نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال یازدهم. شماره چهل و دوم. زمستان۱۳۹۹

تحلیل اقتصادی خطای کنتور مشترکین خانگی و تاثیر آن بر میزان آب بدون درآمد

ابوالفضل اکبرپور[۱*]، محسن عزیزی[۲۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۸/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۶/۱۱

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

ا صلاح کنتورها و افزایش دقت در آنها موجب افزایش بهره وری شبکه توزیع آب، ا ستفاده بهینه از منابع آب و کاهش میزان آب بدون درآمد می شود. تحقیق حا ضر با هدف شنا سایی مقدار آب بدون درآمد نا شی از عدم دقت کنتورهای م شترکین رو ستاهای شهر ستان بیرجند انجام گرفت. در این تحقیق با روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک ۱۰۰۷ کنتور معادل ۵ درصد مشترکین خانگی روستاهای شهر ستان بیرجند انتخاب شده و با در نظر گرفتن پارامتر عمر کنتور به شش طبقه با عمر ۳-۱ سال، ۶-۴ سال، ۹-۷ سال، ۱۲-۱۰ سال، ۱۵-۱۳ سال و ۱۸-۱۶ سال تقسیم بندی شدند. نتایج تحقیق نشان داد که ۷۵/۳ درصد کنتورها دارای خطای در محدوده مجاز و ۲۴/۷ درصد دارای خطای بیشتر از محدوده مجاز بوده که ۱۹/۵ درصد آنها دارای خطای مثبت و ۵/۲ درصد دارای خطای منفی بودند. با افزایش عمر کنتور از دقت کنتور کاسته شده و عمدتاً حجم آب واقعی عبوری را بیشتر ثبت می‌گردد. با توجه به مصارف سال ۱۳۹۶، متو سط وزنی ضریب ت صحیح کنتورهای ت ست شده ۱/۰۴۹ بد ست آمد و اعمال این ضریب در م صرف سال م شترکین مورد مطالعه و محاسبه مجدد آب بها قبوض، باعث افزایش ۴/۷ درصدی میزان مصارف و ۱۶/۸۹ درصدی درآمد این شرکت شد. همچنین با این اعمال ضریب تصحیح در آب مصرفی سال ۱۳۹۶ کل مشترکین استان، مشخص شد که سهم آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتور مشترکین ۲/۹۷ درصد حجم آب تولیدی و ۴/۹ درصد حجم مصارف مجاز با درآمد این شرکت است.

واژه های کلیدی: دقت کنتور، آب بدون درآمد، شهرستان بیرجند

۱- [۱] دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند نویسنده مسئول (Email: akbarpour@birjand.ac.ir)

۲- [۲] دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، رئیس اداره آب بدون درآمد و مدیریت مصرف، شرکت آب و فاضلاب روستایی استان خراسان جنوبی Email: akbarpour@birjand.ac.ir

مقدمه

از اهداف اصلی دفتر آب بدون درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب، کاهش هدررفت و افزایش درآمد می‌باشد که هدررفت در دو بخش ظاهری و واقعی تعریف می شود. بخش عمده هدررفت ظاهری مربوط به دستگاه‌های اندازه‌گیری (کنتورها) می‌باشد. کنتور آب یک ابزار موثر در اندازه‌گیری میزان جریان در شبکه توزیع آب می باشد و از آنجا که آگاهی شرکت‌های آب و فاضلاب از میزان آب تولیدی و ورودی به شبکه توزیع و آب مصرف شده توسط مشترکین امری ضروری و حیاتی است، لذا میزان دقت کنتورها در این رابطه بسیار حائز اهمیت می‌باشد و وجود کنتورهای با دقت کم عامل عمده‌ای در کسر درآمد شرکتها می‌باشد (معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱).

شرکت‌های آب و فاضلاب جهت تعویض کنتورهای خراب، با عمر بالای۱۰ سال و دارای خطای غیرمجاز سالانه هزینه قابل توجهی را متحمل می‌شوند. لذا می‌توان با اجرای عملیات میدانی تست کنتور درجا نسبت به شناسایی کنتورهای دارای خطای غیرمجاز اقدام و تاثیرآن بر روی درآمد مشترکین را بررسی نمود. از طرفی عدم دقت کنتورها در محل ورود آب به شبکه توزیع، اطلاعات مورد نیاز جهت میزان آب تولیدی را مشخص نمی سازد. این مسئله می‌تواند سرمایه گذاری جهت استفاده از منابع جدید و تعیین میزان واقعی تلفات آب را دچار خطا سازد (لشکری و لطفعلیان، ۱۳۸۸).

با توجه به اینکه عمده درآمد شرکت‌های آب و فاضلاب از طریق آب بهاء مشترکین تامین می‌گردد، وجود کنتورهای با دقت کم می‌تواند عامل عمده‌ای در کاهش درآمد شرکت‌ها باشد. همچنین به دلیل وجود کنتورهای غیردقیق، برآورد صحیح میزان مصرف و برنامه‌ریزی جهت تامین منابع تولید آب دچار اختلال شده و صدمات زیادی را به سرمایه های ملی وارد می‌نماید. مقدار خطای کنتور در مفهوم آب بدون درآمد در شبکه های توزیع آب شهری جزئی از تلفات ظاهری محسوب می‌گردد (اکرام نیا و علیخاصی، ۱۳۹۰).

کنتورهای آب کلاس C دارای دقت فوق العاده و مناسب برای اندازه گیری مصرف آب سرد آشامیدنی تا ۵۰ درجه سانتیگراد بوده و موجب کاهش آب بدون درآمد می‌گردد. لذا طاهری تحقیقی با عنوان بررسی تاثیر کنتورهای آب کلاسC بر کاهش آب بدون درآمد انجام داد. در این تحقیق به این نتیجه رسید که در منطقه مورد مطالعه با نصب هر کنتور کلاس C بطور متوسط در سال میزان ۳۸۸/۳۶ مترمکعب می‌توان از حجم آب بدون درآمد را کاهش داد (طاهری، ۱۳۸۸). شمسیان و همکاران تحقیقی در خصوص تاثیر تعویض کنتورهای با عمر بالای ۱۰ سال شهر آرادان انجام دادند. در منطقه مذکور نسبت به تعویض کنتورهای با عمر بالای ۱۰ سال برای ۲۷ اشتراک از نوع مصرف پایین اقدام شد. نتایج حاصله نشان داد که میزان مصرف از ۹۱۵ مترمکعب به ۳۱۸۲ مترمکعب بعد از تعویض رسیده که با رشد حدود ۲۴۷٪ از مصرف روبه رو شدند و مبلغ قبض از ۸۴۸۶۵۵ ر یال برای ۲۷ اشتراک قبل از تعویض به رقم ۴۵۹۵۶۴۸ ریال بعد از تعویض رسید، که باعث رشد معادل ۴۴۱٪ درآمد شد (شمسیان و همکاران، ۱۳۸۷).

