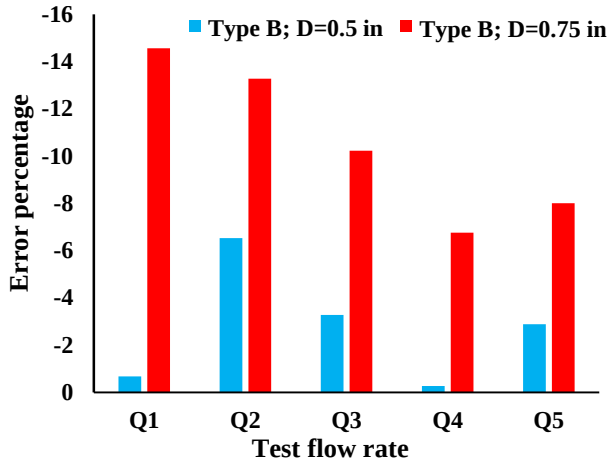

Fig. 6. Comparison of the error rate of meters in different diameters for type B meters for diameters of 0.5 and 0.75 inches

شکل ۶- مقایسه میزان خطای کنتورها در قطرهای مختلف برای کنتور نوع B برای قطر ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ

تغییرات میزان خطای اندازه‌گیری در ۵ دبی مختلف متناسب با سن کنتور نمایش داده شده است. می‌توان مشاهده کرد با افزایش سن کنتور به‌طورکلی روند افزایش خطا ادامه می‌یابد.

در همه دبی‌ها، با افزایش سن کنتور، خطای اندازه‌گیری به سمت کم‌اندازی بیشتر حرکت می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، هر چه سن کنتور افزایش یابد، میزان خسارت مالی آن از محل هدر رفت ظاهری، بیشتر می‌شود.

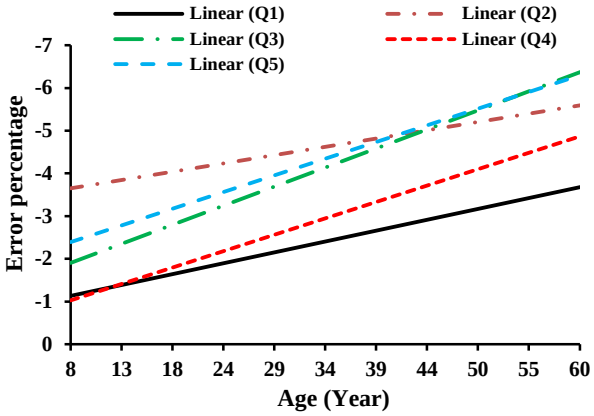

Fig. 7. Changes in measurement error at three different flow rates according to meter age

شکل ۷- تغییرات میزان خطای اندازه‌گیری در سه دبی مختلف متناسب با سن کنتور

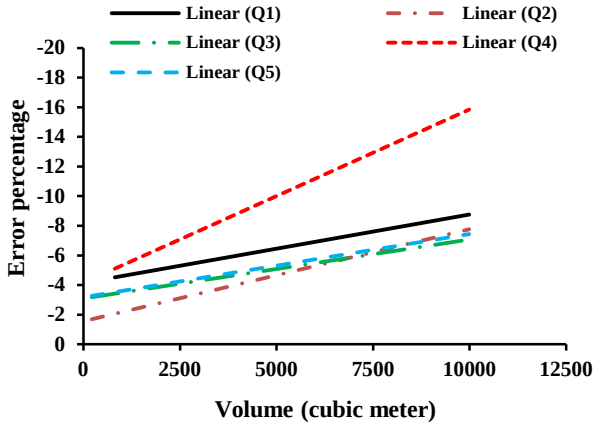

Fig. 9. Error changes with meter operation at different flow rates for a Model D meter with a diameter of 0.75 inches

شکل ۹- تغییرات خطا با کارکرد کنتور در دبی‌های مختلف برای کنتور مدل D در قطر ۰/۷۵ اینچ

