Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 7, No. 4, PP. 75-84, Winter 2023
DOI: 10.22112/JWWSE.2022.328977.1308

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال هفتم، شماره ۴، صفحات ۷۵-۸۴، زمستان ۱۴۰۱

Research Paper

Investigating the Effect of Replacing Domestic Water Meters in Reducing the Apparent Losses, Case Study (Region 3 of Water and Wastewater Company of Isfahan Province)

Nasim Bararni[1] and Zahra AbdollahGhazi[2*]
1- B.Sc. of Chemical Engineering, District Manager of Region 3, Isfahan Province Water and Wastewater Company, Isfahan, Iran.
2- M.Sc. of Mechanical Engineering, Head of Water Facilities Operation Department of Region3, Isfahan Province Water and Wastewater Company, Isfahan, Iran.
*Corresponding Author, Email: Zahraghazi69@gmail.Com

Received: 21/02/2022
Revised: 10/05/2022
Accepted: 03/07/2022
© IWWA

Abstract

Performance accuracy of water meters have a special effect on apparent losses and non-revenue water. The purpose of this paper is investigating the effect of replacing faulty water meters on income generation of water and wastewater companies & encouraging them to replace water meters. 198 water meters from 2 old subscription zones from region 3 of Isfahan were chosen as a sample & replaced in summer 2020. The average monthly consumption one period after replacement was compared with the similar monthly period in last year/years. The results were validated with the results of laboratory test of a number of old water meters of different brands. 35% of water meters had increase in consumption, 13% had decrease in consumption and the average of mean monthly consumption has increased to 26.55%. water meters with the brands 4 had the most negative error. Replacement of water meters reduce the low consumption class and increase the high consumption and misuse class which causes the increase of %67.83 in water rate. The results were generalized to 5928 subscribes of region 3 with over 20 years old water meters. Payback period for replacing all old water meters with the size of 0.5 and 0.75 inch was 4.3 years.

Keywords: Apparent loss, Replacing water meter, Income generation.

مقاله پژوهشی

بررسی نقش تعویض کنتورهای خانگی در کاهش هدررفت ظاهری
مطالعه موردی (منطقه ۳ آبفای اصفهان)

نسیم بارانی[۱] و زهرا عبداله قاضی[۲*]
۱- کارشناسی مهندسی شیمی، مدیر امور آبفای منطقه ۳، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، رئیس اداره بهره‌برداری تاسیسات آب منطقه ۳، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، اصفهان، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: zahraghazi69@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

دقت عملکرد کنتورها تاثیر به‌سزایی در هدررفت ظاهری و آب بدون‌درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب دارد. هدف این مقاله بررسی نقش تعویض کنتورهای فرسوده بر افزایش درآمد شرکت‌های آبفا و ترغیب این شرکت‌ها به تعویض کنتور است. تعداد ۱۹۸ کنتور فرسوده از دو ناحیه اشتراک‌بندی قدیمی منطقه ۳ اصفهان انتخاب و در تابستان ۱۳۹۹ تعویض شد. میانگین مصرف ماهیانه یک دوره بعد از تعویض کنتور با دوره مشابه آن در سال یا سال‌های قبل مقایسه شدند. نتایج تحقیق با نتایج آزمایشگاهی تست تعدادی کنتور قدیمی بابرندهای مختلف اعتبارسنجی شد. ۳۵٪ کنتورها بعد از تعویض، افزایش مصرف و ۱۳٪ کاهش مصرف داشته‌اند. متوسط میانگین مصرف ماهیانه بعد از تعویض کنتور نیز به‌میزان ۲۶/۵۵٪ افزایش یافته است. کنتورهای برند ۴ بیشترین خطای منفی را داشتند. با تعویض کنتورهای فرسوده از سهم طبقات کم‌مصرف کاسته و به سهم طبقات بالایی افزوده شده، به‌طوری که منجر به افزایش آب‌بها به‌میزان ۶۷/۸۳٪ شده است. نتایج تحقیق به تعداد ۵۹۲۸ مشترک با کنتور با قدمت بالای ۲۰ سال از کل منطقه ۳ تعمیم داده شد. دوره بازگشت سرمایه برای تعویض همه کنتورهای فرسوده ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ، ۴/۳ سال محاسبه شد.

کلمات کلیدی: هدررفت ظاهری، تعویض کنتور، درآمدزایی.

۱- مقدمه

کنتورها یکی از ابزارهای مهم برای اندازه‌گیری میزان جریان سیال در شبکه‌های آب هستند. باتوجه به این‌که عمده درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب از فروش آب به مشترکین تامین می‌شود، صحت و دقت عملکرد کنتورها بسیار حائز اهمیت است. کنتورهای فرسوده علی‌رغم ظاهر سالم، به‌دلیل خطای کارکرد غیراستاندارد که عمدتا مربوطه به فرسایش قطعات کنتور، افزایش درجه حرارت، خوردگی، نفوذ رسوبات در کنتور و تمیز نبودن فیلترها، نقص در ساخت قطعات کنتور و جنس نامرغوب، عبور هوا از داخل کنتور، دست‌کاری کنتور، شرایط نصب و نگه‌داری کنتور و شکسته شدن شیشه کنتور، عدم دقت در دبی شروع و دبی انتقالی تا حداکثر، نوسانات فشار شبکه و عدم وجود شیر یک‌طرفه است، منجر به افزایش هدررفت ظاهری و آب بدون درآمد شرکت‌ها می‌شوند (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱). درصورت ترغیب شرکت‌ها به تعویض کنتورهای فرسوده، علاوه‌بر کاهش آب بدون درآمد و افزایش آب‌بها، هزینه صرف شده برای تعویض کنتور طی دوره کوتاهی به منطقه بازگردانده خواهد شد.

زین‌الدینی (۱۳۹۰) نشان داد که با تعویض کنتورهای فرسوده ۱۰۰ مشترک در استان کرمان در ۶ ماه اول سال ۱۳۸۹ و مقایسه با دوره مشابه سال قبل، میانگین مصرف ماهیانه ۳۰٪ افزایش می‌یابد. متوسط درآمد حاصل برای هر کنتور پس از تعویض باتوجه به نرخ پلکانی آب‌بها حدود ۳/۷ برابر شده است. هم‌چنین مصارف زیر الگوی مصرف ۱۶٪ و مصارف بالای الگوی مصرف ۱۵٪ افزایش داشته است. در تحقیق جعفری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تست خوشه‌ای، ۹۰۰ کنتور فرسوده با عمر بالای ۸ سال را انتخاب و ۳۷۱ کنتور با کنتورهای سالم تعویض شد. از این میان، ۶۰ کنتور نیز تست شده و نشان داده شد که یکی از عوامل زیان شرکت‌های آب و فاضلاب، وجود کنتورهای فرسوده به‌ظاهر سالم است که بیش از ۹۰ درصد به زیان شرکت‌ها عمل‌کرده و باعث بالا رفتن هدررفت ظاهری می‌شوند. دلاوری و همکاران (۱۳۹۶) نیز نقش تعویض ۳۸ کنتور فرسوده در کاهش آب بدون درآمد را در بندر گناوه بررسی کرده و نشان دادند که تعویض کنتورهای خراب کم‌کار منجر به افزایش مصرف به بیش از ۴۲ درصد و افزایش ۶۲ درصدی آب‌بهای قبوض می‌شود. اصلانی و بهرامی (۱۳۹۷) دو روش انتخاب مشترک برای تعویض کنتور را بررسی کرده و نشان دادند که انتخاب مشترکین با میزان مصرف با روند نزولی برای تعویض کنتور، درآمدزایی بهتری نسبت‌به انتخاب خوشه‌ای کنتورها صرفا براساس عمر برای تعویض دارد.

