Journal of Water and Wastewater, Vol. 32, No. 3, pp: 40-54

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

B. Omidi Kashani[1], O. Deymi[2]

1. Assist. Prof., Dept. of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
(Corresponding Author) b.kashani@birjand.ac.ir
2. MSc., Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

(Received Sep. 25, 2020 Accepted Nov. 15, 2020)

To cite this article:
Omidi Kashani, B., 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. Doi: 10.22093/wwj.2020.25004.3067. (In Persian)

Abstract

Water meters, as one of the most important components of the urban water distribution network, like other mechanical equipment, are gradually degraded and lose their desired efficiency. The poor performance of the water meter for estimating the amount of subscribers' water consumption has a negative effect on planning for the provision of water production resources and also causes financial losses to water and wastewater companies. Therefore, in the present study, the accuracy of measurement of domestic water meters including 2 new meters (Baylan and Talayeh) and 7 used meters (about 35 years old) has been experimentally investigated in the range of water consumption rates of evaporative coolers (up to the start-up flow-rate). For this purpose, each of the above meters is separately installed on the test bench and placed in the water flow path in series with an ultrasonic test meter (owned by South Khorasan Province Water and Wastewater Company) and a digital turbine meter (owned by the project manager). Then, the flow rate shown by each of these three meters (apparent flow rate) was simultaneously read and compared with the actual flow rate (measured by a calibrated container and a stopwatch). Therefore, in the range of flow rates of evaporative coolers, the error of meter operation in measuring the correct amount of water consumption (or unaccounted-for water) and the values of Root-Mean-Square Error can be determined. The

results showed that the best operating range of domestic meters is between 15 and 22 liters per hour and RMSE values for this range of rates for the two new meters of Baylan and Talayeh are 7.79 and 3.61 liters per hour, respectively. Also, the start-up flow-rate values for Baylan and Talayeh meters were measured at 13.8 and 7.7 liters per hour, respectively, which are closely similar to the results of other researchers. In addition, by changing the network's water pressure by means of a pressure regulating valve, the effect of this parameter on the accuracy of the meters is evaluated. Moreover, the effect of changing the parameters such as altitude, dry-bulb temperature, and relative humidity on water consumption of an evaporative cooler with a capacity of 7500 m^3/h was theoretically investigated for 4 cities of South Khorasan province. Through psychrometric calculations, it was observed that the highest consumption of water cooler occurred in conditions of high dry temperature, low relative humidity, and higher air pressure (Tabas city) at the rate of 56.39 L/h.

Keywords: Water Meter Errors, Apparent Flow-Rate, Actual Flow-Rate, Water Pressure, Dry-Bulb Temperature, Relative Humidity, Air Pressure.

dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.25004.3067

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۲، شماره ۳، صفحه: ۵۴-۴۰

بررسی صحت کارکرد کنتورهای آب خانگی در محدوده مصرف آب کولرهای تبخیری با توجه به شرایط مختلف اتمسفر برای چهار شهر استان خراسان جنوبی

بهزاد امیدی کاشانی[۱]، امید دیمی[۲]

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(نویسنده مسئول) b.kashani@birjand.ac.ir
۲- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(دریافت ۹۹/۷/٤ پذیرش ۹۹/۸/۲۵)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
امیدی کاشانی، ب.، دیمی، ا.، ۱۴۰۰، "بررسی صحت کارکرد کنتورهای آب خانگی در محدوده مصرف آب کولرهای تبخیری با توجه به شرایط مختلف اتمسفر برای چهار شهر استان خراسان جنوبی" مجله آب و فاضلاب، ۳۲(۳)، ۵۴-۴۰. Doi: 10.22093/wwj.2020.250004.3067

چکیده

کنتورهای آب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای شبکه توزیع آب شهری، مانند سایر تجهیزات مکانیکی، به مرور مستهلک شده و کارایی موردنظر خود را از دست می‌دهند. عملکرد ضعیف کنتور آب در برآورد صحیح میزان مصرف مشترکین، اثر سوئی بر برنامه‌ریزی برای تأمین منابع تولید آب داشته است و همچنین خسارت مالی وارده بر شرکت‌های آب و فاضلاب را در پی دارد. در این پژوهش، صحت کارکرد کنتورهای آب خانگی، شامل ۲ کنتور جدید (بایلان و طلایه) و ۷ کنتور کارکرده (با قدمت حدود ۳۵ سال)، در گستره دبی آب مصرفی کولرهای آبی-تبخیری و کمتر از آن (تا محدوده دبی راه‌انداز کنتور) به‌طور تجربی بررسی شده است. به این منظور، هر یک از کنتورهای فوق به‌طور مجزا همراه با یک کنتور اولتراسونیکِ مبنا متعلق به شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی و یک کنتور دیجیتالی توربینی متعلق به پژوهشگر بر روی میز آزمایشگاه نصب شد و به‌طور سری در مسیر جریان آب قرار گرفتند. سپس دبی نشان داده شده توسط هر یک از این ۳ کنتور (دبی ظاهری) به‌طور هم‌زمان قرائت شد و با دبی واقعی (قابل اندازه‌گیری به کمک ظرف مدرّج و کرونومتر) مقایسه شدند. بنابراین، خطای عملکرد کنتور در سنجش میزان صحیح آب مصرفی یا همان آب مصرفی به‌حساب نیامده و نیز مقدار خطای جذر میانگین مربعات در محدوده دبی آب مصرفی کولرها و کمتر از آن، قابل‌تعیین است. نتایج نشان داد که بهترین محدوده کاری کنتورهای خانگی بین ۱۵ تا ۲۲ لیتر در ساعت بوده و مقدار RMSE برای این محدوده مصرف آب، برای ۲ کنتور جدید بایلان و طلایه به‌ترتیب برابر ۷/۷۹ و ۳/۶۱ لیتر در ساعت است. همچنین مقدار دبی راه‌انداز برای کنتورهای بایلان و طلایه به‌ترتیب ۱۳/۸ و ۷/۷ لیتر در ساعت اندازه‌گیری شد که شباهت نزدیکی با نتایج سایر پژوهشگران دارد. با تغییر دادن فشار آب شبکه به کمک یک شیر تنظیم فشار، تأثیر این پارامتر نیز بر روی صحت کارکرد کنتورها ارزیابی شد. همچنین، اثر تغییر پارامترهایی از قبیل ارتفاع، دمای خشک و رطوبت نسبی هوا بر روی مصرف آب یک کولر تبخیری با ظرفیت ۷۵۰۰ مترمکعب در ساعت برای ۴ شهر استان خراسان جنوبی به‌طور تئوری بررسی شد و از طریق محاسبات سایکرومتریک مشاهده شد که بیشترین مصرف آب کولر در شرایط دمای خشک بالا و رطوبت نسبی پایین و فشار هوای بیشتر (شهر طبس) به‌میزان ۵۶/۳۹ لیتر در ساعت رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: خطای کنتورها، دبی ظاهری، دبی واقعی، فشار آب، دمای خشک، رطوبت نسبی، فشار هوا

dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.25004.3067

۱- مقدمه

انجمن بین‌المللی آب[1]، برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ میلادی، به‌منظور تبیین تمامی آب‌هایی که وارد شبکه آب شهری می‌شوند، استانداردی تحت عنوان ساختار و اصطلاحات بین‌المللی بالانس آب تدوین کرد. بر مبنای این استاندارد جهانی، آب بدون درآمد[2] شامل هدررفت واقعی و ظاهری آب و مصارف مجاز فاقد صورت‌حساب بوده که به‌عنوان یکی از مشکلات عمده سیستم تولید و توزیع آب، هیچ‌گونه درآمدی را برای شرکت‌های آب و فاضلاب به همراه ندارد (Moahloli et al., 2019). هدررفت واقعی یا آب بدون درآمد فیزیکی شامل نشت ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در خطوط شبکه توزیع و انتقال آب، نشت ناشی از کنتور و اتصالات و شیرآلات انشعابات و نشت ناشی از سرریز مخازن است (Poor Nosrat et al., 2010). در حالی که در هدررفت ظاهری یا آب بدون درآمد غیرفیزیکی، آب در حقیقت توسط مشترکین استفاده شده اما به‌دلیل عواملی از قبیل خطای ابزار اندازه‌گیری (کنتورهای مشترکین و کنتورهای خروجی تأسیسات)، خطای انسانی، خطای مدیریتی و خطای بهره‌برداری، مقدار واقعی این نوع مصارف مشخص نیست (Azali, 2010). تلفات ظاهری می‌توانند تا حدود ۳۹ درصد از هدررفت آب را در برخی شبکه‌های آبی به‌وجود آورند (Moahloli et al., 2019).