لشکری و لطفعلیان تحقیقی با عنوان مطالعه و بررسی خطای اندازه گیری کنتورها در حسابرسی آب در جامعه نمونه شهرهای سمنان، شاهرود، گرمسار و دامغان انجام دادند. نتایج حاصل از انجام عملیات تست و تعویض کنتورها در ۴ شهر مورد مطالعه نشان داد که میزان کاهش هدررفت ظاهری پس از انجام مطالعه برای حسابرسی آب حدود ۵ درصد بوده است که نسبت به قبل از اجرای طرح مقدار کل تلفات ظاهری آب در جامعه نمونه ۱۳/۳۷٪ بوده که پس از انجام فعالیت فوق به مقدار ۸/۳۴٪ رسیده است. برگشت سرمایه ناشی تعویض کنتور در کمتر از دو سال در چهار شهر مورد مطالعه مستهلک شده و با توجه به اینکه عمر مفید کارکرد کنتورها ۵ سال در نظر گرفته می شود سه سال آتی بعنوان سود و درآمد برای مجموعه شرکت آب و فاضلاب استان سمنان خواهد بود (لشکری و لطفعلیان، ۱۳۸۸).

ازلی در تحقیقی روی کنتورهای مشترکین شهرهای نایین و فریدونشـــهر تاثیر تعویض کنتورها مشـــترکین بر آب بدون درآمد را بررســـی نمود. در این تحقیق با توجه به میزان بالای پرت شـبکه توزیع در دو شـهر فریدونشـهر و نایین شـروع به تعویض انشـــعابات و کنتورها اقدام نموده و در این بررســـی میزان مصرف تعدادی از مشترکین بصورت تصادفی بر اساس تعویض کنتورها مورد مطالعه قرار گرفت و نشـــان داد که با کنترل نمودن خطای اندازه‌گیری می توان از هدررفت زیاد آب جلوگیری نمود. در این تحقیق با تعویض ۳۰۰ کنتور در نایین و ۱۰۰۰ کنتور در فریدونشهر در مدت دو سال، مشاهده گردید که مبلغ ۲۲۸ میلیون ریال در نایین و مبلغ ۳۵۵ میلیون ریال در فریدونشهر بازگشت هزینه در برداشته است (ازلی، ۱۳۸۸).

خادمی فر و همکاران تحقیقی جهت بررســـی اقتصـــادی تعویض کنتور های خطا دار انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تعویض کنتورهای خطادار جهت کاهش آب بدون درآمد و افزایش درآمدهای شرکتهای آب و فاضلاب بایستی در یک نقطه بهینه اقتصـــادی انجام شـــود که بتواند حداقل میزان درآمدها و هزینه های تعویض کنتور را در نقطه سـر به سر قرار دهد (خادمی فر و همکاران، ۱۳۸۸).

اکرام نیا و علیخاصی تحقیقی روی ارزیابی دقت کنتورهای خانگی و تاثیر آن در مقدار مصـــرف واقعی آب مشـــترکین مسکونی شاهین شهر استان اصفهان انجام دادند. نتایج نشان داد که اصلاح کنتورها باعث می شود مقدار آب واقعی مصرف شده، ۲۰٪ بیشتر از مقدار قرائت شده توسط کنتورها گردد و با اعمال تعرفه آب در صـــورت اصـــلاح کنتورها مقدار درآمد حاصـل از فروش حدود ۱۳۰٪ افزایش پیدا خواهد کرد (اکرام نیا و علیخاصی، ۱۳۹۰).

پیش یار در تحقیقی به منظور بررســـی میزان صـــحت عملکرد کنتورهای آب مشترکین شهر سبزوار، تعداد ۳۰۳۹ دســـتگاه کنتور از بین ۸۶۸۰۶ مشـــترک انتخاب نمود. نتایج تســـت کنتورهای منتخب نشـــان داد که عملکرد ۸۷/۹۹٪ کنتورها در محدوده مجاز ۵٪± می باشد (پیش یار، ۱۳۹۶).

دلاوری و همکـاران بـه منظور بررســـی نقش تعویض کنتورهای فرسوده کم کار بر کاهش آب بدون درآمد تحقیقی رو مشترکین کم کار شهر بندر گناوه انجام دادند. آنها در این تحقیق با بررســـی میزان مصـــرف ۱/۵٪ از کنتورهای کم کار شـهر گناوره که در سـال ۱۳۹۵ تعویض شـدند به این نتیجه رسـیدند که رابطه مسـتقیمی بین تعویض کنتورها و افزایش مصـــرف وجود دارد. بطوری که میزان افزایش در مصـــرف کنتورهای تعویض شده ۴۲٪ برآورد گردید و اثرات حاصل از افزایش مصرف از یک سو و جابجایی طبقات مصرف از سوی دیگر، منجر به افزایش ۶۳٪ آب بهای قبوض صادره شده است (دلاوری و همکاران، ۱۳۹۶).

پوراسحاق و همکاران در تحقیقی با تست خوشه ای ۰/۳٪ کنتور مشترکین خانگی ۱۳ شهر تابعه شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی به این نتیجه رسیدند که بطور میانگین حدود ۱۶٪ کنتورها در محدوده استاندارد واقع شده و سالم هستند و مابقی آنها دارای خطای غیرمجاز بوده و ایجاد هدررفت ظاهری می‌نمایند. همچنین به این نتیجه رسـیدند که خطای منفی کنتورهای آب خانگی خیلی بیشتر از خطای مثبت آنها است و میزان آب بدون درآمد ناشی از خطای کنتورها معادل ۱۲/۸٪ مصارف مجاز با درآمد می‌باشد (پوراسحاق و همکاران، ۱۳۹۶). ریچاردز و همکاران در تحقیقی به این نتیجه دســـت یافتند که عدم دقت کنتور مشـــترکین آب خانگی در جریان های کم ســـبب افزایش هدررفت ظاهری و کاهش درآمد فروش آب می شود (Richards et al., 2010).