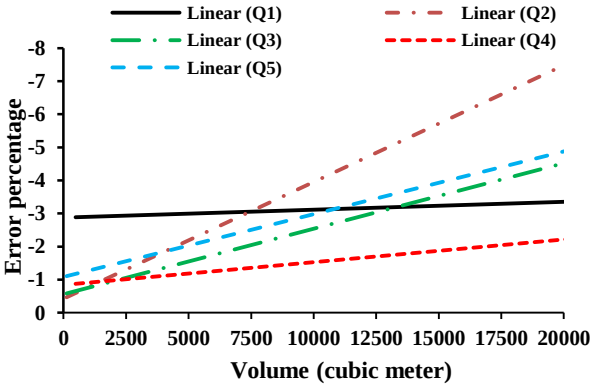

Fig. 8. Error changes with meter operation at different flow rates for a Model D meter with a diameter of 0.5 inches

شکل ۸- تغییرات خطا با کارکرد کنتور در دبی‌های مختلف برای کنتور مدل D در قطر ۰/۵ اینچ

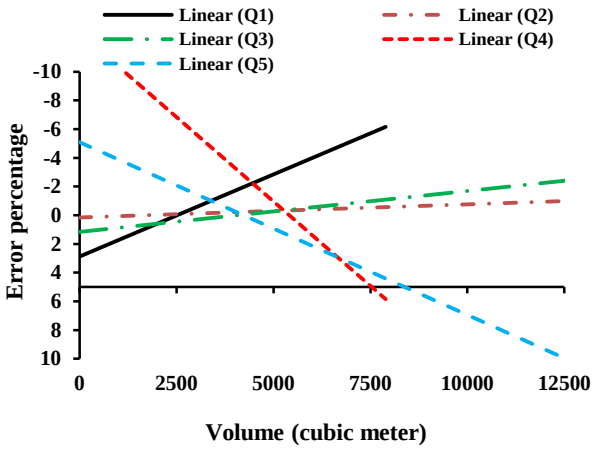

Fig. 10. Error changes with meter operation at different flow rates for a Model A meter with a diameter of 0.5 inches

شکل ۱۰- تغییرات خطا با کارکرد کنتور در دبی‌های مختلف برای کنتور مدل A در قطر ۰/۵ اینچ

۳-۶-کارکرد کنتور

پارامتر مؤثر دیگر بر عملکرد کنتور، کارکرد کنتور یا مقدار حجم آب رد شده از کنتور در طول عمر کاری کنتور است. میزان کارکرد به میزان مصرف آب هر اشتراک برمی‌گردد. هرچند انتظار بر این است که با افزایش سن کنتور، میزان کارکرد افزایش یابد، ولی میزان نهایی کارکرد، علاوه بر سن، به عملکرد مشترک نیز وابسته است؛ بنابراین لازم است که علاوه بر سن کنتور، میزان کارکرد کنتور نیز ارزیابی شود.

نتایج برای میانگین خطا برحسب کارکرد کنتور در نمودارهای شکل ۷ تا ۱۲ نمایش داده شده است. این نمودارها برای کنتورها مدل A و D در قطرهای مختلف ترسیم شده‌اند.

همان طور که نمودارها بیان می‌کنند، در کنتورهای مدل D با افزایش کارکرد کنتور، خطای کم‌اندازی کنتورها افزایش می‌یابد. این رفتار در هر ۵ دبی تستی قابل‌مشاهده است؛ هرچند شیب

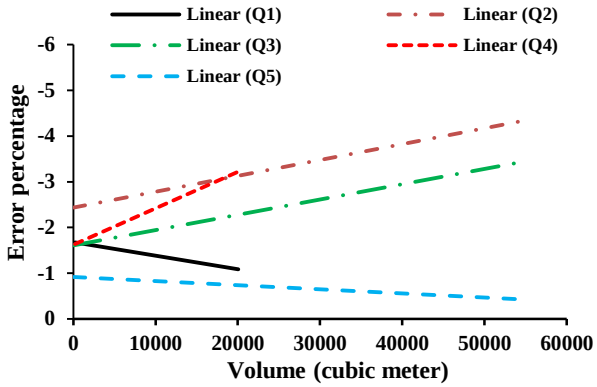

Fig. 11. Error changes with meter operation at different flow rates for a Model A meter with a diameter of 0.5 inches

شکل ۱۱- تغییرات خطا با کارکرد کنتور در دبی‌های مختلف برای کنتور مدل A در قطر ۰/۵ اینچ