بر مبنای پژوهش‌های گذشته، بخش عمده تلفات ظاهری سیستم‌های آب‌رسانی مربوط به خطای کنتورهای آب مشترکین است. کنتورهای آب یکی از ابزارهای بسیار مؤثر برای اندازه‌گیری میزان جریان در شبکه‌های توزیع آب شهری هستند. اصلاح کنتورها و افزایش دقت در آنها موجب افزایش بهره‌وری شبکه توزیع آب، استفاده بهینه از منابع آب و کاهش میزان آب بدون درآمد خواهد شد (Ekramnia and Alikhasi, 2011). از جمله خطاهای مربوط به کنتورهای آب، خطای اندازه‌گیری دبی حداقل یا دبی استارت کنتور است، یعنی باید حداقل مقدار آب از کنتورها خارج شود تا چرخ‌دنده شروع به گردش کند، بنابراین از این نظر دقت لازم را ندارند.

یکی از مصارف با دبی پایین‌تر از دبی استارت که کنتورهای خانگی قادر به اندازه‌گیری آن نیستند، مصارف مربوط به کولرهای آبی است. از آنجایی که میزان مصرف آب کولرهای کمتر از ۷۵۰۰ مترمکعب در ساعت همگی زیر ۳۵ لیتر در ساعت است، بنابراین کلیه مصارف این کولرها اگر به‌طور جداگانه در هر واحد مسکونی استفاده شوند، اصلاً به‌طور دقیق ثبت کنتورهای خانگی معمولی نمی‌شود. بنابراین، کارکرد صحیح کنتورهای آب برای ثبت دقیق مقدار آب مصرف شده توسط مشترکین، از نظر اقتصادی حائز اهمیت است.

تاکنون تحلیل‌ها و پژوهش‌های متعددی در ارتباط با ارزیابی میزان آب بدون درآمد و تعیین دقت کنتورهای مشترکین خانگی، در قالب پژوهش‌های گوناگون انجام شده است که هر یک از آنها از مدل‌ها و روش‌های متعددی با توجه به اهداف و فرضیات خود استفاده کردند. در ادامه به مهم‌ترین پژوهش‌های مرتبط اشاره مختصری می‌شود:

خسروی و همکاران، تأثیر بهینه‌سازی و کاهش قطر کنتورهای آب خانگی را بر روی اندازه‌گیری جریان‌های ضعیف و بر الگوی مصرف مشترکین تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب استان گلستان ارزیابی کردند. در این طرح که از ابتدای بهمن‌ماه ۱۳۹۴ شروع شد و تا پایان سال ۱۳۹۵ به طول انجامید، تعداد ۱۷۸۳ کنتور سایز بالای سه‌چهارم اینچ تعدیل قطر شد. پس از آنالیز نتایج، متوسط مصارف مشترکین در قبل و بعد از تعویض کنتور استخراج شد که به‌ازای هر کنتور ۱۶ مترمکعب در ماه افزایش مصرف مشاهده شد (معادل رشد ۴۷ درصدی مصرف). بنابراین پژوهشگران ابراز داشتند که کاهش قطر کنتورها سبب افزایش دقت در حجم آبِ اندازه‌گیری شده و همچنین موجب کاهش هزینه‌های نگهداری کنتور شده است (Khosravi et al., 2017).

در پژوهش دیگری توسط جعفری و همکاران در سال ۱۳۹۵، تأثیر تعویض کنتورهای فرسوده مشترکین شهر همدان بر روی کاهش آب بدون درآمد بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که دبی استارت کنتورهای فرسوده حداقل ۲۵ لیتر در ساعت بوده است، در حالی که کنتورهای جدید دارای دبی استارت حدود ۸ لیتر در ساعت بوده‌اند. همچنین به‌طور میانگین میزان حجم آب اندازه‌گیری نشده هر کنتور خانگی بر اساس میانگین خطاهای به‌دست آمده در تست دبی‌های مختلف ۳۸ مترمکعب در سال گزارش شد(Jafari et al., 2016).

پولادی در سال ۱۳۹۷ میزان تأثیر قدمت کنتورهای آب شهر

[1] International Water Association (IWA)
[2] Non-Revenue Water (NRW)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.25004.3067

کازرون را بر روی دقت اندازه‌گیری بررسی کرد. وی اظهار داشت که قدمت کنتورها تأثیر مستقیمی بر روی دقت محاسبه میزان مصرف داشته است و مشخص شد که میزان مصرف آب پس از تعویض کنتورهای قدیمی رشد معناداری پیدا کرده است (از ۳۷/۳ مترمکعب در سال ۱۳۹۵ به ۴۵/۱ مترمکعب در سال ۱۳۹۶ رسیده است) (Pooladi, 2018).

دو پلسیز و هافمن در سال ۲۰۱۵ با توجه به بحران آب در آفریقای جنوبی و اهمیت آب بدون درآمد، به بررسی دقت کنتورهای خانگی پرداختند. در این پژوهش، به‌صورت خاص به تأثیر عواملی مانند عمر کنتور و میزان مصرف آب و رابطه آنها با میزان خطا توجه شده است. نتایج نشان داد که ۷۱/۵ درصد از کنتورهای مورد بررسی در محدوده خطای ۲± درصد قرار داشته‌اند (Du Plessis and Hoffman, 2015).

طی پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۵، امبابازی و همکاران، به بررسی کاهش دقت کنتورهای آب خانگی در سیستم توزیع آب کامپالا (پایتخت کشور اوگاندا) پرداختند. این پژوهش، با بهره‌گیری از الگوهای مصرف بهینه و روش تحلیل مقایسه‌ای صورت‌حساب مشترکین، برای ۲ مدل کنتور از نوع حجمی (مدل I و مدل II) و یک مدل کنتور از نوع سرعتی با سایز ۱۵ میلی‌متر (مدل III) انجام شده است. پس از انجام آزمایش‌ها، نرخ کاهش دقت کنتورها به‌صورت ۶/۶۷ درصد در سال برای کنتور مدل I، ۴/۶۸ درصد در سال برای کنتور مدل II و ۱/۴۵ درصد در سال برای کنتور مدل III تعیین شد (Mbabazi et al., 2015).

کوبه و تایبنو در سال ۲۰۱۸ یک روش آنالیز مقایسه‌ای بهبود یافته را که ترکیبی از تکنیک‌های آمایش داده، تحلیل خوشه‌بندی و تحلیل رگرسیون کلاسیک بر روی داده‌های صورت‌حساب ماهانه یک شرکت آب در ژوهانسبورگ آفریقای جنوبی بود، معرفی کردند. با استفاده از این روش، یک برآورد میانگین از تلفات ظاهری که ناشی از خطاهای اندازه‌گیری (عدم‌دقت کنتور) بود، به میزان ۸/۲ درصد حاصل شد (Ncube and Taigbenu, 2019).

موآهلولی و همکاران در سال ۲۰۱۹ با هدف تعیین دوره بهینه تعویض کنتورهای آب خانگی به‌منظور کمینه‌سازی تلفات ظاهری آب، سهم عوامل مؤثر بر دقت کنتور را تحلیل کردند. با بررسی یک بانک اطلاعاتی مدیریت کنتور آب و استفاده از روش خطای نسبی کنتور، میزان تلفات ظاهری آب ناشی از عدم‌دقت کنتور آب خانگی (به واسطه عمر کنتور و حجم کل ثبت شده آن) برای شبکه مورد بررسی، برابر با ۱۸۱۴ لیتر به‌ازای هر کنتور در ماه تعیین شد که معادل ۲/۸۱ درصد از حجم آب ورودی به کل شبکه بوده است (Moahloli et al., 2019).