فرانسیسکو و همکاران در تحقیق خطای دو سری کنتور آب خانگی مدل تک جت را با در نظر گرفتن پارامترهای حجم آب عبوری و سـن کنتور با هم مقایسـه کردند. آنها به این نتیجه رســـیدند با توجه به اینکه هر ۲ مدل کنتور در شرایط مشابه ساخته شده اند، اما در شرایط تست یکسان، دقت آنها متفاوت می باشـد. همچنین نتایج حاصـل از تسـت دقت کنتور در صـــورت گذر زمان، قابل تعمیم نیســـت (Francisco et al., 2018).

مبابازی و همکاران در تحقیقی به منظور بررســـی کاهش دقت دو مدل کنتور حجمی و یک مدل سرعتی نصب شده در مشترکین خانگی شهر کامپالا، به این نتیجه رسیدند که حجم

هدررفت ظاهری ناشی از عدم دقت کنتور حجمی مدل ۱ و ۲ به ترتیب ۲۴/۱ و ۱۶/۹ مترمکعب و مدل سرعتی ۵/۳ مترمکعب در سال است و کنتور مدل سرعتی را به دلیل خطای کمتر جهت تعویض کنتور پیشنهاد کردند (Mbabazi et al., 2018).

فانتانزا و همکاران در تحقیقی به تاثیر ایجاد مخزن ذخیره بعد از کنتور توسط مشترک در میزان دقت کنتور آب پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که وجود مخازن ذخیره سبب کاهش دقت کنتور آب و افزایش تلفات ظاهری می شود. همچنین آنها با ساخت دستگاه UFR و نصب بعد از کنتور ۵۲ مشترک آب در یک محدوده DMA شهر پالرمو کشور ایتالیا به این نتیجه رسیدند که وجود دستگاه UFR سبب کاهش تاثیر مخازن ذخیره در میزان هدررفت ظاهری می شود (Fontanazza et al., 2015).

آریگوا و همکاران در تحقیقی به منظور کاهش ضررهای ناشی از کارکرد نامناسب کنتورهای آب مشترکین خانگی و به حداقل رساندن درآمد فروش آب، طرح مدیریت یکپارچه کنتورهای آب خانگی را تدوین و ارائه کردند که این طرح شامل ۹ مرحله شامل ممیزی اولیه، انتخاب نوع کنتور، تعمیر و نگهداری کنتورها، برنامه تعویض کنتورهای خانگی مشکل دار می باشد (Arregui et al., 2012).

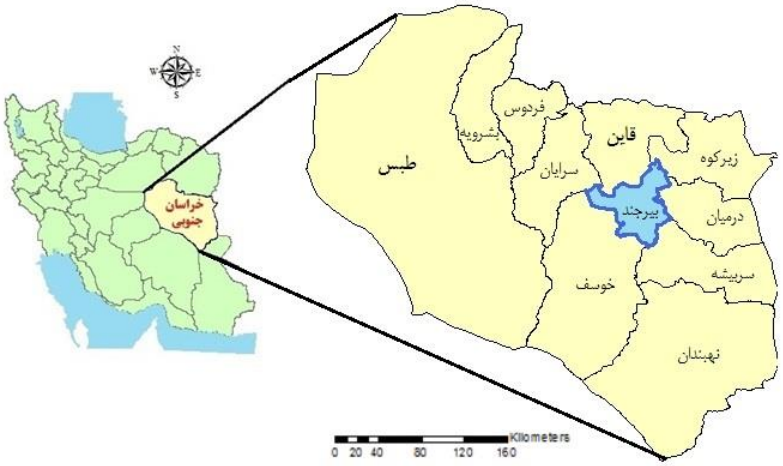
همچنین آریگوا و همکاران در تحقیق دیگری یک روش گرافیکی را با در نظر گرفتن پارامترهای میزان خطای کنتور آب ، حجم آب مصرفی مشترک، قیمت فروش آب و قیمت خرید کنتور آب، دوره بهینه تعویض کنتور مشترکین را ارائه کردند(Arregui et al., 2011).

با توجه به اینکه با گذشت زمان به دلیل فرسایش، خوردگی، ورود مواد معلق و رسوبات در کنتور و تغییرات درجه حرارت از دقت کنتورها آنها کاسته می‌شود، که این موضوع در تحقیقات گذشته مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق با هدف بررسی تاثیر عمر کنتور در دقت، کنتورهای انتخاب شده جهت تست بر اساس عمر کنتور، به شش طبقه ۳-۱ سال، ۶-۴ سال، ۹-۷ سال، ۱۲-۱۰ سال، ۱۵-۱۳ سال و ۱۸-۱۶ سال تقسیم گردید و میزان خطای هر طبقه محاسبه و تاثیر افزایش عمر کنتور بر میزان خطای کنتور مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی با برخورداری از وسعتی معادل ۱۵۰۸۰۰ کیلومتر مربع (حدود ۹,۲۷ درصد مساحت کل کشور)، در شرق کشور قرار دارد. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری این استان دارای ۱۱ شهرستان، ۲۵ بخش، ۲۸ شهر، ۶۱ دهستان و ۳۶۸۸ روستا و آبادی می باشد. شهرستان بیرجند با برخورداری از وسعتی معادل ۶۸۰۰ کیلومتر مربع (حدود ۵ درصد مساحت کل استان)، در مرکز استان خراسان جنوبی قرار دارد. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری این شهرستان دارای ۱ بخش، ۱ شهر، ۶ دهستان می باشد. طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ در سطح شهرستان بیرجند در مجموع ۳۲۴ آبادی دارای سکنه گزارش شده است که از این تعداد ۱۸۶ روستای کمتر از ۲۰ خانوار و ۱۳۸ روستای بالای ۲۰ خانوار در استان وجود دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

جامعه و نمونه آماری

در این تحقیق جهت دستیابی به اهدافی نظیر تعیین دقت کنتورها، برآورد مصرف واقعی مصرف مشترکین مسکونی و تاثیر خطای کنتورها بر میزان آب بدون درآمد، مشترکین روستاهای شهرستان بیرجند، به عنوان جامعه آماری انتخاب گردید. بدین منظور ابتدا از بین جامعه آمار درصدی از کنتورها با توجه به فاکتور عمر کنتور به صورت تصادفی انتخاب شد. تست دقت کنتورهای منتخب با استفاده از یک کنتور مبنا کالیبره شده در دبی‌های حداقل، متوسط و حداکثر و مشخص کردن ضریب تصحیح کنتورها انجام گردید. در گزارش راهنمای عملیاتی کاهش و کنترل آب به حساب نیامده تهیه شده توسط بانک جهانی، انتخاب تعداد یک درصد از کنتورهای مصرف کنندگان خانگی توصیه شده است (معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱). نمودار گردشی مراحل تحقیق فوق در شکل ۲ ارائه شده است.