اکبرپور و همکاران (۱۳۹۹) تعداد ۱۰۰۷ کنتور خانگی در یکی از روستاهای بیرجند را انتخاب و براساس عمر طبقه‌بندی کردند. نتایج تست کنتورها در آزمایشگاه نشان داد که ۲۴/۷ درصد کنتورها دارای خطای خارج از دامنه استاندارد بوده که از این میان ۱۹/۵ درصد دارای خطای مثبت و ۵/۲ درصد دارای خطای منفی بودند. با به‌دست آوردن ضریب تصحیح ۱/۰۴۹ برای کنتورهای تست شده و اعمال این ضریب در مصارف سال مشترکین مورد مطالعه، میزان آب‌بها محاسبه شد که باعث افزایش ۴/۷ درصدی میزان مصارف و ۱۶/۸۹ درصدی درآمد این شرکت شد. لشکری و لطفعلیان (۱۳۸۸) با بررسی تاثیر تعویض کنتورهای فرسوده در ۴ شهر نشان دادند که برگشت سرمایه ناشی از تعویض کنتورها ۲ سال است. Richards et al. (2010) دو روش برای تخمین هدررفت ظاهری ناشی از خطای کنتورها را برای کنتورهایی با اندازه و نوع‌های مختلف تعریف کرده و نشان دادند که برای هر محدوده دبی کدام نوع و اندازه کنتور دقت بالاتری دارد. نتایج کار آن‌ها برای انتخاب کنتور مناسب در محدوده دبی مورد نظر،کاربرد دارد.

در اکثر پژوهش‌های بررسی شده، تعدادی کنتور در یک جامعه آماری منتخب تست شده و با به‌دست آوردن خطای کنتور و ضریب تصحیح و اعمال آن در میزان مصرف سالانه مشترکین، به مصرف واقعی مشترکین، آب بدون درآمد ناشی از خطای کنتور و درآمد واقعی فروش آب دست یافته‌اند. در تحقیق حاضر از روش دیگری برای تخمین میزان مصرف و درآمد واقعی شرکت آبفا استفاده شده است. در این روش ابتدا تعدادی کنتور فرسوده به‌عنوان نمونه انتخاب و تعویض شده‌اند. سپس مصارف مشترکین بعد از تعویض کنتور اندازه‌گیری شده و از مقایسه با مصارف قبلی کنتور در دوره مشابه، میزان تغییر مصرف و خطای کنتور به‌دست آمد. با تخمین این عدد به کل کنتورهای فرسوده خانگی منطقه، میزان مصرف واقعی مشترکین و درآمد واقعی فروش آب محاسبه شد.

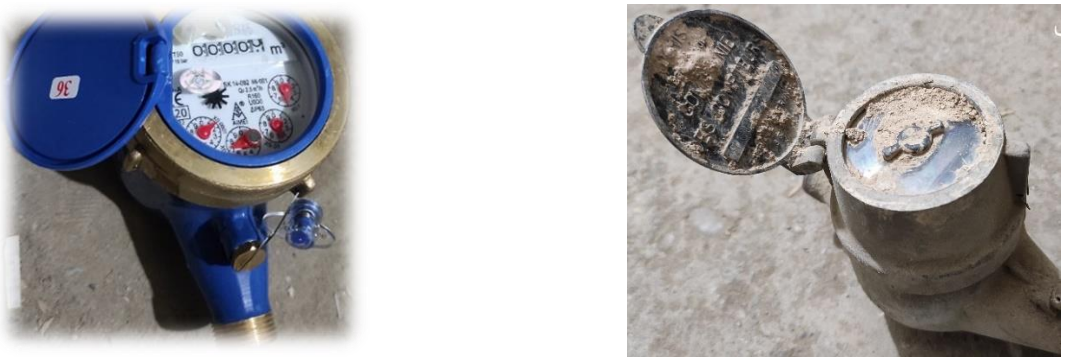
منطقه ۳ شهر اصفهان دارای مساحت ۸۵ کیلومترمربع و تعداد ۷۲۷۰۰ مشترک است. بعد خانوار برای این منطقه، ۳/۵ نفر و براساس داده‌های بالانس شرکت آبفای استان اصفهان در سال ۱۳۹۹، میزان آب بدون درآمد این منطقه ۱۳/۴۸ درصد، هدررفت ظاهری ۶/۱۵ درصد و میزان خطای تجهیزات اندازه‌گیری ۴٪ است. در این مطالعه، دو ناحیه اشتراک‌بندی دارای کنتورهای قدیمی در منطقه ۳ شهر اصفهان به‌عنوان نمونه درنظر گرفته

شده‌اند. باتوجه به این‌که حداکثر مصرف سرانه آب برای مشترکین خانگی براساس داده‌های شرکت آبفا اصفهان، ۱۵۰ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز است، مصرف متوسط هر واحد در ماه، ۱۶ مترمکعب و با حساب خطای تجهیزات اندازه‌گیری، ۱۷ مترمکعب در ماه محاسبه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

تعداد ۱۹۸ کنتور خانگی با کارکرد بیش از ۳۰ سال در نواحی اشتراک‌بندی شماره ۳۰۴ و ۳۰۶ منطقه ۳ شهر اصفهان (محدوده خیابان فروغی تا طالقانی- چهارباغ تا اتوبان خرازی) به‌گزارش قسمت مشترکین به‌عنوان کنتورهای فرسوده‌ای که دقت آن‌ها کاهش یافته است، در لیست تعویض کنتور قرارگرفت و در مرداد و شهریور سال ۱۳۹۹ تعویض شدند. کنتورهای جدید تعویض شده (شکل ۱)، از نوع کنتور ۰/۵ اینچ مولتی‌جت توربینی نیمه‌خشک تولید شده تحت شرایط استاندارد OIML R49 و ISISRI 19191 است. سایر مشخصات کنتور به شرح زیر است:

میزان جریان حداقل (Q1): ۱۵/۶۲۵ لیتر برساعت، میزان جریان انتقال (Q2): ۲۵ لیتر برساعت، میزان جریان پایدار(Q3): ۲۵۰۰ لیتر برساعت، میزان جریان حداکثر (Q4): ۳۱۲۵ لیتر برساعت، دقت قرائت کنتور: ۰/۵ لیتر بر ساعت و حداکثر فشار کاری (MAP): ۱۶ بار.