بنا بر آنچه که مطرح شد، در این پژوهش از بین پارامترهای مختلفی که منجر به هدررفت آب و ایجاد خطا در تخمین میزان مصرف مشترکین و درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب می‌شود، خطای اندازه‌گیری کنتورها در مصارف مربوط به کولرهای آبی (به‌عنوان مصارف با دبی کم) بررسی و ارزیابی شد. استفاده از کولرهای آبی در منطقه خراسان جنوبی که دارای اقلیمی نیمه‌خشک است، به‌دلیل رطوبت نسبی کم و درجه حرارت بالای هوا، کاربرد وسیع و چشمگیری دارد. ازاین‌رو، با در نظر داشتن مصرف زیاد آب در کولرهای آبی، توجه به دقت کنتورهای مشترکین در اندازه‌گیری مصرف آب این کولرها، امری پر اهمیت و ضروری است.

۲- مواد و روش‌ها

با سری کردن یک کنتور معمولی مسکونی (شامل کنتور جدید بایلان، کنتور جدید طلایه و ۷ کنتور کارکرده) با کنتور توربینی (ساخت سوئیس) و کنتور اولتراسونیک، و به‌کارگیری ۴ فشارسنج با محدوده کاری ۱ تا ۶ بار و یک شیر سوزنی و یک شیر فشارشکن مطابق شکل ۱ می‌توان میزان کارکرد ۳ کنتور را به‌طور هم‌زمان اندازه‌گیری کرد و در نهایت مقدار خطای کنتورهای خانگی را نسبت به کنتور محک (اولتراسونیک) تعیین کرد. آزمایش‌های تجربی در شرایط پایا در طول مدت‌های زمانی مختلف ۵ دقیقه، ۱۵ دقیقه و یا ۳۰ دقیقه انجام شده است. شماتیکی از نحوه قرارگیری کنتورها و سایر عناصر موردنیاز آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.

کنتور توربینی مورد استفاده در این پژوهش، از مدل VISION® 2000 بود که برای مایعات غیرخورنده با ویسکوزیته پایین در محدوده ۰/۸-۱۶ mm^2/s برای اندازه‌گیری جریان‌های بسیار ضعیف با نرخ ۰/۵ تا ۳۵ لیتر بر دقیقه بسیار مناسب است. این کنتور همچنین دارای دقت ۳± درصد، تکرارپذیری کمتر از ۰/۵ درصد، محدوده‌ی دمایی ۲۰- تا ۱۰۰+ درجه سلسیوس، حداکثر فشار عملیاتی ۲۵ bar و فشار ترکیدگی ۲۰۰ bar است. اندازه قطر اسمی این کنتور برابر ۶ mm است.

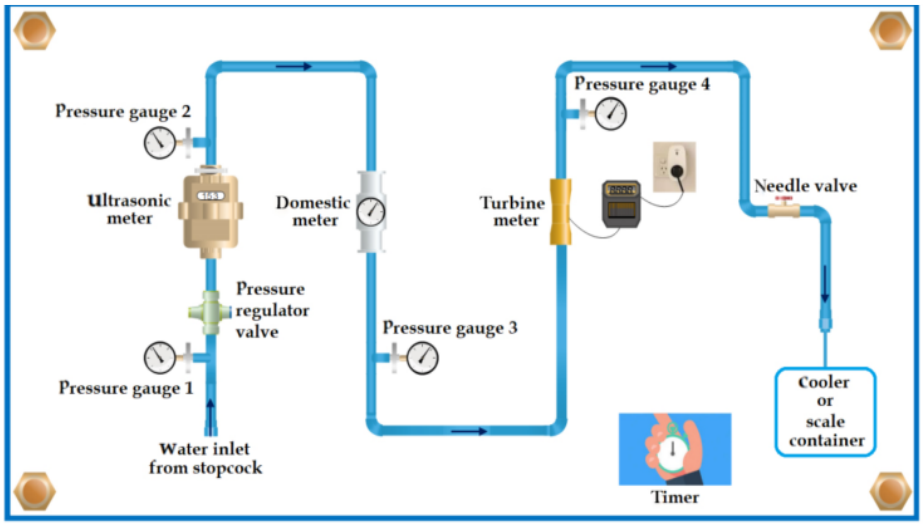

Fig. 1. The arrangement of the meters with other elements on the test bench

شکل ۱- چیدمان کنتورها به همراه سایر عناصر بر روی میز آزمایش

کنتور اولتراسونیک استفاده شده در این پژوهش، یک کنتور الکترونیکی Badger Meter E-Series® از مدل E-25(5/8") است، که با داشتن یک محفظه فشرده و محکم از جنس فولاد ضدزنگ و مقاوم در برابر هوا و اشعه فرابنفش، در شرایط کاملاً قابل غوطه‌ور در آب و نیز در لوله‌کشی افقی یا عمودی قابل‌نصب است. محدوده عملیاتی ۹۵-۰/۴ L/min، افت فشار ۰/۳ bar، محدوده دمایی ۱ تا ۶۰ درجه سلسیوس، رطوبت صفر تا ۱۰۰ درصد، حداکثر فشار عملیاتی ۱۲ bar و اندازه قطر خارجی ۱۵ mm (پنج هشتم اینچ) از جمله مشخصات این کنتور است. در گستره دماهای معمولی، دقت این مدل کنتور در جریان‌های عادی برابر ۱/۵± درصد و در محدوده جریان‌های اندک یا ضعیف برابر ۳/۰+ درصد است.

در بررسی‌های انجام شده، محل نصب میز آزمایش در نزدیکی کولر (بالای پشت بام یا داخل آپارتمان) انتخاب شده بود، در صورتی که در شرایط واقعی تمامی کنتورها در کف محوطه ساختمان و در معرض فشارهای بیشتری نسبت به محل نصب کولر قرار دارند، به‌عبارت دیگر، فشار آب در کنتور همیشه بیش از فشار آب در محل استفاده کولر است. در این پژوهش، با کمک شیر فشارشکن که بر روی میز آزمایش قرار گرفته، امکان تغییر فشار پشت کنتور و همین‌طور کل مسیر تا کولر فراهم شده بود. نکته دیگر اینکه، در طول انجام آزمایش‌ها، به‌دلیل استفاده ساکنان ساختمان از شبکه آب، فشار آب به‌طور ثابت باقی نمانده و ممکن است موجب بروز خطا در نتایج شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود این موارد نیز در پژوهش‌های بعدی بیشتر مورد توجه قرار گیرند.

در این پژوهش، آزمایش‌ها به دو قسمتِ «با استفاده از کولر» و «بدون استفاده از کولر» تقسیم‌بندی شده‌اند. با توجه به شرایط آب و هوایی و شروع پروژه در شهریور ماه ۱۳۹۸، تنها یک مرحله از آزمایش‌ها با کولر قابل‌انجام بود.