شکل (۲):نمودار گردشی مراحل تحقیق

با توجه به کیفیت پایین کنتورها در کشور ایران و سپری شدن سالهای زیاد از عمر مفید آنها به نظر می رسد این مقدار ناکافی باشد، بنابراین پیشنهاد شده است که جهت تست کنتورها در مرحله اولیه تعداد یک الی ۵ درصد کنتورها به عنوان جامعه نمونه آماری انتخاب شوند که باید با قضاوت مهندسی تعداد مناسبی را انتخاب کرد. با توجه به اینکه به دلیل فرسایش، خوردگی، ورود مواد معلق و رسوبات در کنتور و تغییرات درجه حرارت با گذشت زمان از دقت کنتورها آنها کاسته می‌شود، لذا در این تحقیق برای بررسی تاثیر عمر کنتور در دقت، ابتدا جامعه آماری مشترکین خانگی روستاهای شهرستان بیرجند (۲۰۱۴۰ فقره) را به شش طبقه

۱-۳ سال، ۶-۴ سال، ۹-۷ سال، ۱۲-۱۰ سال، ۱۵-۱۳ سال و ۱۸-۱۶ سال تقسیم گردید. سپس با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک از بین جامعه آماری هر طبقه، ۵٪ آنها به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. مراحل انتخاب نمونه‌های طبقه به شرح ذیل بیان می شود:

۱- طبقه بندی جامعه آماری بر اساس عمر کنتور به شش طبقه ۳-۱ سال، ۶-۴ سال، ۹-۷ سال، ۱۲-۱۰ سال، ۱۵-۱۳ سال و ۱۸-۱۶ سال و تعیین جامعه آماری هر طبقه (M)
۲- مرتب کردن جامعه آماری هر طبقه بر اساس تاریخ نصب کنتور
۳- تعیین فراوانی (F) و درصد فراوانی هر طبقه (DF)
۴- تعیین تعداد نمونه آماری هر طبقه (N) با ضرب درصد فراوانی هر طبقه در تعداد کل جامعه آماری
۵- تعیین فاصله نمونه گیری (K) هر طبقه با تقسیم جامعه آماری هر طبقه بر تعداد نمونه آماری همان طبقه
۶- انتخاب یک عدد تصادفی (R) بین ۱ تا K برای هر طبقه
۷- انتخاب N نمونه آماری برای هر کدام از طبقه ها به روش [R , R+K , R+2K , …. , R+(N-1)K]

همچنین به منظور کنترل تعداد نمونه آماری از فرمول کوکران (رابطه ۱) استفاده گردید (سبحانی فرد، ۱۳۹۷).

$$n = \frac{\frac{z^2pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2pq}{d^2}-1\right)} \quad (۱)$$

در رابطه فوق n حجم نمونه آماری، Z مقدار متغیر نرمال که در سطح اطمینان ۹۵٪ برابر ۱/۹۶ و در سطح اطمینان ۹۹٪ برابر ۲/۵۸ است، N حجم جامعه آماری، P احتمال موفقیت در انجام نمونه گیری و q احتمال شکست است که در اکثر مواقع محققین از روش احتمالی استفاده کرده و مقدار p و q را در پژوهش خود ۰,۵ انتخاب کرده اند، d احتمال خطای اندازه‌گیری که معمولاً برابر ۰/۰۵ است. در این تحقیق با توجه به اینکه حجم جامعه آماری ۲۰۱۴۰ مشترک شهرستان بیرجند بوده، با استفاده از فرمول کوکران تعداد نمونه آماری با فرض سطح احتمال ۹۵٪ بایستی حداقل ۳۷۷ مشترک باشد. با توجه با اینکه در این تحقیق تعداد نمونه آماری ۱۰۰۷ کنتور بوده، لذا تعداد نمونه آماری کافی بوده و بازتابی از کل جامعه آماری است.

تعداد نمونه منتخب در هر طبقه در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس جدول ۱ مشاهده شد که ۲۷٪ مشترکین آب روستاهای شهرستان بیرجند دارای عمر ۱ تا ۳ سال بوده که از بین آنها ۲۶۹ کنتور به عنوان نمونه جهت تست انتخاب شده اند. همچنین طبقه کنتورهای با عمر ۱۳ تا ۱۵ سال، با ۷٪ فراوانی، دارای کمترین نمونه آماری جهت تست است.

جدول (۱): طبقه بندی نمونه آماری منتخب براساس عمر کنتور

عمر کنتور (سال)	جامعه آماری	درصد فراوانی	نمونه آماری
۱ تا ۳	۵۳۸۸	۲۷	۲۶۹
۴ تا ۶	۳۸۰۹	۱۹	۱۹۰
۷ تا ۹	۳۴۹۲	۱۷	۱۷۵
۱۰ تا ۱۲	۲۱۴۷	۱۱	۱۰۷
۱۳ تا ۱۵	۱۴۹۱	۷	۷۵
۱۶ تا ۱۸	۳۸۱۳	۱۹	۱۹۱
جمع	۲۰۱۴۰	۱۰۰	۱۰۰۷

انتخاب روش تست

تست کنتور به دو روش امکان پذیر است. در روش اول، کنتور از محل باز شده و به آزمایشگاه تست کنتور ارسال می گردد. در روش دوم، می توان با استفاده از دستگاه تست کنتور پرتابل، کنتور را بدون بازکردن در محل تست کرد. این روش نسبت به تست کنتور در آزمایشگاه به علت تست در

حضور مشترک رضایتمندی بیشتری دارد ولی در آزمایشگاه به دلیل وجود شرایط استاندارد و عدم اتلاف آب، نتایج دقیق تری استخراج می شود. ولی در عمل دستگاه تست کنتور از قابلیت لازم برای تشخیص صحت عملکرد کنتور برخوردار است. بدین منظور در این تحقیق با خرید یک دستگاه تست کنتور پرتابل مدل PT901 شرکت آزمون متمم، عملیات تست نمونه آماری منتخب با حضور در محل انجام شد. با توجه به اینکه مصرف آب مشترکین از دبی صفر تا دبی زیاد متغیر می باشد و چون رفتار کنتور در دبی های مختلف عبوری متفاوت می باشد، لذا خطای اندازه‌گیری کنتور در دبی‌های مختلف متفاوت است. لذا برای اینکه برآورد دقیقتری از خطای کارکرد کنتور استخراج و گزارش گردد، بایستی در سه نقطه کاری از دامنه کارکرد کنتور با شبیه سازی رفتار کنتور خطای متوسطی برای کنتور برآورد شود، بدین منظور بایستی کنتور مشترک در سه دبی کم، متوسط و زیاد به شرح ذیل تست شود.