شکل ۱- کنتورهای قدیمی فرسوده تعویض شده با کنتور جدید در منطقه ۳ آبفای اصفهان، تابستان ۱۳۹۹

همچنین در این تحقیق، به‌منظور افزایش دقت و درصد اطمینان، تنها کنتورهای با قطر ۰/۵ اینچ در لیست تعویض قرارگرفتند. به‌این علت که دبی استارت کنتور بسیار متاثر از متناسب بودن ظرفیت قراردادی با بعد واقعی خانوار است. مثلا در برخی ساختمان‌های ۳ واحدی، فقط یک واحد سکونت دارند؛ درصورتی‌که کنتور با ظرفیت بالا در آن نصب شده است و یا در حدود ۳۰ سال پیش، در برخی نواحی قدیمی شهر اصفهان، ظرفیت قراردادی و قطر کنتور متناسب با مساحت ملک تعیین می‌شد و نه متناسب با تعداد ساکنین آن. همچنین در برخی اشتراک‌های حتی ۱ واحدی، به‌دلایل متعدد کنتوری با قطر بالاتر از حد نیاز نصب شده است که بر دبی استارت تاثیرگذار است.

پس از گذشت یک دوره قرائت از تاریخ تعویض، میانگین مصرف آب مشترکین قرائت و با دوره مشابه آن در سال/ سال‌های قبل مقایسه شد. علت مقایسه با دوره دقیقا مشابه قبل، این بود که دوره بعد از تعویض کنتور (مهر ماه) دقیقا در مرز افت مصرف از تابستان به پاییز قرار داشته و میزان مصرف در این دوره بسیار متاثر از عوامل محیطی و زمانی است. لازم‌به ذکر است که در برخی از منازل که در سال ۱۳۹۸ بسته بودند، اطلاعات دوره مشابه سال ۱۳۹۷ و درصورت در دسترس نبودن اطلاعات سال ۱۳۹۷، میانگین مصرف دوره مشابه از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ قرائت شد و با لحاظ کردن تغییرات کاربری، بعد خانوار، تعداد واحدهای ساختمان و دامنه مصرف آن کنتور در برخی از سال‌ها، یک میانگین مصرف قابل اطمینان و معنی‌دار به‌عنوان مصرف قدیم (قبل از تعویض کنتور) به‌دست آمد.

۳- نتایج و بحث

از ۱۹۸ مشترکی که کنتور آن‌ها تعویض شد، تعداد ۳۸ مشترک از سال ۱۳۹۸ و یا قبل‌تر (از سال ۱۳۹۱) کنترل و مشخص شد بعد از تعویض کنتور همواره بسته و بدون‌مصرف بوده‌اند که از رده خارج شدند. با تعدادی از این مشترکین تماس گرفته شد و از خالی از سکنه بودن آن اطمینان حاصل شد. از این‌میان، برخی از کاربری‌ها قبل از سال ۱۳۹۸ مصرف معقول داشته و گاهی پرمصرف و بدمصرف نیز بوده‌اند. ولی از سال ۱۳۹۸ و با شیوع بیماری کرونا بسته و بدون‌مصرف بوده‌اند که احتمال می‌روند کاربری آن‌ها تجاری و یا مشاغل خانگی بوده باشد. لیکن در کاردکس آب‌بها، کاربری آن‌ها مسکونی ثبت شده است. تعداد ۲۴ مشترک نیز بعد از تعویض کنتور بسته بوده و قرائت جدید

نداشته‌اند که فعلا از رده خارج و در تحلیل بعدی مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. با کسر دو دسته قبل، تعداد ۱۳۶ مشترک باقی ماند که داده‌های قابل استناد داشته و مبنای تحلیل قرار گرفتند. نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- دسته‌بندی داده‌های حاصل از قرائت کنتورهای تعویضی آبفا منطقه ۳ اصفهان، تابستان۱۳۹۹

دسته‌بندی داده‌ها	تعداد کنتور	درصد از کل
کل کنتورهای تعویضی	۱۹۸	-
تعداد داده قابل استناد	۱۳۶	۶۸/۶۹
تعداد داده غیرقابل استناد	۳۸	۱۹/۱۹
تعداد داده قرائت نشده (فعلا از رده خارج)	۲۴	۱۲/۱۲

درصد تفاضل نسبی مصرف قدیم (قبل از تعویض کنتور) و جدید (بعد از تعویض کنتور) به‌عنوان شاخص مقایسه درنظر گرفته شد. براین اساس، تغییر روند مصرف بعد از تعویض کنتور با دو فرض جداگانه بررسی و کنتورهای تعویض شده به سه دسته تغییر مصرف افزایشی، کاهشی و یکسان تقسیم‌بندی شدند.

فرض ۱: فقط کنتورهایی که مصارف قدیم و جدید دقیقا یکسان داشتند و درصد تفاضل نسبی برای آن‌ها صفر بود، در دسته یکسان قرار گرفتند و کنتورهای با درصد تفاضل نسبی مثبت به‌عنوان روند افزایشی و تفاضل نسبی منفی به‌عنوان روند کاهشی مصرف درنظر گرفته شد.

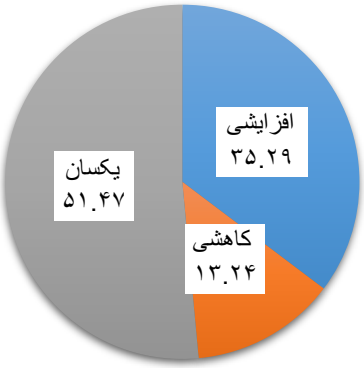
فرض۲: در این فرض علاوه‌بر فرض قبلی، دو گروه داده نیز در دسته‌بندی یکسان قرار می‌گیرند:

الف) اختلاف مصرف قدیم و جدید کنتور تا ۱ مترمکعب در ماه به‌عنوان روند یکسان درنظر گرفته شد.

ب) برای تعدادی از مشترکین، مصرف در دوره مشابه بعد از تعویض کنتور در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ یکسان بود، ولی در مقایسه با سال‌های قبل (۱۳۹۱تا ۱۳۹۷)، مصرف کاهش چشم‌گیری داشته‌است؛ به‌طوری‌که به‌عنوان مثال از ۱۳۹۱ تا۱۳۹۷ در رده پرمصرف بوده و از سال ۱۳۹۸ کم‌مصرف شده است. به‌علت به در اختیار نداشتن اطلاعات کافی از علت تغییر ناگهانی دامنه مصرف برای این مشترکین (نظیر تغییر کاربری یا بعد خانوار و یا به‌علت شیوع بیماری کرونا و غیره)، مصرف دوره مشابه سال ۱۳۹۸ به‌عنوان مصرف قدیم برای آن‌ها لحاظ شده و لذا در دسته یکسان قرار گرفتند. نتایج دسته‌بندی براساس درصد تفاضل نسبی با فرض‌های ۱ و ۲ در جدول ۲ و شکل ۲ آورده شده است.