۲-۱- آزمایش‌های مرحله اول (با کولر)

در این بخش، ضمن در نظر داشتن مدار شکل ۱، به همراه یک کولر آبی ساخت شرکت لورچ (مدل LC70) با ظرفیت هوادهی ۸۳۰۰ مترمکعب در ساعت و بازده خنک‌کاری ۸۰ درصد، کارکرد کنتور جدید بایلان (ساخت ترکیه) بررسی شد. این کولر در پشت‌بام یک آپارتمان دو طبقه قرار گرفته که مربوط به طبقه همکف است. طول اولیه کانال حدود ۵ متر است که در داخل ساختمان نیز به ۴ قسمت با کانال‌های فرعی تقسیم شده است. بنابراین، آزمایش در شرایط واقعی کولر و در ۲ دور کند و تند انجام شد. آزمایش مذکور در شهر بیرجند در روز ۸ شهریور ۱۳۹۸ که درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا به‌ترتیب ۳۵ درجه سلسیوس و ۳۲ درصد اندازه‌گیری شد، انجام شد. فشار آب نیز در این مرحله برابر ۳/۲ بار یعنی بدون کاهش فشار بود.

dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.25004.3067

۲-۲- آزمایش‌های مرحله دوم (بدون کولر)

در مرحله دوم آزمایش‌ها، با توجه به فصل پاییز و عدم امکان استفاده از کولر، کارکرد کنتورها در گستره دبی‌های موردنظر مصرف کولرها، خصوصاً در دبی‌های پایین بررسی شد. در این مرحله، از ۲ کنتور جدید مختلف (بایلان و طلایه) و ۷ کنتور کارکرده با شماره‌های اشتراک مشخص استفاده شد. این کنتورها به‌طور جداگانه همراه با ۲ کنتور اولتراسونیک و توربینی مانند بخش ۲-۱ آزمایش شدند. با این تفاوت که در این قسمت، کولر از مدار خارج شده و جریان آب عبوری از هر ۳ کنتور در انتها به درون یک بشر ریخته و دبی عبوری نیز به‌طور چشمی توسط یک کرونومتر اندازه‌گیری شد. در اینجا، برای ارزیابی دقت کارکرد کنتورهای خانگی، مقدار نرخ جریان قرائت‌شده از هر یک، با مقدار ۲ کنتور اولتراسونیک و توربینی مقایسه شد و همچنین برای ارزیابی صحت کارکرد این کنتورها، آن مقدار نرخ جریان با مقدار حاصل از اندازه‌گیری‌های بشر و کرونومتر مقایسه شدند. در این پژوهش، ارزیابی صحت کارکرد کنتورها مدنظر بود.

۲-۳- بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر مصرف آب کولر

از آنجایی که مقدار فشار هوا، دمای خشک محیط و رطوبت نسبی هوای هر منطقه جغرافیایی با توجه به ارتفاع آن منطقه از سطح دریا در طول روز تفاوت دارد، بنابراین میزان مصرف آب کولرها نیز تحت تأثیر این پارامترها قرار می‌گیرد. در این مرحله، با توجه به کمبود امکانات و زمان محدود انجام پروژه، بررسی اثر تغییر پارامترهای اتمسفریک شامل دمای خشک محیط، رطوبت نسبی و فشار هوا، تنها به‌صورت تئوری انجام شد. با توجه به تنوع جغرافیایی منطقه خراسان جنوبی، برای ۴ شهر مختلف، تأثیر این عوامل محیطی بر مصرف آب کولر با استفاده از برنامه EES[1] بر مبنای محاسبات سایکرومتریک[2] ارزیابی شد. این ۴ شهر به همراه ارتفاع از سطح دریا و فشار هر کدام در جدول ۱ مشخص شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمایش‌های مرحله اول (با کولر)

مطابق توضیحات بخش ۲-۱، مقدار دما و رطوبت نسبی هوای خروجی کولر و هوای خروجی دریچه (داخل اتاق) در دور کند و تند کولر بر طبق جدول ۲ است. بر اساس شکل ۱، مقدار دبی آب مصرفی برای ۳ کنتور شامل کنتور خانگی بایلان، اولتراسونیک و توربینی در آزمایش روز ۸ شهریور ۱۳۹۸ به‌طور هم‌زمان اندازه گرفته شدند، که نتایج آن مطابق جدول ۳ است.

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقدار خطای کنتور جدید بایلان نسبت به کنتور محک (اولتراسونیک) در دور کند و تند کولر به‌ترتیب صفر و ۱۰- درصد است. لازم به ذکر است که همواره کنتور توربینی مقدار بیشتری را نسبت به هر دو کنتور دیگر نشان داده است.

جدول ۱- شهرهای منتخب استان و متوسط فشار اتمسفریک هر منطقه

Table 1. Selected cities of the province and average atmospheric pressure of each region

City	Tabas	Nehbandan	Birjand	Sarbisheh
Elevation above sea level (m)	661	1185	1491	1817
Atmospheric pressure (kPa)	93.610	87.861	84.673	81.342

جدول ۲- دما و رطوبت نسبی در خروجی کولر و خروجی دریچه

Table 2. Temperature and relative humidity at cooler outlet and valve outlet

Fan speed	Temperature (°C)		Relative humidity (%)	
	Cooler outlet	Valve outlet	Cooler outlet	Valve outlet
Slow-turning	19.80	20.00	88.00	68.00
High-turning	17.97	20.00	88.00	70.00

جدول ۳- مقدار دبی جریان در سه نوع کنتور برحسب دور کولر

Table 3. Flow rate values in the 3 types of meters in terms of fan speed

Fan speed	Average flow rate (liter per hour)		
	Domestic meter (Baylan)	Ultrasonic meter	Turbine meter
Slow	18.00	18.00	19.08
High	18.00	20.00	23.60

[1] Engineering Equation Solver (EES)
[2] Psychrometric Calculations

جدول ۴- مقدار دبی جریان قرائت‌شده از کنتور جدید بایلان در فشار آب ۳ بار

Table 4. Flow rate values of the new Baylan meter at water pressure 3 bar

Real flow rate (liter per hour)	Apparent flow rate (liter per hour)			Error percentage (relative to ultrasonic meter)
	Domestic meter (Baylan)	Ultrasonic meter	Turbine meter	
13.8	0.0	9.0	14.4	-100
16.4	16.5	15.0	17.4	+10
21.8	21.0	21.0	24.0	0
32.7	25.5	30.0	35.7	-15

۳-۲- نتایج آزمایش‌های مرحله دوم (بدون کولر)

در این بخش، نتایج حاصل از ارزیابی کارکرد کنتورهای خانگی مختلف جدید و کارکرده و مقایسه با دو کنتور اولتراسونیک و توربینی، بدون به‌کارگیری کولر، ارائه شده است. دبی واقعی از طریق محاسبه زمان پر شدن بشر ۱ لیتری به‌دست آمد.

۳-۲-۱- مقدار قرائت‌شده توسط کنتور جدید بایلان در فشار آب ۳ بار

در جدول ۴ و شکل ۲ کارکرد سه کنتور مختلف شامل کنتور جدید بایلان، کنتور اولتراسونیک و توربینی با مقدار واقعی دبی مقایسه شده است. همچنین مقدار اندازه‌گیری دبی آب مصرفی کولر در ۸ شهریور ۱۳۹۸ در دور کند و تند بر روی این شکل افزوده شده است (دو نقطه آبی و سبز).

طبق شکل ۲ مشاهده می‌شود که:

الف) در محدوده دبی‌های حدود ۱۶ لیتر در ساعت به پایین، به‌تدریج دقت کنتور خانگی بایلان کم شده تا اینکه در دبی ۱۳/۸ لیتر در ساعت هیچ مقداری را نشان نمی‌دهد. گرچه کنتور اولتراسونیک به‌دلیل قطر بالای ورودی و خروجی آن از محدوده صحت خود خارج شده و به‌مراتب کمتر از مقدار واقعی را نشان می‌دهد، اما کنتور توربینی علاوه بر نزدیکی به مقدار واقعی دبی، همچنان توانایی نمایش دبی‌های ظاهری پایین را دارد.

ب) در محدوده بیش از حدود ۲۲ لیتر در ساعت کنتور خانگی بایلان کمتر از مقدار واقعی را نشان می‌دهد (۱۵- درصد خطا نسبت به کنتور اولتراسونیک)، اما کنتور اولتراسونیک و توربینی مقدار نزدیک‌تری نسبت به دبی واقعی را نشان می‌دهند.

ج) در محدوده دبی‌های ۱۶ تا ۲۲ لیتر در ساعت کنتور جدید بایلان دارای خطای کمتری است. مقدار خطای مشاهده شده نسبت به کنتور اولتراسونیک بین صفر تا ۱۰+ درصد است.