- **دبی کم:** این دبی در حدود ۳۰ لیتر بر ساعت است. مصرف آب در این دبی، ناشی از چکه شیرآلات و مصرف کولر و مصارف لحظات باز و بست و تنظیم جریان شیرها و برخی موارد ناچیز مصرف می‌باشد. مصرف یک خانوار معمولی ۴ الی ۶ نفره در دبی کم با متوسط مصرف ۲۰ تا ۳۰ مترمکعب در ماه و بدون کولر و چکه شیرآلات حدود ۱۰٪ است.
- **دبی متوسط:** این دبی در شرایط مصرف معمولی یک واحد ظرفشویی یا روشویی با شیرآلات مصرف معمولی حدود ۸۰۰ لیتر در ساعت است. مصرف یک خانوار معمولی ۴ الی ۶ نفره در دبی متوسط با متوسط مصرف ماهانه ۲۰ تا ۳۰ مترمکعب حدود ۶۰٪ کل مصرف است.
- **دبی زیاد:** این دبی تا حد ۱۶۰۰ لیتر بر ساعت در شرایط باز شدن همزمان دو شیر بطور مثال شیر ظرفشویی و شیر روشویی ایجاد می گردد. حدود ۳۰٪ مصرف یک خانوار معمولی ۴ الی ۶ نفره با متوسط مصرف ماهانه ۲۰ تا ۳۰ مترمکعب در این دبی اتفاق می‌افتد.

حجم آب عبوری در هریک از دبی های سه گانه، جهت تست کنتور یک مشترک با شرایط متعارف از جمله یک خانوار ۴ الی ۶ نفره در یک واحد مسکونی با متوسط مصرف ماهانه ۲۰ تا ۳۰ مترمکعب در ماه طی یک سال گذشته بر اساس جدول ۲ انتخاب می شود (معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱). در این تحقیق حجم دبی عبوری جهت تست کنتور، ۴۰ لیتر انتخاب شد.

جدول (۲): فواصل حجم آب عبوری در دبی های سه گانه برای یک مشترک با شرایط متعارف

کل حجم تست (لیتر)	دبی کم (لیتر)	دبی متوسط (لیتر)	دبی زیاد (لیتر)
۱۰۰	۱۰	۶۰	۳۰
۵۰	۵	۳۰	۱۵
۴۰	۴	۲۴	۱۲
۲۰	۲	۱۲	۶

مراحل تست کنتور

پس از انتخاب و مشخص شدن مقدار آب لازم جهت تست و تعیین میزان حجم عبوری در دبی های سه گانه، مراحل تست کنتور آب به شرح ذیل انجام گردید.

۱- اطمینان از عدم وجود نشتی در لوله کشی داخل منزل مشترک

۲- هواگیری دستگاه تست کنتور با بازکردن آرام شیر و تکان دادن و لرزاندن آرام دستگاه، هوای داخل آن را تخلیه کرده و از پر شدن کامل دستگاه با آب اطمینان حاصل کرد.

۳- شیر دستگاه تست را بسته و ارقام اولیه کنتور و دستگاه تست کنتور را به دقت یادداشت شود.

۴- ابتدا شـــیر را به تدریج و آرام باز کرده و دبی دســـتگاه تست کنتور را در حد ۳۰ لیتر بر ساعت تنظیم کرده و اجازه داده تا حجم لازم برای دبی کم از کنتور عبور کند.

۵- وقتی رقم دســتگاه تســت کنتور در دبی کم، حجم دبی کم را کامل نمود با باز کردن تدریجی شیر، دبی دستگاه را تا دبی ۸۰۰ لیتر بر ســـاعت افزایش داده تا در دبی متوسط، حجم لازم برای تست عبور کند.

۶- وقتی رقم دستگاه تست کنتور در دبی متوسط، حجم دبی متوســـط را کامل نمود با بازکردن تدریجی شـــیر، دبی دستگاه را تا دبی ۱۶۰۰ لیتر بر ساعت افزایش داده تا در این دبی، حجم لازم برای تســـت دبی زیاد کامل شود و به محض رسیدن رقم به حجم مورد نظر، جریان آب را قطع می گردد.

۷- پس از قطع جریان آب، ارقام ثانویه کنتور مورد تست و دستگاه تست کنتور به دقت قرائت و یادداشت گردد.

۸- کارکرد کنتور مورد تست و کنتور دستگاه تست کنتور را از اختلاف دو رقم اولیه و ثانویه با دقت دو رقم اعشاری محاسبه شده و درصد خطای کنتور از رابطه ۲ محاســـبه می گردد. اگر خطا منفی باشـــد یعنی کنتور مشترک حجم آب عبوری را بیشتر از مقدار واقعی ثبت می کند و اگر خطا مثبت باشـــد یعنی کنتور مشـــترک حجم آب واقعی عبوری را کمتر ثبت می کند.

$$E = \frac{A-B}{A} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

در رابطه فوق E درصـــد خطای کنتور، A حجم آب عبوری از دستگاه تست کنتور و B حجم آب عبوری از کنتور مشترک طی فرآیند تست می باشد.

نتایج و بحث

دقت کنتورها

در این تحقیق، به منظور تعیین حجم آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتورهای مشترکین خانگی، ۱۰۰۷ کنتور مشترکین خانگی روستاهای شهرستان بیرجند با روش نمونه گیری تصادفی سیستماتیک انتخاب شدند. نتایج تست دقت کنتورهای انتخاب شده، در جدول ۳ ارائه شده است.

براســاس آمار جدول ۳، از بین ۱۰۰۷ کنتور تســت شــده، ۷۵۹ کنتور (۷۵/۳٪) دارای خطا در محدوده مجاز (±۵٪) می‌باشـــد و ۲۴۸ کنتور (۲۴/۷٪) دارای خطای خارج محدوده مجاز بوده و بایستی تعویض گردند. از بین کنتورهای با خطای بیشـــتر از محدود مجاز، ۱۹۶ کنتور (۱۹/۵٪) دارای خطای مثبت بوده یعنی کنتور مشـــترک حجم آب واقعی عبوری را کمتر ثبت می‌کند و ۵۲ کنتور (۵/۲٪) دارای خطای منفی بوده و کنتور مشـترک حجم آب واقعی عبوری را بیشـتر ثبت می‌کند.