جدول ۲- دسته‌بندی داده‌های قابل استناد براساس تغییر روند مصرف بعد از تعویض کنتور با دو فرض متفاوت، آبفای منطقه ۳ اصفهان، تابستان ۱۳۹۹ نسبت‌به دوره مشابه سال/ سال‌های قبل

فرض ۱			فرض ۲		
روند تغییر مصرف	تعداد کنتور	درصد از کل	روند تغییر مصرف	تعداد کنتور	درصد از کل
افزایشی	۸۰	۵۸/۸۲	افزایشی	۴۸	۲۹/۳۵
کاهشی	۳۴	۲۵/۰۰	کاهشی	۱۸	۱۳/۲۴
یکسان	۲۲	۱۶/۱۸	یکسان	۷۰	۵۱/۴۷
کل	۱۳۶		کل	۱۳۶	



تغییر روند مصرف با تعویض کنتور بر حسب درصد (فرض ۱)

تغییر روند مصرف با تعویض کنتور بر حسب درصد (فرض ۲)

شکل ۲- دسته‌بندی داده‌های قابل استناد براساس تغییر روند مصرف بعد از تعویض کنتور با ۲ فرض متفاوت، آبفای منطقه ۳ اصفهان، تابستان ۱۳۹۹ نسبت به دوره مشابه سال/ سال‌های قبل

متوسط میانگین مصرف قدیم ۷/۵۷ مترمکعب و مصرف جدید ۹/۵۸ مترمکعب برای ۱۳۶ کنتور است. در جدول ۳ متوسط میانگین مصرف قبل و بعد از تعویض کنتور به تفکیک برای کنتورهای با روند کاهشی، افزایشی و یکسان آورده شده است.

جدول ۳- متوسط میانگین مصرف قبل و بعد از تعویض کنتور به تفکیک روند مصرف (با فرض ۲)

روند مصرف	متوسط میانگین مصرف قبل از تعویض کنتور (مترمکعب درماه)	متوسط میانگین مصرف بعد از تعویض کنتور (مترمکعب در ماه)
کاهشی	۱۰	۶/۸۱
یکسان	۶/۳	۶/۴
افزایشی	۶/۵	۱۵/۵۵

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی تعویض کنتورها منجر به افزایش مصرف به‌میزان ۲۶/۵۵ درصد شده است. لازم به‌ذکر است که تعویض کنتور تمامی مشترکین منتخب در مرداد و شهریورماه انجام گرفته بود و درصورت در دسترس بودن قبض مهر یا آبان‌ماه، با دوره مشابه سال قبل مقایسه شد. ولی به‌دلیل این‌که تعدادی از منازل بعد از تعویض بسته بودند، به‌ناچار برای آن‌ها قبض آذر/ دی با دوره مشابه پارسال مقایسه شد که متفاوت بودن الگوی مصرف سال ۱۳۹۷ با سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ از دقت تحلیل کاسته است. هم‌چنین به‌علت در اختیار نداشتن مصرف سال ۱۳۹۸ یا ۱۳۹۷ برای برخی مشترکین به‌علت بسته بودن درب، به‌ناچار از داده‌های سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ به‌عنوان مصرف قدیم استفاده شد.

علاوه‌بر این، وجود یا عدم وجود کد خرابی در قبض تمامی کنتورهای با روند افزایشی و کاهشی بررسی شد (جدول ۴) و نشان داده شد که تقریبا ۹۰ درصد خرابی‌های کم‌کار و پرکار کنتورها، در قبض اعلام نشده است؛ در صورتی‌که این کنتورها واقعا خراب بوده و در صورت عدم تعویض، منجر به از دست رفتن بخش زیادی از درآمد شرکت خواهد شد.

جدول ۴- درصد اعلام خرابی کنتور در قبض نسبت به خرابی واقعی کنتور برای کنتورهای تعویضی منطقه ۳ اصفهان

روند تغییر مصرف	تعداد مشترک با کنتور تعویض شده	تعداد کنتور تعویض شده دارای کد خرابی در قبض	درصد اعلام نشده به‌عنوان کنتورخراب در قبض
افزایشی	۴۸	۴	۹۱/۶۶
کاهشی	۱۸	۲	۸۸/۸۸

۴- اعتبارسنجی نتایج

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج به‌دست آمده از تحلیل، برند قدیمی تعداد ۶۶ کنتور از ۱۳۶ کنتور تعویضی با تکمیل پرسش‌نامه در محل به‌همراه سایر اطلاعات مشترک از قبیل بعد خانوار، تعداد طبقات و غیره استخراج شد (جدول ۵) و تغییر روند مصرف قبل و بعد از تعویض کنتور برای آن‌ها به‌تفکیک نوع برند برای فرض ۲ محاسبه و برند با بیشترین خرابی کم‌کار مشخص شد. نتایج در جدول ۶ آورده شده است. درصدها نسبت به تعداد هر مدل کنتور محاسبه شده است. بیشترین سهم کنتورهای خراب کم‌کار مربوط به کنتور از برند ۴ بوده است.

جدول ۵- تعداد کل کنتورهای قدیمی به‌تفکیک برند کنتور

برند	برند ۱	برند ۲	برند ۳	برند ۴	برند ۵
تعداد کنتور تعویض شده	۲۷	۲۶	۶	۶	۱

جدول۶- درصد تغییر مصرف مشترکین به‌تفکیک برند کنتور قدیمی تعویض شده در منطقه ۳ اصفهان، تابستان ۱۳۹۹ با دوره مشابه سال/ سال‌های قبل (فرض ۲)

روند تغییر مصرف بعد از تعویض کنتور	برند ۱ و ۵	برند ۲	برند ۳	برند ۴
افزایشی	۲۵ درصد	۳۸/۴ درصد	۳۳/۳ درصد	۸۳/۳ درصد
کاهشی	۲۱/۴۲ درصد	۱۱/۵ درصد	۰ درصد	۱۶/۶ درصد
یکسان	۵۳/۵۷ درصد	۵۰ درصد	۶۶/۶ درصد	۰ درصد
کل	۲۸ درصد	۲۶ درصد	۶ درصد	۶ درصد

هم‌چنین تعدادی کنتور دست‌دوم قدیمی از برندهای مختلف (برند ۱ تا ۶) به‌قطر ۰/۵ اینچ و با قدمت یکسان و ۳ کنتور از برند ۶ (که تمامی ۱۹۸ کنتور قدیمی با این برند تعویض شده اند)، به‌عنوان نمونه درکارگاه تست کنتور شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان آزمایش شد که نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است.