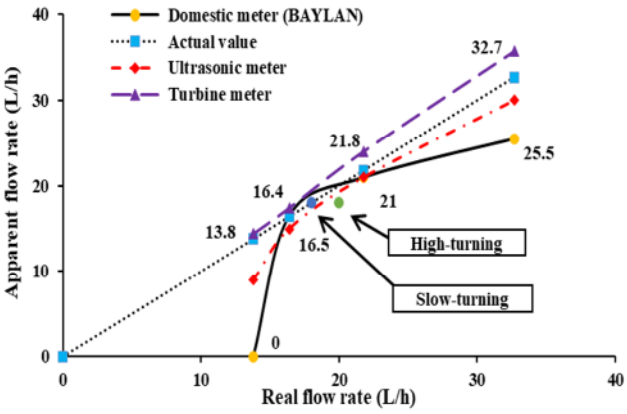

Fig. 2. Comparisonal curve corresponding with flow rate values of Baylan new meter at water pressure 3 bar

شکل ۲- منحنی مقایسه‌ای مقدار دبی کنتور جدید بایلان در فشار آب ۳ بار

۳-۲-۲- مقدار قرائت‌شده توسط کنتور جدید بایلان در فشار آب ۲ بار

فشار آب ورودی به میز آزمایش را می‌توان توسط شیر فشارشکن تا ۱ بار کاهش داد. به‌عنوان مثال، طبق جدول ۵ و شکل ۳، نتایج اندازه‌گیری دبی توسط ۳ کنتور در فشار کاهش یافته ۲ بار، ارائه شده است.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که:

الف) در دبی‌های پایین حدود ۱۵ لیتر در ساعت و کمتر، کنتور جدید بایلان همواره مقدار کمتری را نسبت به کنتور اولتراسونیک نشان می‌دهد. مقدار خطای مشاهده شده بین صفر تا ۳۳- درصد است.

ب) در دبی‌های بیش از ۱۵ لیتر در ساعت، دبی قرائت‌شده از کنتور جدید بایلان از مقدار واقعی کمتر بوده و مقدار خطای

جدول ۵- مقدار دبی جریان قرائت‌شده از کنتور جدید بایلان در فشار آب ۲ بار

Table 5. Flow rate values of the new Baylan meter at water pressure 2 bar

Real flow rate (liter per hour)	Apparent flow rate (liter per hour)			Error percentage (relative to ultrasonic meter)
	Domestic meter (Baylan)	Ultrasonic meter	Turbine meter	
10.4	6.0	9.0	9.3	-33
14.5	12.0	12.0	12.0	0
21.4	19.5	21.0	23.7	-7

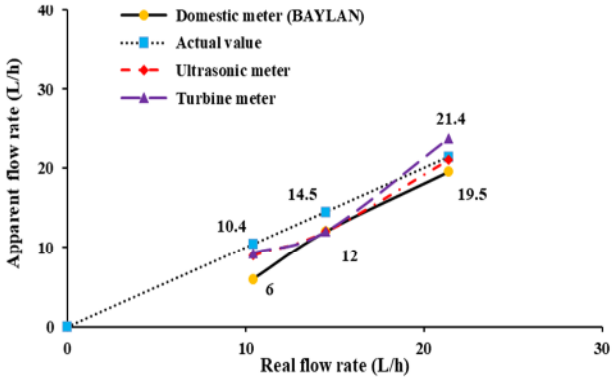

Fig. 3. Comparisonal curve corresponding with flow rate values of Baylan new meter at water pressure 2 bar

شکل ۳- منحنی مقایسه‌ای مقدار دبی کنتور جدید بایلان در فشار آب ۲ بار

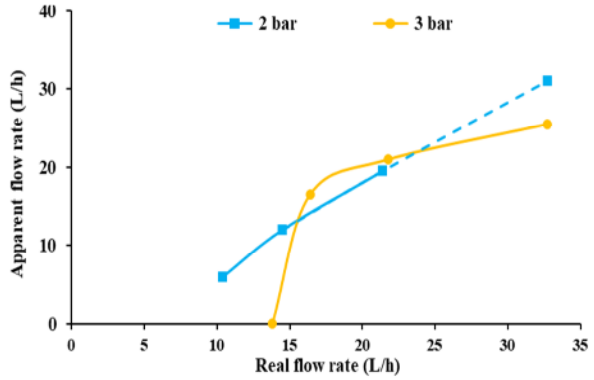

Fig. 4. Comparison of flow rate values of Baylan new meter at two different water pressures

شکل ۴- مقایسه‌ی دبی قرائت‌شده از کنتور جدید بایلان در دو فشار آب مختلف

مشاهده شده نسبت به کنتور اولتراسونیک حدود ۷- درصد است.

ج) کنتور جدید بایلان تقریباً در محدوده ۱۵ تا ۲۰ لیتر در ساعت بهترین کارکرد خود را با کمترین خطا نشان می‌دهد.

۳-۲-۳- مقایسه‌ی مقدار قرائت‌شده توسط کنتور جدید بایلان در دو فشار آب مختلف

با استفاده از نتایج دو بخش قبل می‌توان کارکرد کنتور جدید بایلان را در دو فشار آب ۲ و ۳ بار مطابق شکل ۴ با یکدیگر مقایسه کرد.

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود:

الف) کنتور بایلان در فشار کمتر، تنها در ناحیه دبی‌های حدود ۱۵ تا ۲۲ لیتر در ساعت، مصرف آب کمتری را نشان می‌دهد. به‌طوری که، تغییر فشار آب در این محدوده کمترین اثر را بر کارکرد کنتور بایلان دارد.

ب) در دبی‌های خارج از ناحیه میانی یعنی خارج از محدوده دبی‌های ۱۵ تا ۲۲ لیتر در ساعت، از جمله در دبی‌های کمتر از ۱۵ لیتر در ساعت، با کاهش فشار آب، مقدار دبی قرائت‌شده بیشتر می‌شود.

ج) در دبی‌های بیشتر نیز، در صورت انجام برون‌یابی و ترسیم منحنی خط‌چین آبی رنگ، خواهیم دید که با کاهش فشار آب مقدار دبی قرائت‌شده افزایش می‌یابد.

۳-۲-۴- مقدار قرائت‌شده توسط کنتور جدید طلایه در دو فشار آب مختلف

در جدول ۶، کارکرد ۳ کنتور مختلف شامل کنتور جدید طلایه، کنتور اولتراسونیک و توربینی در دو فشار آب ۳ و ۱ بار ارائه شده است. در شکل ۵ نیز نتایج اندازه‌گیری دبی توسط این ۳ کنتور، با مقدار دبی واقعی اندازه‌گیری‌شده توسط بشر، مقایسه شده است.

طبق شکل ۵ مشاهده می‌شود که:

الف) کنتور جدید طلایه در دبی‌های ۱۳ لیتر در ساعت و کمتر به‌تدریج از کار می‌افتد، به‌طوری که در دبی ۷/۷ لیتر در ساعت و فشار ۳ بار هیچ مقداری را نشان نمی‌دهد.

ب) در محدوده ۱۳ تا ۲۰ لیتر در ساعت و فشار ۳ بار، مقدار دبی قرائت‌شده توسط کنتور جدید طلایه کمتر از مقدار کنتور توربینی و بیشتر از مقدار کنتور اولتراسونیک است.

جدول ۶- مقدار دبی جریان قرائت‌شده از کنتور جدید طلایه در دو فشار آب مختلف

Table 6. Flow rate values of the new Talayeh meter at two different water pressures

Water pressure	Real flow rate (liter per hour)	Apparent flow rate (liter per hour)			Error percentage (relative to ultrasonic meter)
		Domestic meter (Talayeh)	Ultrasonic meter	Turbine meter	
3 bar	13.0	12.0	12.0	13.2	0
	16.8	15.0	15.0	17.0	0
	18.3	18.0	15.0	20.0	+20
	21.4	20.1	21.0	23.0	-4
1 bar	10.7	13.7	12.0	10.0	+15

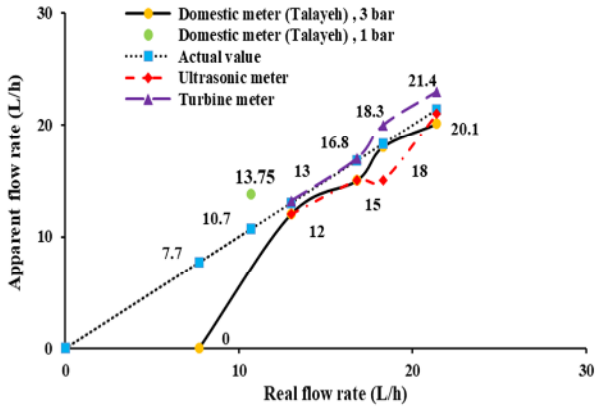

Fig. 5. Comparisonal curve corresponding with flow rate values of Talayeh new meter at two different water pressures

شکل ۵- منحنی مقایسه‌ای مقدار دبی کنتور جدید طلایه در دو فشار آب مختلف

ج) در ناحیه ۱۳ تا ۲۱ لیتر در ساعت و فشار ۳ بار، کنتور جدید طلایه دارای خطای کمتری است.