جدول (۳): دقت کنتورهای نمونه آماری

نام محدوده	بازه درصد خطا	تعداد کنتور تست شده	درصد از کل	تعداد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز	درصد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز
محدوده غیر مجاز	$۵ < X$	۱۹۶	۱۹/۵	۱۹۶	۱۹/۵
محدوده مجاز	$۰ < X \leq ۵$	۵۵۶	۵۵/۲		
محدوده مجاز (بدون خطا)	$X = ۰$	۴۵	۴/۵	۷۵۹	۷۵/۳
محدوده مجاز	$-۵ \leq X < ۰$	۱۵۸	۱۵/۶		
محدوده غیر مجاز	$X < -۵$	۵۲	۵/۲	۵۲	۵/۲

با توجه به اینکه با گذشـــت زمان به دلیل فرســـایش، خوردگی، ورود مواد معلق و رســـوبات در کنتور و تغییرات درجه حرارت از دقت کنتورها آنها کاسته می شود، لذا یکی از اهداف این تحقیق برر سی تاثیر عمر کنتور در دقت می‌با شد.

لذا در این تحقیق بر اســـاس عمر کنتور، نمونه آماری را به شش طبقـــه ۳-۱ سال، ۶-۴ سال، ۹-۷ سال، ۱۲-۱۰ سال، ۱۵-۱۳ ســال و ۱۸-۱۶ ســال تقســیم گردیده و تاثیر افزایش عمر کنتور بر میزان خطای کنتور مورد برر سی قرار گرفت که نتایج در جداول ۴ الی ۹ ارائه شده است.

مطابق جدول ۴، از بین ۲۶۹ کنتور تســت شــده دارای عمر ۱ تا ۳ سال، ۲۲۱ کنتور (۸۲/۲٪) دارای خطا در محدوده مجاز (۵٪±) می باشـــد و ۴۸ کنتور (۱۷/۸٪) دارای خطای بیشــتر از محدوده مجاز بوده و بایســتی تعویض گردند. از بین کنتور های با خ طای بیشـــتر از م حدود م جاز، ۴۲ کنتور (۱۵/۶٪) دارای خطای مثبت بوده یعنی کنتور م شترک حجم آب واقعی عبوری را کمتر ثبت می‌ک ند و ۶ کنتور (۲/۲٪) دارای خطای منفی بوده و کنتور مشـــترک حجم آب واقعی عبوری را بیشتر ثبت می‌کند. براساس نتایج تست کنتورهای ۴ تا ۶ ســـال در جدول ۵، ۱۶۷ کنتور (۸۷٪/۹) دارای خطای در م حدوده م جاز بوده و ۲۳ کنتور (۱۲/۱٪) دارای خ طای بیشـــتر از محدوده مجاز می‌باشـــند که از بین آنها ۱۸ کنتور (۹/۵٪) دارای خطای مثبت بوده یعنی کنتور مشـــترک حجم آب واقعی عبوری را کمتر ثبت می‌ک ند و ۵ کنتور (۲/۶٪) دارای خطای منفی بوده و کنتور حجم واقعی را بیشـــتر ثبت می کند.

جدول (۴): دقت کنتورهای با عمر ۱ تا ۳ سال

نام محدوده	بازه درصد خطا	تعداد کنتور تست شده	درصد از کل	تعداد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز	درصد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز
محدوده غیر مجاز	$X > ۵$	۴۲	۱۵/۶	۴۲	۱۵/۶
محدوده مجاز	$۰< X \leq ۵$	۱۸۲	۶۷/۷		
محدوده مجاز (بدون خطا)	$X = ۰$	۵	۱/۹	۲۲۱	۸۲/۲
محدوده مجاز	$-۵ \leq X < ۰$	۳۴	۱۲/۶		
محدوده غیر مجاز	$X < -۵$	۶	۲/۲	۶	۲/۲

جدول (۵): دقت کنتورهای با عمر ۴ تا ۶ سال

نام محدوده	بازه درصد خطا	تعداد کنتور تست شده	درصد از کل	تعداد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز	درصد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز
محدوده غیر مجاز	$X > ۵$	۱۸	۹/۵	۱۸	۹/۵
محدوده مجاز	$۰< X \leq ۵$	۱۳۵	۷۱/۱		
محدوده مجاز (بدون خطا)	$X = ۰$	۳	۱/۶	۱۶۷	۸۷/۹
محدوده مجاز	$-۵ \leq X < ۰$	۲۹	۱۵/۳		
محدوده غیر مجاز	$X < -۵$	۵	۲/۶	۵	۲/۶

جدول (۶): دقت کنتورهای با عمر ۷ تا ۹ سال

نام محدوده	بازه درصد خطا	تعداد کنتور تست شده	درصد از کل	تعداد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز	درصد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز
محدوده غیر مجاز	$X > ۵$	۳۷	۲۱/۱	۳۷	۲۱/۱
محدوده مجاز	$۰ < X \leq ۵$	۹۳	۵۳/۱		
محدوده مجاز (بدون خطا)	$X = ۰$	۹	۵/۱	۱۳۰	۷۴/۳
محدوده مجاز	$-۵ \leq X < ۰$	۲۸	۱۶		
محدوده غیر مجاز	$X < -۵$	۸	۴/۶	۸	۴/۶

جدول (۷): دقت کنتورهای با عمر ۱۰ تا ۱۲ سال

نام محدوده	بازه درصد خطا	تعداد کنتور تست شده	درصد از کل	تعداد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز	درصد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز
محدوده غیر مجاز	$X > ۵$	۴۶	۴۳	۴۶	۴۳
محدوده مجاز	$۰ < X \leq ۵$	۴۲	۳۹/۳		
محدوده مجاز (بدون خطا)	$X = ۰$	۹	۸/۴	۵۸	۵۴/۲
محدوده مجاز	$-۵ \leq X < ۰$	۷	۶/۵		
محدوده غیر مجاز	$X < -۵$	۳	۲/۸	۳	۲/۸