جدول۷- نتیجه تست آزمایشگاهی چند نمونه کنتور دست دوم و جدید با برندهای مختلف

برند کنتور	کلاس کنتور	درصد خطا						نتیجه نهایی تست کنتور
		Q1 (دبی حداقل) بیشینه خطای مجاز ±۵٪	Q2 (دبی انتقال) بیشینه خطای مجاز ±۲٪	Q3 (دبی پایدار) بیشینه خطای مجاز ±۲٪	Q4 (دبی حداکثر) بیشینه خطای مجاز ±۲٪	Q کل بیشینه خطای مجاز ±۵٪	تعداد خطای خارج از محدوده مجاز	
برند ۶ نو	C	۴/۵	۴/۷۰	-۰/۷۵	-۱/۳۹	-۰/۵۶	۱	سالم
	C	۷/۰۰	۵/۳۰	-۰/۴۵	-۰/۴۵	-۰/۱۵	۲	سالم
	C	۶/۳۰	۵/۲۰	-۳/۱۹	-۳/۹۸	-۲/۷۴	۴	سالم
برند ۶ قدیمی	C	۳/۵۰	-۲/۰۰	-۰/۶۰	-۰/۵۵	-۰/۷۷	۰	سالم
برند ۱ قدیمی	B	-۵۵/۰۰	-۱۰/۰۰	۴/۵۳	۴/۴۸	۱/۱۵	۴	سالم
برند ۳ قدیمی	B	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	۴	خراب ثابت
برند ۴ قدیمی	C	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۵/۳۰	-۱۵/۹۲	-۲۳/۲۵	۴	خراب کم کار
برند ۲ قدیمی	C	-۱۰۰/۰۰	-۳۵/۰۰	-۲/۱۹	-۱/۸۹	-۷/۹۷	۳	خراب کم کار

مصرف آب مشترکین در دبی‌های کم تا زیاد متفاوت است و رفتار کنتور و خطای آن نیز در دبی‌های مختلف متفاوت است. بنابراین برای دست‌یابی به براورد دقیق‌تر از خطای کارکرد کنتور، در ۴ دبی متفاوت از دامنه کارکرد کنتور تست می‌شود. تست کنتورها برمبنای استاندارد OIML-R49 بوده و از روش اندازه‌گیری حجمی استفاده شده است. در این روش در چند بده مشخص، حجم معینی آب از کنتور عبور داده شده و درصد تفاضل نسبی حجم آب نشان داده شده توسط کنتور با مقدار واقعی آب وارد شده به مخزن میز تست کنتور به‌عنوان درصد خطای کنتور محاسبه می‌شود. چنان‌چه خطای کنتور در محدوده مجاز قرار گیرد، کنتور سالم و کنتورهای خارج از محدوده خطای مجاز، به‌عنوان کنتور خراب شناخته می‌شوند.خطای مثبت به‌معنی آن است که کنتور نشانگر عددی بیش از اندازه واقعی بوده و خطای منفی یعنی کنتور آب کمتر از اندازه واقعی را نشان داده است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱). بیشینه خطای مجاز طبق تعریف برابر با بیشینه مقدار خطای اندازه‌گیری نسبت به یک مقدار کمیت مرجع معلوم است که طبق آیین‌نامه‌ها با ویژگی‌های یک سیستم اندازه‌گیری ارائه شده مجاز شمرده می‌شود. یک کنتور آب طراحی و ساخت آن باید به‌گونه ای باشد که خطاهای آن تحت شرایط بهره‌برداری از بیشینه خطای مجاز تعریف شده طبق رده درستی تعیین شده توسط سازنده تجاوز نکند (استاندارد ملی ایران، ۱۳۹۰). Q کل (با بیشینه خطای مجاز ±۵٪) به‌عنوان شاخص سالم بودن کنتور در نظر گرفته شده است (آبفای اصفهان، ۱۴۰۰).

اگرچه نتایج این تست قابل تعمیم به کل کنتورها نیست، ولی در همین جامعه آماری کوچک نیز بیشترین خطای منفی مربوط به کنتور از برند ۴ بوده که در مقایسه با جدول‌های ۶ و ۷ صحت نتایج حاصل از تحقیق تایید می‌شود. هم‌چنین جدول ۷ نشان می‌دهد که دقت کنتورهای برند۶ حتی از نوع دست‌دوم و فرسوده نیز در محدوده خطای مجاز قرار دارد.

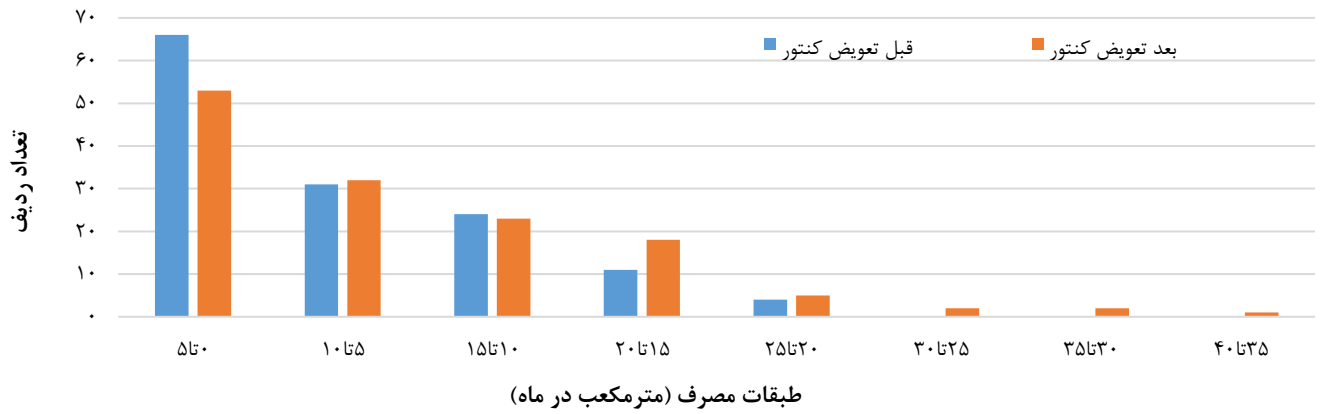
۵- تاثیر تعویض کنتور فرسوده بر جابه‌جایی طبقات مصرف و افزایش میزان آب‌بها

در جدول ۸ و شکل ۳ تغییرات طبقات مصرف بعد از تعویض کنتور آورده شده است. با تعویض کنتورهای فرسوده، علاوه بر

افزایش کل مصرف ماهانه، طبقات مصرف نیز جابه‌جا شده و بالاتر رفته است و باعث کم شدن سهم طبقات اول و اضافه شدن سهم طبقات چهارم به بعد شده که با توجه به تغییر آب‌بها به‌صورت تصاعدی با تغییر طبقات مصرف، منجر به درآمدزایی برای شرکت می‌شود.