د) مقایسه‌ی عملکرد کنتور طلایه در دو فشار آب فقط در یک نقطه ۱۰/۷ لیتر در ساعت انجام شد و بیانگر این بود که کنتور طلایه به‌ازای فشار آب کمتر مصرف آب بیشتری را نشان داد و این مشابه رفتار کنتور بایلان است (با توجه به محدوده‌ی دبی‌های پایین‌تر از ۱۵ لیتر در ساعت).

۳-۲-۵- مقدار قرائت‌شده توسط کنتورهای خانگی کارکرده

مقدار دبی جریان برای ۷ کنتور خانگی کارکرده در یک فشار آب معمولی، به طور همزمان همراه با ۲ کنتور اولتراسونیک و توربینی مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و مطابق جدول ۷ گزارش شده است. برای آزمایش هر کنتور خانگی، دبی جریان آب عبوری در مدت زمان ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است که هر یک از این کنتورهای کارکرده در دبی‌های متفاوتی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و تنها سعی بر این بوده تا محدوده‌ی دبی انتخاب شده برای این کنتورها حدود ۲۰ لیتر در ساعت باشد. بنابراین، در چنین شرایطی، نمی‌توان نتیجه قاطعی در رابطه با عملکرد کنتورهای خانگی کارکرده بیان کرد. با این وجود، از میان این ۷ کنتور کارکرده‌ی تحت آزمایش، تنها یک کنتور با شماره ۱۷۰۰۳ بهترین عملکرد را داشته است (با خطای حدود ۱۱ درصد).

با انتخاب آن کنتور کارکرده‌ای که دقت بهتری داشته (شماره ۱۷۰۰۳) و سپس انجام آزمایش در فشار آب کمتر، همان طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، میزان دبی ثبت شده کمتر شده است. این رفتار مشابه رفتار کنتور جدید بایلان است که در محدوده‌ی موردنظر یعنی ۱۵ تا ۲۲ لیتر در ساعت، مشاهده شد که با کاهش فشار آب، مقدار دبی اندازه‌گیری‌شده نیز کاهش می‌یافت.

جدول ۷- مقدار دبی جریان قرائت‌شده از کنتورهای کارکرده مختلف

Table 7. Flow rate values of different used meters

Domestic meter number	Apparent flow rate (liter per hour)			Error percentage (relative to ultrasonic meter)
	Domestic meter	Ultrasonic meter	Turbine meter	
13175	0.00	10.61	11.83	-100
17003	20.0	22.40	25.56	-11
23912	0.82	8.12	9.22	-90
26977	0.00	13.25	15.24	-100
34871	0.00	17.80	19.78	-100
37982	0.00	18.00	19.60	-100
45087	0.00	17.23	18.81	-100

جدول ۸- مقدار دبی جریان قرائت‌شده از یک کنتور کارکرده (شماره ۱۷۰۰۳) در دو فشار آب مختلف

Table 8. Flow rate values of a used meter (No. 17003) at two different water pressures

Water pressure	Apparent flow rate (liter per hour)			Error percentage (relative to ultrasonic meter)
	Old domestic meter	Ultrasonic meter	Turbine meter	
2.5 bar	20.00	22.40	25.56	-10.7
2 bar	10.00	16.80	18.10	-40.5

۳-۳- بررسی تئوری اثرات پارامترهای اتمسفریک بر مصرف آب کولر

در این بخش، نتایج بررسی تئوری تأثیر سه پارامتر دمای خشک، رطوبت نسبی و فشار اتمسفر بر میزان مصرف آب یک کولر با ظرفیت ۷۵۰۰ مترمکعب در ساعت ارائه شد. کلیه محاسبات با استفاده از برنامه کامپیوتری EES انجام شد.

۳-۳-۱- اثر دمای هوای خشک بر میزان مصرف آب کولر در شهرهای مختلف

نحوه تغییرات مصرف آب یک کولر با ظرفیت ۷۵۰۰ مترمکعب در ساعت در دماهای مختلف و رطوبت نسبی ثابت $\emptyset_{in}$=۲۰٪ برای ۴ شهر مختلف در شکل ۶ ارائه شده است. دمای ۳۵ °C و رطوبت نسبی ۲۰٪ به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شده و سایر تغییرات نسبت به این حالت سنجیده شدند.

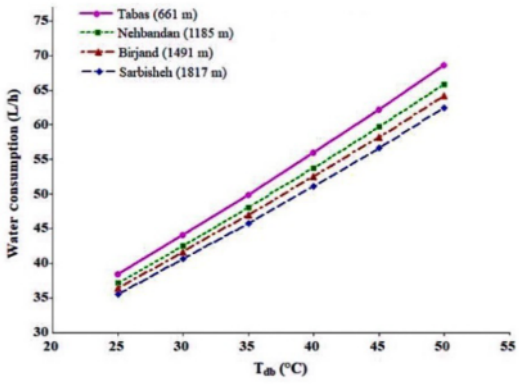

Fig. 6. Water consumption of a cooler in 4 cities for changing dry air temperature ($\emptyset_{in}$=20%)

شکل ۶- نمودار مصرف آب کولر در ۴ شهر به‌ازای تغییرات دمای هوای خشک ($\emptyset_{in}$=۲۰٪)

نمودار سایکرومتریک مربوط به تغییرات دما (T_{db}) و نسبت رطوبت (ω) در رطوبت نسبی ۲۰ درصد برای شهر بیرجند مطابق شکل ۷ است. ناحیه آسایش حرارتی نیز بر روی این منحنی نمایش داده شده است. از ارائه نمودار سایر شهرها به دلیل مشابهت فراوان، اجتناب شد.

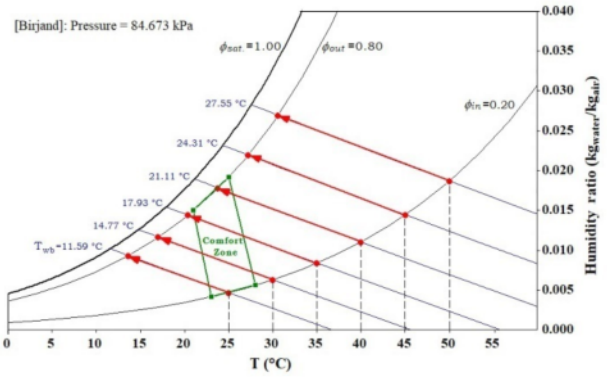

Fig. 7. Changes in temperature and humidity ratio for Birjand city ($\emptyset_{in}$=20%)

شکل ۷- تغییرات دما و نسبت رطوبت برای شهر بیرجند ($\emptyset_{in}$=۲۰٪)

۳-۳-۲- اثر رطوبت نسبی بر میزان مصرف آب کولر در شهرهای مختلف

نحوه تغییرات مصرف آب یک کولر با ظرفیت ۷۵۰۰ مترمکعب در ساعت در مقدار مختلف رطوبت نسبی و دمای ثابت $T_{db,in}$=۳۵ °C برای ۴ شهر مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است.