جدول (۸): دقت کنتورهای با عمر ۱۳ تا ۱۵ سال

نام محدوده	بازه درصد خطا	تعداد کنتور تست شده	درصد از کل	تعداد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز	درصد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز
محدوده غیر مجاز	$X > ۵$	۱۴	۱۸/۶	۱۴	۱۸/۶
محدوده مجاز	$۰ < X \leq ۵$	۳۰	۴۰		
محدوده مجاز (بدون خطا)	$X = ۰$	۲	۲/۷	۵۶	۷۴/۷
محدوده مجاز	$-۵ \leq X < ۰$	۲۴	۳۲		
محدوده غیر مجاز	$X < -۵$	۵	۶/۷	۵	۶/۷

جدول (۹): دقت کنتورهای با عمر ۱۶ تا ۱۸ سال

نام محدوده	بازه درصد خطا	تعداد کنتور تست شده	درصد از کل	تعداد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز	درصد کنتورهای محدوده مجاز و غیرمجاز
محدوده غیر مجاز	$X > ۵$	۳۹	۲۰/۴	۳۹	۲۰/۴
محدوده مجاز	$۰ < X \leq ۵$	۷۴	۳۸/۷		
محدوده مجاز (بدون خطا)	$X = ۰$	۱۷	۸/۹	۱۲۷	۶۶/۵
محدوده مجاز	$-۵ \leq X < ۰$	۳۶	۱۸/۸		
محدوده غیر مجاز	$X < -۵$	۲۵	۱۳/۱	۲۵	۱۳/۱

ضریب تصحیح کنتورها

ضریب تصحیح کنتور نسبت حجم واقعی آب عبوری از کنتور به حجم آب عبوری از کنتور است. بعبارتی، ضریب تصحیح عددی است که در صورت ضرب در اختلاف رقم ثبت شده قرائت قبلی و فعلی، میزان مصرف واقعی مشترک را نشان می دهد. جهت محاسبه ضریب تصحیح کنتور می توان از رابطه ۳ استفاده نمود.

$$\text{ضریب تصحیح کنتور} = \frac{\text{حجم واقعی آب عبوری از کنتور}}{\text{حجم آب عبوری از کنتور}} \quad (۳)$$

کنتورهای داری ضریب تصحیح بزرگتر از یک، کنتورهایی بوده که میزان مصرف ثبت شده در کنتور کمتر از میزان واقعی است. بعبارتی دیگر کنتورهای مزبور دارای تلفات غیرفیزیکی است و از این طریق زیان به شرکتهای آب و فاضلاب وارد می‌نمایند. همچنین کنتورهای دارای ضریب تصحیح کوچکتر از یک، کنتورهایی بوده که میزان جریان ثبت شده در کنتور بیشتر از میزان واقعی بوده است. بعبارتی دیگر، در این حالت میزان مصرف مشترک بیشتراز مقدار واقعی ثبت گردیده و از اینرو اجحافی به مشترکین صورت گرفته است.

کنتورهای داری ضریب تصحیح برابر یک، کنتورهایی بوده که میزان جریان عبوری از کنتور برابر میزان واقعی بوده است، به عبارتی دیگر این کنتورها کاملاً سالم هستند. و نیز کنتورهای دارای ضریب تصحیح بی نهایت، کنتورهایی بوده که هیچ جریانی را ثبت نمی‌کنند، به عبارت دیگر این کنتورها کاملاً خراب بودند.

در این تحقیق با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ ضرایب تصحیح ۱۰۰۷ کنتور تست شده برآورد شده و نتایج در جدول ۱۰ آورده شده است. براساس آمار جدول ۱۰، از ۱۰۰۷ کنتور تست شده، ۷۵۲ کنتور (۷۴/۷٪) دارای ضریب تصحیح بیشتر از یک بوده و کنتورها رقم کمتر از مقدار واقعی مصرف را نشان داده و شرکت آب و فاضلاب روستایی درآمد کمتری کسب می نماید. همچنین ۲۰۹ کنتور (۲۰/۸٪) دارای ضریب تصحیح کمتر از یک بوده و کنتورها رقم بیشتر از مقدار واقعی مصرف را نشان داده و در حق مشترکین آب بابت پرداخت هزینه آب بهاء اضافی، احجاف می گردد. تنها ۴۶ کنتور (۴/۵٪) از بین ۱۰۰۷ کنتور تست شده دارای ضریب تصحیح یک بوده و به عبارتی کاملاً سالم بودند.

جدول (۱۰): ضریب تصحیح کنتورهای تست شده

نام محدوده	تعداد کنتور محدوده	درصد کنتور محدوده از کل
ضریب تصحیح بزرگتر از یک	۷۵۲	۷۴/۷
ضریب تصحیح مساوی یک	۴۶	۴/۵
ضریب تصحیح کوچکتر از یک	۲۰۹	۲۰/۸

همچنین ضرایب تصحیح کنتور برای هرکدام از طبقات عمر کنتور محاسبه گردید که نتایج در جداول ۱۱ الی ۱۶ ارئه شده است. ضریب تصحیح کنتور محاسبه شده برای ۲۶۹ کنتور با عمر ۱ تا ۳ سال، ۲۲۴ کنتور (۸۳/۲۸٪) این طبقه دارای ضریب تصحیح بزرگتر از یک بوده و کنتور مشترک رقم کمتری از مصرف واقعی را نشان می دهد. و ۴۰ کنتور (۱۴/۸۷٪) دارای ضریب تصحیح کوچکتر از یک بوده و کنتور مشترک رقم بیشتری نسبت به مصرف واقعی مشترک نشان می داد و ۵ کنتور معادل ۱/۸۶٪ دارای ضریب تصحیح یک بوده و کنتور کاملاً سالم بودند.

همچنین مطابق جدول ۱۲، ضریب تصحیح ۱۵۳ کنتور (۸۰/۵٪) طبقه ۴ تا ۶ سال دارای ضریب تصحیح بزرگتر از یک بود. ۳۴ کنتور (۱۷/۹٪) دارای ضریب تصحیح کوچکتر از یک بوده و ۳ کنتور معادل ۱/۶٪ دارای ضریب تصحیح یک بوده و کنتور کاملاً سالم بودند.