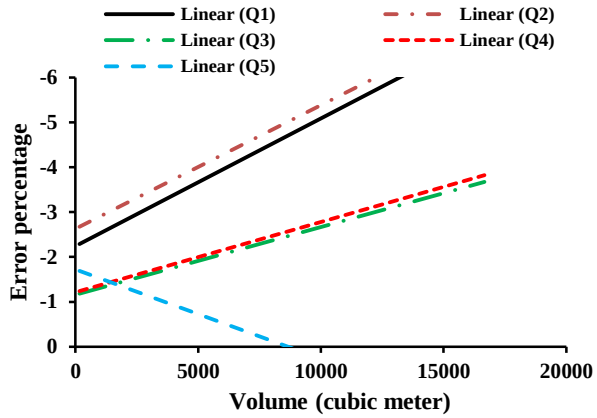

Fig. 12. Error changes with meter operation at different flow rates for a 1-inch diameter model A meter

شکل ۱۲- تغییرات خطا با کارکرد کنتور در دبی‌های مختلف برای کنتور مدل A در قطر ۱ اینچ

تغییرات در دبی‌های مختلف متفاوت است.

در کنتورهای نوع A رفتارهای متفاوتی در دبی‌ها و قطرهای مختلف مشاهده می‌شود. در قطر ۰/۵ اینچ در دبی‌های بالا با افزایش کارکرد، خطای کم‌اندازی کاهش یافته درحالی‌که در دبی‌های پایین، کنتورها کم‌اندازتر می‌شوند. از طرفی در قطر۰/۷۵ رفتار مشابهی از نظر کاهش میزان کم‌اندازی برای دبی‌های راه‌اندازی و حداکثر قابل‌مشاهده است و در قطر ۱ اینچ، این رفتار تنها در دبی حداکثر قابل‌مشاهده است.

این رفتارها را می‌توان از سازوکار داخلی کنتور و میزان تأثیرپذیری آن از سن و کارکرد کنتور دانست. با تحت تأثیر قرار گرفتن مکانیسم سنجش بر اثر پارامترهای مختلف، به‌صورت آماری می‌توان چنین رفتارهایی را قابل توجیه دانست.

۳-۷- دبی راه‌اندازی کنتور

دبی استارت یا دبی شروع به کار یا دبی راه‌اندازی کنتور یکی از پارامترهای مهم کنتورهای مشترکین است. کم بودن اندازه دبی راه‌اندازی از علائم کیفیت و کاهش خطای کنتور است. با توجه به وجود برخی مصارف مانند سیستم‌های تهویه مطبوع و کولرها در دبی‌های کارکرد پایین و همچنین گسترش رویکرد نصب پمپ و مخزن توسط مشترکین و آبگیری مخازن در دبی‌های پایین، این شاخصه کنتورهای مشترکین حائز اهمیت فراوان شده است.

تغییرات دبی راه‌اندازی کنتورهای مشترکین برحسب سن کنتور در شکل ۱۳ برای کنتور نوع D در قطرهای مختلف نشان داده شده است. همان طور که این نمودار نشان می‌دهد، با افزایش سن کنتور دبی راه‌اندازی کنتور نیز بیشتر می‌شود. این بدین معنی است که کنتورهای با سن بالاتر، توانایی اندازه‌گیری دبی‌های پایین را از دست می‌دهند و از این رهگذر، هدر رفت و کاهش درآمد مالی برای شرکت‌های آب و فاضلاب روی می‌دهد؛ بنابراین توجه به تغییرات دبی راه‌اندازی کنتور حائز اهمیت بوده و ضروری است که کنتورهای نو در حال نصب در شبکه، دبی راه‌اندازی پایینی داشته باشند که با افزایش سن آن‌ها، این مقدار به‌صورت قابل‌توجه بالا

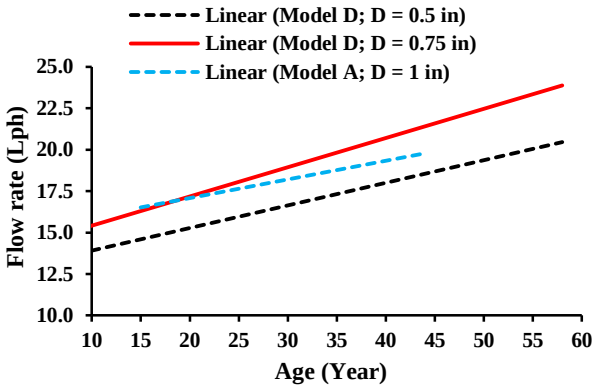

Fig. 13. Starting flow rates of customer meters based on meter age

شکل ۱۳- دبی راه‌اندازی کنتورهای مشترکین برحسب سن کنتور

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.508207.3473

نرود. همان طور که انتظار می‌رود، با افزایش دبی راه‌اندازی کنتور، خطای اندازه‌گیری کنتور در دبی‌های پایین نیز افزایش می‌یابد.