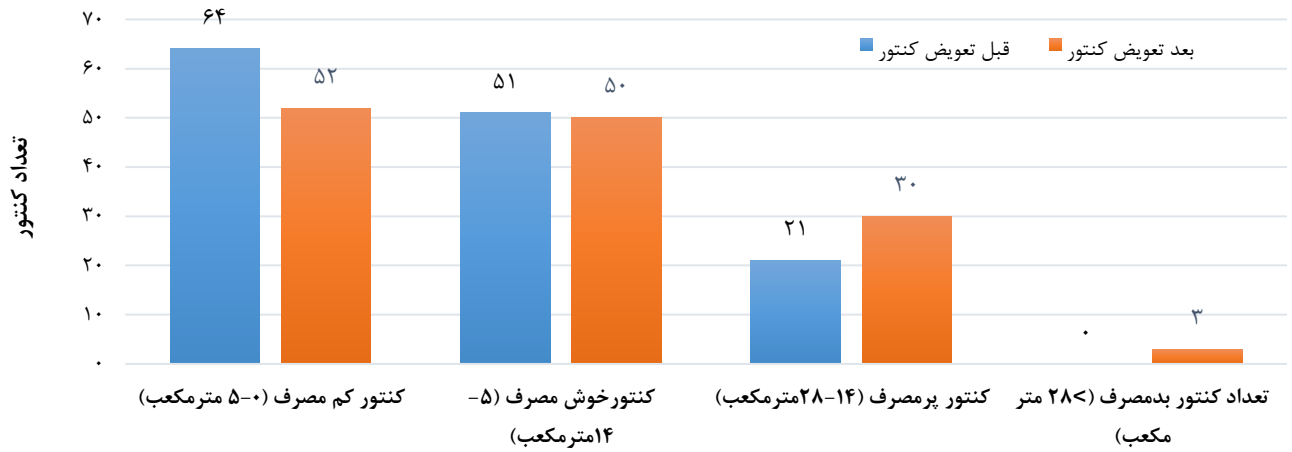
جدول ۸- تغییرات طبقات مصرف بعد از تعویض کنتور منطقه ۳ اصفهان، تابستان ۱۳۹۹ نسبت به دوره مشابه سال / سال‌های قبل

طبقات مصرف	قبل از تعویض کنتور			بعد از تعویض کنتور		
	تعداد مشترک با کنتور تعویض شده	درصد از کل	جمع مصرف (مترمکعب)	تعداد مشترک با کنتور تعویض شده	درصد از کل	جمع مصرف (مترمکعب)
0<x<5	۶۶	۴۸/۵۳	۱۹۹	۵۳	۳۸/۹۷	۱۶۸
5<x<10	۳۱	۲۲/۷۹	۲۲۵	۳۲	۲۳/۵۳	۲۴۵
10<x<15	۲۴	۱۷/۶۵	۳۲۱	۲۳	۱۶/۹۱	۲۹۹
15<x<20	۱۱	۸/۰۹	۱۹۱	۱۸	۱۳/۲۴	۳۱۹
20<x<25	۴	۲/۹۴	۹۴	۵	۳/۶۸	۱۱۳
25<x<30	۰	۰	۰	۲	۱/۴۷	۵۴
30<x<35	۰	۰	۰	۲	۱/۴۷	۶۶
35<x<40	۰	۰	۰	۱	۰/۷۴	۳۹
جمع	۱۳۶		۱۰۳۰	۱۳۶		۱۳۰۳



شکل ۳- تغییرات طبقات مصرف بعد از تعویض کنتورهای منطقه ۳ اصفهان، تابستان ۱۳۹۹ نسبت به دوره مشابه سال / سال‌های قبل

در شکل۴ سهم الگوی مصرف برای قبل و بعد از تعویض کنتور نشان داده شده است. الگوی مصرف برای استان اصفهان ۱۴ مترمکعب درنظر گرفته شده است.



شکل ۴- مقایسه تغییر الگوی مصرف قبل و بعد از تعویض کنتور در منطقه ۳ اصفهان، تابستان ۱۳۹۹ با دوره مشابه سال / سال‌های قبل

در جدول ۹ تاثیر جابه‌جایی طبقات مصرف با تعویض ۱۳۶کنتور فرسوده بر میزان آب‌بها با در نظر گرفتن الگوی مصرف ۱۴ مترمکعب در ماه برای استان اصفهان، نشان داده شده است. آب‌بها بر اساس دستورالعمل تعرفه‌های آب و خدمات دفع فاضلاب از ابتدای اردیبهشت سال ۱۳۹۹ محاسبه شده است (آبفای اصفهان، ۱۳۹۹). مشاهده می‌شود که تعویض کنتورهای فرسوده، آب‌بهای منطقه را را به‌میزان ۶۷/۸۳ درصد افزایش می‌دهد. لازم به ذکر است که جدول حاوی فرمول‌های محاسبه آب‌بها مطابق با تعرفه آب و خدمات دفع فاضلاب شرکت آبفای اصفهان برای مصارف زیر الگوی مصرف و بالای الگوی مصرف متفاوت است. لذا آب‌بها برای دامنه مصرف۱۰-۱۴ با یک فرمول و برای دامنه مصرف ۱۴-۱۵ با فرمول دیگری محاسبه می‌شود. نمونه فرمول‌ها برای سال ۱۴۰۰ در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۹- تاثیر جابه‌جایی طبقات مصرف بر میزان آب‌بها با تعویض ۱۳۶ کنتورهای فرسوده خانگی منطقه ۳ آبفای اصفهان، ۱۳۹۹

طبقات مصرف	قبل از تعویض کنتور			بعد از تعویض کنتور		
	تعداد مشترک با کنتور تعویض شده	جمع مصرف ماهیانه (مترمکعب)	جمع آب‌بهای ماهیانه (ریال) طبق تعرفه	تعداد مشترک با کنتور تعویض شده	جمع مصرف ماهیانه (مترمکعب)	جمع آب‌بهای ماهیانه (ریال) طبق تعرفه
0<x<5	۶۶	۱۹۹	۳۴۵۸۶۲	۵۳	۱۶۸	۲۹۱۹۸۴
5<x<10	۳۱	۲۲۵	۵۸۰۹۱۰	۳۲	۲۴۵	۶۳۲۹۳۰
10<x<14	۲۰	۲۶۱	۸۹۱۱۵۹	۱۸	۲۲۴	۷۶۲۹۹۱
14<x<15	۴	۶۰	۲۵۷۵۲۰	۵	۷۵	۳۲۶۱۷۵
15<x<20	۱۱	۱۹۱	۱۱۰۶۴۹۹	۱۸	۳۱۹	۱۸۷۳۷۳۱
20<x<25	۴	۹۴	۷۲۸۴۳۳	۵	۱۱۳	۸۹۴۵۳۱
25<x<30	۰	۰	_	۲	۵۴	۵۲۴۱۰۱
30<x<35	۰	۰	_	۲	۶۶	۸۶۸۸۶۱
35<x<40	۰	۰	_	۱	۳۹	۳۸۷۷۳۹
جمع	۱۳۶	۱۰۳۰	۳۹۱۰۳۸۳	۱۳۶	۱۳۰۳	۶۵۶۳۰۴۱