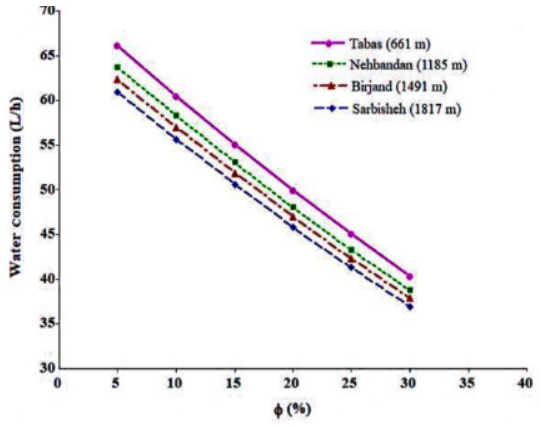

Fig. 8. Water consumption of a cooler in 4 cities for changing relative humidity of air ($T_{db,in}$=35 °C)

شکل ۸- نمودار مصرف آب کولر در ۴ شهر به‌ازای تغییرات رطوبت نسبی هوا ($T_{db,in}$=۳۵ °C)

دمای ۳۵ °C و رطوبت نسبی ٪۲۰ به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شده و سایر تغییرات نسبت به این حالت سنجیده شدند.

نمودار سایکرومتریک مربوط به تغییرات رطوبت نسبی (Ø) و نسبت رطوبت (ω) در دمای حباب‌خشک ثابت ۳۵ °C برای شهر بیرجند، همراه با ناحیه آسایش حرارتی، در شکل ۹ نشان داده شده است. از ارائه نمودار سایر شهرها، به‌دلیل مشابهت فراوان، اجتناب شد.

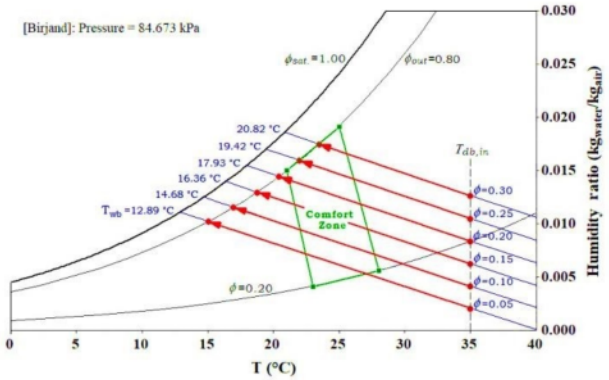

Fig. 9. Changes in relative humidity and humidity ratio for Birjand city ($T_{db,in}$=35 °C)

شکل ۹- تغییرات رطوبت نسبی و نسبت رطوبت برای شهر بیرجند ($T_{db,in}$=۳۵ °C)

۳-۳-۳- اثر فشار هوا بر میزان مصرف آب کولر

بر اساس منحنی‌های ارائه شده در شکل‌های ۶ و ۸ مشاهده می‌شود که با توجه به کاهش ارتفاع از ۱۸۱۷ متر تا ۶۶۱ متر (به‌ترتیب مربوط به شهرهای سربیشه و طبس) به‌طور متوسط میزان آب مصرفی کولر حدود ٪۹ افزایش می‌یابد (در شرایط یکسان). علت این است که در اثر افزایش دانسیته هوا (به واسطه افزایش فشار هوا) و به دنبال آن افزایش دبی جرمی هوای عبوری از کولر، جرم آب تبخیری نیز افزایش می‌یابد.

۳-۳-۴- متوسط مصرف آب کولر با توجه به تغییرات هم‌زمان پارامترهای مؤثر

با در نظر گرفتن اثر تغییرات هم‌زمان هر سه پارامتر دمای خشک، رطوبت نسبی و فشار هوا، می‌توان میانگین آب مصرفی کولر (با ظرفیت ۷۵۰۰ مترمکعب در ساعت) را در محدوده دمایی °C ۵۰-۲۵ و رطوبت نسبی ٪۳۰-۵ برای چهار شهر موردنظر به‌صورت جدول ۹ ارائه داد. همان طور که مشاهده می‌شود، بیشترین میزان مصرف آب در دمای خشک بالا و رطوبت نسبی پایین و در فشار هوای بیشتر (شهر طبس) رخ داده است.

جدول ۹- میزان متوسط مصرف آب کولر برای چهار شهر مورد بررسی

Table 9. Average water consumption of an evaporative cooler for the four cities

City	Average water consumption (liter per hour)
Tabas (661 m)	56.39
Nehbandan (1185 m)	54.23
Birjand (1491 m)	53.00
Sarbisheh (1817 m)	51.69

۳-۴- محاسبه حجم کل آب اندازه‌گیری نشده کنتورها

با در نظر گرفتن خطای کنتورهای خانگی جدید و کارکرده نسبت به کنتور محک اولتراسونیک، در محدوده دبی‌های بزرگتر و در فشار آب معمولی (جداول ۴، ۶ و ۷)، می‌توان گفت که میزان آب اندازه‌گیری نشده بر مبنای ۱۰۰۰ لیتر آب، در کنتورهای جدید بایلان و طلایه به‌ترتیب برابر با ۱۵۰ و ۴۰ لیتر است. این میزان، برای کنتورهای کارکرده با شماره‌های ۱۷۰۰۳ و ۲۳۹۱۲ به‌ترتیب برابر ۱۱۰ و ۹۰۰ لیتر و برای سایر کنتورهای کارکرده برابر ۱۰۰۰ لیتر مشاهده شد.

۳-۵- برآورد میزان مصرف آب کولر

زمان میانگین مصرف هر کولر آبی از اوایل خردادماه تا اواخر شهریورماه (۱۲۰ روز) و با توجه به ساعات استفاده از کولر بین ۱۰ صبح تا ۸ شب (۱۰ ساعت در شبانه‌روز) در مجموع برابر با ۱۲۰۰ ساعت در سال می‌توان تخمین زد. بنابر داده‌های تجربی شرکت گرمای جنوب در شرایط T=۳۵ °C و RH=۲۰٪، مصرف آب کولرهای مختلف (سایزهای ۱۵۳۰ تا ۷۶۵۰ مترمکعب در ساعت) در محدوده ۸ تا ۵۵ لیتر در ساعت گزارش شده است (Garmaye Jonoob Company, 2019). در حالی که بر طبق آزمایش‌های مجری پژوهش در شهر بیرجند با شرایط T=۴۰ °C و RH=۵٪ بر روی یک کولر با ظرفیت ۷۶۵۰ m^3/h مصرف آب آن معادل ۴۵ لیتر در ساعت اندازه‌گیری شد.

۴- نتیجه‌گیری

بدیهی است که با در اختیار داشتن زمان بیشتر و امکانات کافی می‌توان جنبه‌های مختلفی را با انجام آزمایش‌های گسترده‌تر بررسی کرد. با این وجود، بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان موارد زیر را به‌عنوان خروجی این پژوهش در نظر گرفت:

۱) محدوده عملکردی مناسب برای کنتورهای جدید مورد آزمایش (بایلان و طلایه) حدود ۱۵ تا ۲۲ لیتر در ساعت است؛ به‌طوری که در این محدوده دارای خطای کمتر از ۱۰٪ است، ولی این کنتورها در خارج از محدوده مذکور دارای خطاهای بزرگی هستند (خصوصاً در ناحیه دبی‌های پایین‌تر). این کنتورها، در دبی‌های پایین‌تر، خطای منفی بیشتری داشته (یعنی کم‌خوانی کنتور) اما برای دبی‌های بیشتر از این محدوده دارای خطای منفی کمتری هستند که به‌دلیل امکانات ناکافی و زمان محدود، امکان تست و آزمایش در دبی‌های مصرفی بیشتر، فراهم نبود.

۲) به‌ازای فشار آب ۳ بار، دو کنتور جدید بایلان و طلایه به‌ترتیب دارای دبی راه‌انداز ۱۳/۸ و ۷/۷ لیتر در ساعت بوده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که کنتور طلایه، نسبت به کنتور بایلان، در دبی‌های پایین، دقت و عملکرد بهتری داشته است. در پژوهش جعفری و همکاران نیز دبی راه‌انداز کنتورهای جدید حدود ۸ لیتر در ساعت بیان شده است (Jafari et al., 2016).