شکل ۱۴خطای کنتور برحسب مقدار دبی راه‌اندازی را نشان می‌دهد. همان طور که شکل نشان می‌دهد، با افزایش دبی راه‌اندازی، خطای کنتور نیز افزایش می‌یابد و کنتور حجم بیشتری را بدون اینکه مقدار آن را محاسبه کند، از خود عبور می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دبی راه‌اندازی کنتور تأثیر مهمی در محاسبه حجم در دبی‌های پایین دارد. با توجه به نمودار می‌توان گفت که به‌صورت حدودی دبی راه‌اندازی تا حداکثر ۱۵ لیتر بر ساعت می‌تواند خطای کنتور را در بازه استاندارد ۲± درصد حفظ کند.

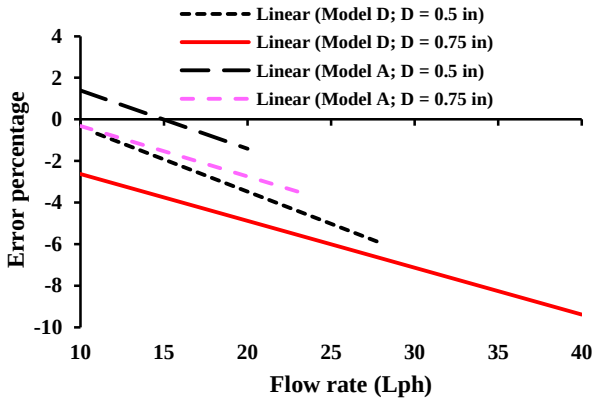

Fig. 14. Meter error depending on the starting flow rate

شکل ۱۴- خطای کنتور برحسب مقدار دبی راه‌اندازی

۴- نتیجه‌گیری

کنتورهای مشترکین به‌عنوان ابزار سنجش حجم آب فروشی به مشترکین توسط شرکت‌های آب و فاضلاب، ازنقطه‌نظر مالی و فنی اهمیت کلیدی دارد. بنابراین سنجش کمیّت و کیفیت این کنتورها به‌صورت مرتب طبق برنامه زمان‌بندی شده و هدفمند، ضروری است.

در این پژوهش، انجام تست در یک جامعه آماری گسترده در سطح سه مخزن با شرایط متنوع ازنقطه‌نظر نوع، قطر، فشار ورودی، سن و کارکرد انتخاب شد و با انجام تست میدانی در دبی‌های مختلف، دیتاستی از مشخصات مشترکین و کنتورهای مورد تست و نتایج تست‌های انجام شده ایجاد و تحلیل آماری بر روی داده‌های آن انجام شد.

با توجه به تحلیل نتایج انجام شده و تجربیات عملی حاصله، می‌توان موارد زیر را در راستای بهبود انجام تست خوشه‌ای کنتورهای مشترکین و مدیریت بهینه این تجهیزات ارائه داد:

- انتخاب کنتورهای موردنظر برای انجام تست، درعین‌حالی که باید جنبه تصادفی داشته باشد، باید تعداد هر نوع کنتور، متناسب با مدل کنتور، سازنده کنتور، قطر، کاربری، محدوده‌های فشاری شبکه و سایر عوامل احتمالی مؤثر بر عملکرد کنتور را در نظر داشته باشد.
- با توجه به پراکندگی نتایج حاصل از تست خطای کنتور، باید در تعمیم نتایج به مجموعه کنتورهای محدوده موردمطالعه، بااحتیاط رفتار کرد. به‌عبارت‌دیگر، ماهیت آماری تحلیل‌های انجام شده نباید نادیده گرفته شود.
- تراکم و موقعیت کنتورها در محدوده موردنظر برای انجام تست خوشه‌ای، پیش از انجام تست، بررسی شود.
- مشخصات عملکردی چون ساخت کنتورها باید بر اساس عمر و شرایط نصب هنگام نصب مستند شده و در تحلیل خطا برحسب زمان موردتوجه قرار گیرد.
- با توجه به تعداد کنتورهای تست شده از هر نوع و خوشه، تعمیم نتایج باید متناسب با خواص آماری نتایج بوده و عدم قطعیت‌ها و حاشیه اطمینان نتایج، مشخص شده باشند.
- وابستگی میزان خطای کنتورها در دبی‌های مختلف، به نوع کنتور وابسته است. با این وجود، به‌طورکلی می‌توان گفت که با افزایش سن و کارکرد کنتور، میزان کم‌اندازی آن‌ها افزایش می‌یابد.
- با کاهش فشار شبکه، به‌طور میانگین، میزان خطای کم‌اندازی به‌خصوص در دبی‌های پایین افزایش می‌یابد.
- با توجه به وضعیت فشار شبکه، باید وضعیت تجهیز مشترکین به پمپ و مخزن، بررسی شود. رابطه پمپ و مخزن با دبی راه‌اندازی و استارت کنتورها باید ارزیابی شود؛ زیرا معمولاً مخازن در طول شب در حال پر شدن با دبی پایین هستند که ممکن است این جریان توسط کنتورهای مشترکین به‌درستی اندازه‌گیری نشود.
- عمده کنتورهای موجود در شبکه آب و فاضلاب، کم‌انداز هستند و از این محل هدر رفت ظاهری قابل‌توجهی روی می‌دهد.
- با توجه به بررسی‌های انجام شده، برنامه‌ریزی‌های لازم برای پایش وضعیت و ارزیابی میزان خطای کنتورهای مشترکین و همچنین برنامه‌ریزی مناسب برای تعویض کنتورهای خراب و ازکارافتاده و همچنین کنتورهای با میزان خطای بالا، باید به‌صورت

مرتب در شرکت‌های آب و فاضلاب انجام شود.

برای پژوهش بیشتر در آینده، پیشنهاد می‌شود که به بررسی الگوی مصرف آب مشترک به‌صورت شبانه‌روزی پرداخته و میزان هدر رفت ظاهری از محل خطای کنتور مبتنی بر الگوی مصرف مشترک، برآورد شود.

۵- قدردانی

بدین‌وسیله از شرکت آب و فاضلاب منطقه ۳ شهر تهران برای انجام تست‌های میدانی کنتور و در اختیار قرار دادن داده‌های حاصل از آن‌ها برای تحلیل و ارزیابی، قدردانی می‌شود.

References

Amini, A. and Eshthardiha, H., 2021. The role of replacing worn-out meters on the optimal water consumption of household subscribers and increasing water prices (case study: Abfai, Region 1, Isfahan). *The 1st National Conference on Water Quality Management and the 3rd National Conference on Water Consumption Management.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Amini, Q., 2020. Modeling of unauthorized water consumption detection (case study: Qom). *Journal of Water and Wastewater*, 31(4), 184-193. (In Persian). https://www.doi.org/10.22093/wwj.2020.209875.2958.

Analoui, B., Taati, S. and Shahrjerdi, R., 2017. Analyzing the amount of unaccounted water due to errors in water subscriber meters using statistical methods (case study: Arak City). *The 1st National Conference on Water Consumption and Waste Management.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Bakhtiarian, M. R., Sadatipour, M. T., Rabani, M. and Eskandari, S., 2018. Investigating the effect of pump and on-site reservoir inside buildings and major utilities on water quality, case study: water distribution network in Tehran Azari district. *Journal of Water and Wastewater*, 29(3), 115-119. (In Persian). https://www.doi.org/10.22093/wwj.2017.87981.2418.