۶- تعمیم نتایج به کل منطقه مورد مطالعه و تحلیل اقتصادی تعویض کنتورها

برای تعمیم نتایج حاصل از این تحقیق به کل منطقه، لیست کل مشترکین با کاربری مسکونی و کنتور ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ و قدمت بالای ۲۰ سال از نرم‌افزار مشترکین استخراج شده و مصرف میانگین ماهیانه آن‌ها در شهریور ۱۴۰۰ به‌تفکیک طبقات مصرف محاسبه شد. آب‌بها براساس دستورالعمل تعرفه‌های آب و خدمات دفع فاضلاب از ابتدای اردیبهشت سال ۱۴۰۰ محاسبه (آبفای اصفهان،۱۴۰۰) و نتایج در جدول ۱۰ آورده شده است. قیمت هر کنتور از برند ۶ (کنتور جدید تعویض شده) به‌تفکیک اندازه و تعداد کل در منطقه ۳ در جدول ۱۱ آورده شده است. براین‌اساس جمع هزینه مورد نیاز برای تعویض ۵۹۲۸ کنتور فرسوده منطقه ۳، ۲۸,۹۶۲,۷۰۰,۰۰۰ ریال است. به‌منظور تخمین میزان افزایش آب‌بها در اثر تعویض ۵۹۲۸ کنتور فرسوده منطقه، با استناد به نتایج به‌دست آمده از تحقیق برای تعویض ۱۳۶ کنتور، برای تعویض ۵۹۲۸ کنتور نیز ۲۶/۵۵ درصد افزایش مصرف در سال اول تعویض فرض شده است. افزایش آب‌بها بر اساس قیمت نقطه سربه‌سر آب و خدمات دفع فاضلاب در سال ۱۴۰۰ بدون درنظر گرفتن طبقات مصرف و با یک عدد ثابت برای کل مشترکین محاسبه شده و نتایج در جدول ۱۲ آورده شده است. در این فرض میزان افزایش آب‌بها ماهیانه بعد از تعویض کنتور با در نظر ۷۰٪ حجم آب مصرفی برای دفع فاضلاب و براساس تعرفه فاضلاب و آب سال ۱۴۰۰ محاسبه شده است.

فرض شده که امکانات لازم (پیمانکار و موجودی انبار) برای تعویض همه ۵۹۲۸ کنتور در سال صفر در منطقه وجود داشته و تمام کنتورها در ابتدا تعویض شوند. از تقسیم هزینه تعویض کنتورها بر افزایش آب بها سالیانه ناشی از تعویض کنتورها، دوره برگشت سرمایه محاسبه گردید که ۴/۳ سال است.

جدول ۱۰- جمع مصارف ماهیانه و آب‌بها به‌تفکیک طبقات مصرف برای کنتورهای خانگی بالای ۲۰ سال قدمت منطقه ۳ آبفای اصفهان در سال ۱۴۰۰

طبقات مصرف	تعداد مشترک با کنتور عمر بالای ۲۰ سال	جمع مصرف مشترکین با کنتورهای بالای ۲۰ سال (مترمکعب)	آب‌بهای واحد (تعرفه ۱۴۰۰)	آب‌بهای ماهیانه مشترکین با کنتور بالای ۲۰ سال (ریال)
0<x<5	۵۳۸	۱۰۸۶	1860x	۲،۰۲۰،۴۲۵
5<x<10	۸۹۱	۶۹۹۲	2783x-4615	۱۹،۴۵۳،۷۳۷
10<x<14	۱۰۱۴	۱۲۲۲۴	3706x-13845	۴۵،۲۹۰،۱۳۳
14<x<15	۳۱۰	۴۵۳۱	5630x-21035	۲۵،۴۸۷،۲۸۵
15<x<20	۱۱۱۰	۱۹۳۳۵	7373x-114780	۱۴۲،۴۴۰،۰۰۷
20<x<25	۷۶۳	۱۷۰۳۴	10753x-114780	۱۸۳،۰۵۰،۲۵۲
25<x<30	۴۳۸	۱۲۰۳۷	16917x-268880	۱۹،۱۹۴،۶۱۸
30<x<35	۲۷۳	۸۸۵۴	23058x-453110	۲۰۳،۶۹۸،۹۱۷
35<x<40	۱۷۷	۶۶۴۶	30751x-722365	۲۰۳،۶۵۴،۶۸۵
40<x<50	۲۱۱	۹۳۵۴	66627x-2157405	۶۲۱،۰۶۰،۱۶۰
50<x	۲۰۳	۱۴۱۳۱	133255x-5488805	۱،۸۷۷،۴۹۰،۵۶۱
جمع	۵۹۲۸	۱۱۲۲۲۳		۳،۳۴۲،۸۴۰،۷۸۰

جدول ۱۱- قیمت کنتورهای برند ۶ به‌تفکیک اندازه کنتور در سال ۱۴۰۰

اندازه	تعداد کنتور فرسوده در منطقه ۳	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۰/۵ اینچ	۴۳۵۵	۴،۷۰۰،۰۰۰	۲۰،۴۶۸،۵۰۰،۰۰۰
۰/۷۵ اینچ	۱۵۷۳	۵،۴۰۰،۰۰۰	۸،۴۹۴،۲۰۰،۰۰۰
جمع	۵۹۲۸		۲۸,۹۶۲,۷۰۰,۰۰۰

جدول ۱۲- تخمین میزان افزایش آب‌بها بعد از تعویض ۵۹۲۸ کنتور فرسوده خانگی ۰/۵ و ۰/۷۵ اینچ منطقه۳ آبفای اصفهان در سال ۱۴۰۰

مصرف ماهیانه قبل از تعویض کنتور (مترمکعب)	۱۱۲،۲۲۳
تخمین مصرف ماهیان بعد از تعویض کنتور با فرض ۱ (مترمکعب)	۱۴۲،۰۱۸
میزان افزایش مصرف ماهیانه بعد ازتعویض کنتور (مترمکعب)	۲۹،۷۹۵
میزان افزایش آب‌بها ماهیانه بعد از تعویض کنتور (ریال)	۵۶۱،۳۶۳،۱۴۳
افزایش آب‌بها سالیانه ناشی از تعویض ۵۹۲۸ کنتور (ریال)	۶،۷۳۶،۳۵۷،۷۱۶
تخمین قیمت آب در نقطه سربه‌سر سال ۱۴۰۰ (ریال)	۱۱،۲۱۶
تخمین تعرفه فاضلاب در نقطه سربه‌سر سال ۱۴۰۰ (ریال)	۱۰،۸۹۲
تعرفه دفع فاضلاب در نقطه سربه‌سر سال ۱۳۹۹ (ریال)	۹،۳۹۰
قیمت آب در نقطه سربه‌سر سال ۱۳۹۹ (ریال)	۹،۶۶۹