۳) با توجه به وجود خطای دقتی (فاصله بین دبی‌های قرائت‌شده از کنتورهای خانگی و کنتور اولتراسونیک مبنا) در گستره دبی راه‌انداز کنتورهای خانگی تا دبی ۳۵ لیتر در ساعت، مقدار خطای جذر میانگین مربعات[1] برای دو کنتور بایلان و طلایه به‌ترتیب برابر ۷/۷۹ و ۳/۶۱ لیتر در ساعت تعیین شد.

۴) کنتورهای کارکرده تست شده در این پژوهش که قدمتی حدود ۳۵ سال داشته‌اند، تا محدوده ۲۵ لیتر در ساعت را اکثراً نشان نداده‌اند. جعفری و همکاران نیز دبی راه‌انداز کنتورهای فرسوده با عمر بیشتر از ۸ سال را برابر ۲۵ لیتر در ساعت گزارش داده‌اند (Jafari et al., 2016). این در حالی است که در پژوهش مهردادی و همکاران این گونه گزارش شده که کنتورها در دبی‌های ۴۵ لیتر در ساعت و کمتر مقداری را نشان نداده بودند (Mehrdadi et al., 2008).

۵) از میان ۷ کنتور کارکرده تحت بررسی، اکثراً خطای کندخوانی بیش از ۹۰٪ داشتند و تنها یک کنتور عملکرد بهتری داشته است (با خطای ۱۱- درصد). با کاهش فشار آب، رفتار این یک کنتور در محدوده دبی‌های ۱۵ تا ۲۲ لیتر در ساعت مانند کنتور جدید بایلان بوده، به‌طوری که مقدار دبی اندازه‌گیری شده کاهش یافته است.

۶) از آنجایی که قطر مقطع ورود و خروج کنتور اولتراسونیک مورد استفاده در این پژوهش، پنج‌هشتم اینچ (۱۵ میلی‌متر) بوده، به‌همین دلیل مقدار دقیقی را در مقایسه با کنتور توربینی ثبت نکرده است. قطر مناسب برای کنتور اولتراسونیک باید در حدود قطر شیلنگ آب کولر (۶ میلی‌متر) باشد؛ در حالی که قطر ورود و خروج کنتور توربینی در همین حدود ۶ میلی‌متر بوده و نتایج دقیق‌تری نیز ارائه داده است. از این رو پیشنهاد می‌شود که از کنتور محک اولتراسونیک با قطر مناسب استفاده شود تا در نهایت به ثبت مقدار دبی با خطای کمتر منجر شود و در نتیجه مقایسه دبی کنتورهای خانگی با مقدار کنتور اولتراسونیک دقیق‌تر انجام شود. بخشی از نتایج پژوهش خسروی و همکاران نیز مؤید همین موضوع است (Khosravi et al., 2017).

۷) محدوده مصرف آب کولرهای مختلف در دور بالای فن بین ۸ تا ۵۵ لیتر در ساعت گزارش شده است (طبق داده‌های تجربی شرکت گرمای جنوب)، اما از آنجایی که عموماً اکثر مصرف‌کنندگان، به

جدول ۱۰- اثر پارامترهای مختلف بر مصرف آب کولرهای آبی-تبخیری

Table 10. The effect of different parameters on water consumption of evaporative coolers

Parameter	Parameter change (increasing percentage)	Impact on water consumption of the cooler
Pressure (Pa)	from 81,342 Pa to 93,610 Pa (15%)	+9%
Dry-bulb temperature (˚C)	from 25 ˚C to 50 ˚C (100%)	+77%
Relative humidity (%)	from 5% to 30% (500%)	-65%
Slow-turning & High-turning	from 1000 to 1500 rpm	+24%

[1] Root-Mean-Square Error (RMSE)

لحاظ رعایت مصرف برق، کولرها را در دور کُند استفاده می‌کنند، بنابراین مصرف آب آنها بین ۸ تا ۴۵ لیتر در ساعت می‌تواند تغییر کند. این مقدار با توجه به طول کانال و کیفیت پوشال‌ها متفاوت است. توصیه می‌شود که سایزهای مختلف کولر آبی، به‌طور عملی، در شرایط جوّی متفاوت و در محدوده کاری واقعی مصرف، مورد آزمایش قرار گیرند.

۸) مقدار مصرف آب کولر، در اثر افزایش فشار هوای حدوداً ۱۲,۲۶۸ پاسکال، تقریباً ۴/۵ لیتر در ساعت افزایش می‌یابد. با افزایش دمای هوای خشک از ۲۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس مصرف آب کولر حدود ۲۸ لیتر در ساعت افزایش داشته، ولی با افزایش رطوبت نسبی از ۵ تا ۳۰ درصد مصرف آب حدود ۲۵ لیتر در ساعت کاهش می‌یابد. در جدول ۱۰ می‌توان تأثیر پارامترهای مذکور را برای بزرگترین سایز کولرهای آبی خانگی مشاهده کرد.

۵- قدردانی

این پژوهش بر اساس قرارداد فی‌مابین شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی با دانشگاه بیرجند در قالب طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۹۸/۱۹/۱۰۲۶۹ مورخ ۱۳۹۸/۰۵/۲۲ انجام شده است. به‌این‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر صمیمانه خود را از شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی اعلام می‌دارند.

References

Azali, S. 2010. The effect of subscribers' flow meters replacement on non-revenue water (a case study of two cities, Fereydunshahr and Nain). *3rd National Conference on Water and Wastewater (With the Approach of Reforming the Consumption Pattern)*. Shahid Abbaspour Power and Water University of Technology, Tehran, Iran. (In Persian)

Du Plessis, J. A. & Hoffman, J. J. 2015. Domestic water meter accuracy. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 200**,** 197-208.

Ekramnia, A. & Alikhasi, M. 2011. Assessment the accuracy of domestic water meters and its effect on the actual amount of water consumption of residential subscribers. *4th Iran Water Resources Management Conference.* Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. (In Persian)

Garmaye Jonoob Company 2019. http://GarmayeJonoob.com. (In Persian)

Jafari, H., Nikdad, H. R. & Hoseinibidar, S. H. 2016. The effect of changing subscribers' worn-out flowmeters on decreasing non-revenue water and increasing revenue of water and wastewater companies. *3rd National Conference on Fluid Flow Measurement in Oil, Gas, Refining, Petrochemical and Water Industries*. University of Science and Technology, Tehran, Iran. (In Persian)

Khosravi, M., Mollaei, M. & Damirchi, F. 2017. Investigating the effect of optimization and reduction of flow meter diameter on customers consumption pattern and measurement of weak flows. *1st National Conference on Water Loss and Consumption Management*. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian)

Mbabazi, D., Banadda, N., Kiggundu, N., Mutikanga, H. & Babu, M. 2015. Determination of domestic water meter accuracy degradation rates in Uganda. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 64**,** 486-492.

Mehrdadi, N., Jalali Amin, F. & Haghollahi, A. 2008. A research on unaccounted water due to customer metering inaccuracies. *Journal of Ecology (University of Tehran)*, 34**,** 13-20. (In Persian)

Moahloli, A., Marnewick, A. & Pretorius, J. H. C. 2019. Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss. *Water SA*, 45**,** 165-173.

Ncube, M. & Taigbenu, A. E. 2019. Assessment of apparent losses due to meter inaccuracy using an alternative, validated methodology. *Water Supply*, 19**,** 1212-1220.

Pooladi, R. 2018. The effect of aging water meter on the accuracy of their measurement in the city of Kazerun. *2nd Congress of Iranian Water and Wastewater Science and Engineering*. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)

Poor Nosrat, M., Sharifpour, M. & Heydari, J. 2010. Consumption management and identification of factors affecting on reducing non-revenue water in Rural Water and Sewerage Company of Kermanshah Province. *3rd National Conference on Water and Wastewater (With the Approach of Reforming the Consumption Pattern)*. Shahid Abbaspour Power and Water University of Technology, Tehran, Iran. (In Persian)