Barani, N. and Abdullah Ghazi, Z., 2021. The impact of replacing worn-out meters on increasing the income of water and wastewater companies. *The 5th National Conference on Fluid Flow Measurement in the Oil, Gas, Refining, Petrochemical and Water Industries.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Delavari, B., Keshavarz, S. and Sassani, A., 2016. Investigating subscriber consumption patterns and analyzing the economic efficiency of replacing broken meters in Borazjan City. *The 1st National Conference on Drinking Water Supply and Demand and Sanitation, Challenges and Solutions.* Isfahan, Iran. (In Persian). [Link]

Deputy for Strategic Planning and Supervision, 2012. *An Instruction to Identifying and Investigating Factors Affecting Unaccounted Water and Ways toReduce It (Publication No. 556).* (In Persian). [Link]

Ekramnia, A. and Alikhasi, M., 2011. Evaluating the accuracy of household meters and its impact on the actual amount of water consumption of residential customers. *The 4th Iranian Water Resources Management Conference.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Foroughi, H. and Rajabinasab, M., 2019. Results of cluster testing of subscriber meters and its impact on non-revenue water in Bardsir City (Kerman). *The 2nd National Conference on Water Consumption Management with an Approach to Reducing Waste and Recycling.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Ghanbari Adaivi, S., Molabashi, A. S. and Mahmoudi, A., 2018. Cluster testing of meters in Tiran City and investigation of factors affecting meter accuracy. *The 2nd Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering*. Isfahan, Iran. (In Persian). [Link]

Ghasemi Razveh, M., Molabashi, A. S., Mahmoudi, A. and Fathian, M., 2019. Determining the average age of meters for replacement based on the results of cluster testing of meters (case study of District 6 of Isfahan City). *The 2nd*

National Conference on Water Consumption Management with an Approach to Reducing Waste and Recycling. Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Ghassami, A., Amiriannejad, A., Zeidabadi, H. and Baghestani, P., 2019. Examining the results of cluster testing the accuracy of customer meters in Bandar Abbas City. *The 2nd National Conference on Water Consumption Management with an Approach to Reducing Waste and Recycling*. Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Iran National Standards Organization, 2011. *Water Meters for Cold Potable Water and Hot Water-Part 2: Test Methods (ISIRI-OIML R 49-2)*. Paris, France. [Link]

Mashayekh, M., Nabi Bidhendi, G., Mehrdadi, N. and Emami, A., 2021. Investigating the effects of subscriber meter errors on apparent losses in urban water distribution networks. *The 1st National Conference on Water Quality Management and the Third National Conference on Water Consumption Management.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Motiee Allah, A., Khosravi, H. and Jamshidi, M., 2018. The effect of replacing residential and single-unit customer meters on reducing apparent losses. *The Second Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering.* Isfahan, Iran. (In Persian). [Link]

Mehrdadi, N., Jalali Amin, F. and Haqullahi, A., 2008. Investigation of unaccounted water due to inaccurate subscriber meters. *Journal of Environmental Studies*, 34(48), 2-13. (In Persian). [Link]

Mollaei, M., Khosravi, M. and Damirchi, F., 2019. Investigating the impact of installing ultrasonic meters on subscriber consumption patterns and increasing income. *The 2nd National Conference on Water Consumption Management with an Approach to Reducing Waste and Recycling.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Omidi Kashani, B. and Deymi, O., 2021. Investigating the correct operation of domestic water meters in the range of water consumption of evaporative coolers according to the different atmospheric conditions for four cities of South Khorasan Province. *Journal of Water and Wastewater*, 32(3), 40-54. (In Persian). https://www.doi.org/10.22093/wwj.2020.250004.3067.

Pishyar, M., 2017. Case study of the accuracy of water meter performance of Sabzevar City subscribers. *The 1st National Conference on Water Consumption and Waste Management.* Tehran, Iran. (In Persian). [Link]

Salehi Servak, A., Borghei, S. M., Bostaney, F. and Hassani, A. H., 2006. Investigating methods and techniques for reducing unaccounted water: a case study of the city of Si Sakht. *Journal of Water and Wastewater*, 16(4), 72-76. (In Persian). [Link]

Talebbydokhty, H. and Kargarsharifabad, H., 2020. Numerical investigation of the effect of direct pump installation to the water network on the performance of domestic water meters. *Journal of Water and Wastewater*, 30(6), 107-118. (In Persian). https://www.doi.org/10.22093/wwj.2019.141217.2721.

Water and Wastewater Company of Iran, 2023. *Instructions Meter Error Test and Apparent Loss Analysis (OP205).*, Tehran, Iran. (In Persian)

Zabihi, Z. A. and Ehsani, A., 2020. Preparing a financial model for replacing broken meters for ABFA subscribers in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, based on the capacity of Note 18 of the Budget Law. *The 3rd Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering.* Shiraz, Iran. (In Persian). [Link]