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

یکی از عوامل موثر بر کاهش هدررفت ظاهری، افزایش دقت تجهیزات اندازه‌گیری است. در این مقاله ۱۹۸ کنتور فرسوده خانگی در منطقه ۳ شهر اصفهان انتخاب و تعویض شدند. نتایج این تحقیق نشان داد ۳۵٪ کنتورها بعد از تعویض، افزایش مصرف و ۱۳٪ کاهش مصرف داشته‌اند. بنابراین تعویض کنتورهای فرسوده باعث افزایش متوسط میانگین مصرف ماهیانه به میزان ۲۶/۵۵ درصد و در نتیجه افزایش آب‌بها به میزان ۶۷/۸۳ درصد شده است. مقارن بودن زمان تعویض کنتورها با تغییر حداکثر مصرف تابستان به پاییز و هم‌چنین مواجهه با ایام کرونا و تعطیلی مشاغل خانگی و تغییر کاربری برخی مشترکین به‌ظاهر مسکونی و تاثیر پاندمی کرونا بر الگوی مصرف ماهیانه، منجر به ازدست رفتن ۳۲٪ داده‌ها شد. هم‌چنین به‌علت در اختیار نداشتن داده‌های سال ۱۳۹۸ برای برخی کاربری‌ها، به‌ناچار از داده‌های سال۱۳۹۷ و گاهی تا سال ۱۳۹۱ (متوسط دوره مشابه در چند سال اخیر) استفاده شد که منجر به کاهش دقت تحلیل شد. لذا پیشنهاد می‌شود یک کار تحلیلی مشابه در سال‌های بعد از کرونا انجام گیرد و بازه زمانی تعویض کنتور در دوره‌ای دور از تغییر پیک مصرف درنظر گرفته شود که از تاثیر نوسان مصرف و عوامل

زمانی کاسته شود. در تحقیق‌های بعدی بهتر است که از اطلاعات به‌روزشده مشترکین (بعد جدید خانوار، علت بسته بودن متوالی درب، کاربری جدید و واقع‌بینانه هر اشتراک، تعداد طبقات و غیره) استفاده شده و کلیه عوامل موثر در تغییر روند مصرف، وزن‌گذاری شده و تاثیر تعویض کنتور با حذف سایر عوامل محیطی و زمانی بررسی شود. پیشنهاد می‌شود در تحلیل‌های مشابه کلیه کنتورهای قدیمی تعویض شده، در کارگاه تست کنتور نیز تست شوند تا از خراب بودن آن‌ها اطمینان حاصل شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحلیل، مشخص شد که ۹۰ درصد کنتورهای خراب در قبض مشترکین مشخص نمی‌شوند. لذا بهتر است که شرکت‌های آب و فاضلاب حتی با وجود محدودیت‌های مالی، تعویض کنتورهای فرسوده را در دستور کار قراردهند که علاوه‌بر کاهش هدرفت ظاهری باعث درآمدزایی برای شرکت نیز می‌شود. سرمایه صرف شده نیز در دوره ۴/۳ ساله به منطقه باز خواهد گشت. هم‌چنین در این پژوهش نشان داده شد که عمر کنتور تنها عامل تعیین کننده برای خرابی آن نیست و برند کنتور نیز در تعیین اولویت تعویض کنتورها موثر است که با نتایج پژوهش‌های مشابه در این زمینه مطابقت داشت. لذا در شرکت‌های آب و فاضلاب باید برای اولویت‌بندی تعویض کنتورها، تمامی عوامل موثر بر خرابی کنتور درنظر گرفته شود (قنبری و همکاران، ۱۳۹۷).

۶- مراجع

اصلانی، ه.، و بهرامی، ف.، (۱۳۹۷)، "مقایسه دو روش انتخاب مشترک جهت تعویض کنتور (مطالعه موردی شرکت آب و فاضلاب اصفهان، منطقه شهرضا)"، *دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی*، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، ۲۲-۲۴ آبان.

اکبرپور، ا.، و عزیزی، م.، (۱۳۹۹)، "تحلیل اقتصادی خطای کنتور مشترکین خانگی و تاثیر آن بر میزان آب بدون درآمد"، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۱(۲)، ۲۰۴-۲۲۳.

جعفری، ه.، نیک نهاد، ح.، و حسینی بیدار، ه.، (۱۳۹۵)، "تاثیرتعویض کنتورهای فرسوده مشترکین برافزایش درآمد وکاهش آب بدون درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب"، *سومین همایش ملی اندازه‌گیری جریان سیالات در صنایع نفت، گاز، پالایش، پتروشیمی و آب*، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۷-۱۸ آذر.

دلاوری، ب.، (۱۳۹۶)، "بررسی نقش تعویض کنتورهای فرسوده کم‌کار بر کاهش آب بدون درآمد، مطالعه موردی: بندر گناوه"، *اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدر رفت آب*، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، ۲۸-۲۹ آذر.

زین الدینی، غ.، (۱۳۹۰)، "بررسی اثربخشی تعویض کنتورهای خراب مشترکین در کاهش آب بدون درآمد شهر کرمان"، *کنفرانس بین‌المللی آب و فاضلاب با رویکرد خصوصی‌سازی و الگوهای برتر در طراحی، ساخت و بهره‌برداری*، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران، ایران، اردیبهشت.

سازمان ملی استاندارد ایران، (۱۳۹۰)، "کنتورهای آب آشامیدنی سرد و آب گرم: قسمت ۱: الزامات اندازه‌شناختی و فنی"، چاپ اول.

شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، (۱۴۰۰)، "آزمون‌های کنتورهای آب بر طبق استاندارد OIML-R49".

شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان (۱۳۹۹)، "تعرفه‌های آب و خدمات دفع فاضلاب از ابتدای اردیبهشت سال ۱۳۹۹".

شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان (۱۴۰۰)، "تعرفه‌های آب و خدمات دفع فاضلاب از ابتدای اردیبهشت سال ۱۴۰۰".

قنبری، س.، ملاباشی، آ.، و محمودی، ا.، (۱۳۹۷)" تست خوشه‌ای کنتورهای شهر تیران و بررسی عوامل موثر بر دقت کنتورها"، *دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی*، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، ۲۲-۲۴ آبان.

لشکری، آ.، و لطفعلیان، ر.، (۱۳۸۸)، "مطالعه و بررسی خطای اندازه‌گیری کنتورها در حسابرسی آب (در جامعه نمونه: شهرهای سمنان، شاهرود،گرمسار، دامغان) (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)"، *سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف*، دانشگاه شهید بهشتی، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، ایران، ۴-۵ آذر.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و وزارت نیرو، (۱۳۹۱)، "راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر بر آب به‌حساب نیامده و راه‌کارهای کاهش آن"، نشریه شماره ۵۵۶، تهران.

Richards, G.L., Johnson, M.C., and Barfuss, S.L., (2010), "Apparent losses caused by water meter inaccuracies at ultralow flows", *Journal of American Water Works Association*, 102(5),123-132.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.