جدول (۱۱): ضریب تصحیح کنتورهای با عمر ۱ تا ۳ سال

نام محدوده	تعداد کنتور محدوده	درصد کنتور محدوده از کل
ضریب تصحیح بزرگتر از یک	۲۲۴	۸۳/۳
ضریب تصحیح مساوی یک	۵	۱/۸
ضریب تصحیح کوچکتر از یک	۴۰	۱۴/۹

جدول (۱۲): ضریب تصحیح کنتورهای با عمر ۴ تا ۶ سال

نام محدوده	تعداد کنتور محدوده	درصد کنتور محدوده از کل
ضریب تصحیح بزرگتر از یک	۱۳۵	۸۰/۵
ضریب تصحیح مساوی یک	۳	۱/۶
ضریب تصحیح کوچکتر از یک	۳۴	۱۷/۹

جدول (۱۳): ضریب تصحیح کنتورهای با عمر ۷ تا ۹ سال

نام محدوده	تعداد کنتور محدوده	درصد کنتور محدوده از کل
ضریب تصحیح بزرگتر از یک	۱۳۱	۷۴/۹
ضریب تصحیح مساوی یک	۹	۵/۱
ضریب تصحیح کوچکتر از یک	۳۵	۲۰

جدول (۱۴): ضریب تصحیح کنتورهای با عمر ۱۰ تا ۱۲ سال

نام محدوده	تعداد کنتور محدوده	درصد کنتور محدوده از کل
ضریب تصحیح بزرگتر از یک	۸۸	۸۲/۲
ضریب تصحیح مساوی یک	۹	۸/۴
ضریب تصحیح کوچکتر از یک	۱۰	۹/۴

جدول (۱۵): ضریب تصحیح کنتورهای با عمر ۱۳ تا ۱۵ سال

نام محدوده	تعداد کنتور محدوده	درصد کنتور محدوده از کل
ضریب تصحیح بزرگتر از یک	۴۴	۵۸/۷
ضریب تصحیح مساوی یک	۲	۲/۷
ضریب تصحیح کوچکتر از یک	۲۹	۳۸/۶

جدول (۱۶: ضریب تصحیح کنتورهای با عمر ۱۶ تا ۱۸ سال

نام محدوده	تعداد کنتور محدوده	درصد کنتور محدوده از کل
ضریب تصحیح بزرگتر از یک	۱۱۳	۵۹/۲
ضریب تصحیح مساوی یک	۱۷	۸/۹
ضریب تصحیح کوچکتر از یک	۶۱	۳۱/۹

مصرف واقعی مشترکین

پس از تست کنتورهای نمونه آماری و محاسبه مقدار ضریب تصحیح کنتورها، برای تحلیل تاثیر خطای کنتور مشترکین در میزان مصرف مشترکین و محاسبه مصرف واقعی، مصارف مشترکین نمونه آماری طی ۶ دوره قرائت سال ۱۳۹۶ از بانک اطلاعات اداره خدمات مشترکین و درآمد شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی اخذ گردید. با اعمال ضریب تصحیح کنتورها در میزان مصرف سالانه، مقدار مصرف واقعی مشترکین مشخص گردید. مصارف مشترکین نمونه آماری قبل و بعد از اعمال ضریب تصحیح کنتور به تفکیک ۶ دوره قرائت کنتور سال ۱۳۹۶ در جدول ۱۷ ارائه شده است. مطابق جدول ۱۷، مصارف مشترکین بعد از اعمال ضریب تصحیح ۴/۷ درصد افزایش یافت. بیشترین افزایش در مصارف با ۵/۷ درصد مربوط به دوره ششم سال (بهمن و اسفند) و کمترین افزایش با ۴/۰۶ در صد مربوط به دوره اول سال (فروردین و اردیبهشت) بوده است. پس از محاسبه میزان مصارف مشترکین در هر دوره قبل و بعد از اعمال ضریب تصحیح کنتورهای تست شده، میزان متوسط وزنی ضریب تصحیح هر دوره برآورد شد که دوره شش سال با ضریب ۱/۰۶ دارای بیشترین ضریب اصلاح کنتور بود. همچنین متوسط وزنی ضریب اصلاح کنتور مشترکین نمونه آماری ۱/۰۴۹ بدست آمد.

جدول (۱۷): تغییرات میزان مصرف مشترکین قبل و بعد از اعمال ضریب تصحیح کنتور

دوره قرائت	مصرف قبل از اعمال ضریب تصحیح (مترمکعب)	مصرف بعد از اعمال ضریب تصحیح (مترمکعب)	افزایش مصرف		متوسط وزنی ضریب تصحیح
			حجم (مترمکعب)	درصد	
دوره ۱ (فروردین و اردیبهشت)	۲۴۸۰۰	۲۵۸۴۹	۱۰۴۹	۴/۰۶	۱/۰۴۲
دوره ۲ (خرداد و تیر)	۳۸۱۹۷	۳۹۸۳۶	۱۶۳۹	۴/۱۱	۱/۰۴۳
دوره ۳ (مرداد و شهریور)	۲۸۱۹۶	۲۹۶۸۱	۱۴۸۵	۵	۱/۰۵۳
دوره ۴ (مهر و آبان)	۲۱۹۶۲	۲۳۰۸۱	۱۱۱۹	۴/۸۵	۱/۰۵۱
دوره ۵ (آذر و دی)	۱۹۰۸۱	۲۰۱۱۱	۱۰۳۰	۵/۱۲	۱/۰۵۴
دوره ۶ (بهمن و اسفند)	۱۷۹۶۴	۱۹۰۵۰	۱۰۸۶	۵/۷	۱/۰۶۰
کل سال	۱۵۰۲۰۰	۱۵۷۶۰۸	۷۴۰۸	۴/۷	۱/۰۴۹

درآمد واقعی فروش آب

با توجه به نتایج تست دقت کنتورها و اعمال ضرایب تصحیح کنتورها در مصارف سال ۱۳۹۶ مشترکین، هزینه آب بهاء هر مشترک مجدد محاسبه شد. برآورد هزینه آب بها مصرفی مشترکین در ماه های مختلف سال با توجه به مصوبه وزیر نیرو در خصوص تعرفه های آب و خدمات دفع فاضلاب شهری و روستایی و شرایط عمومی آنها صورت گرفته است. میزان درآمد شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی از محل فروش آب به مشترکینی که در این تحقیق کنتور آنها تست گردید طی شش دوره سال ۱۳۹۶، قبل و بعد از اعمال ضریب تصحیح در جدول ۱۸ ارائه شده است. مطابق جدول ۱۸، میزان درآمد این شرکت در سال ۱۳۹۶، قبل از اعمال ضریب تصحیح کنتور مشترکین مورد مطالعه، برابر ۹۰۹,۳۴۱,۸۳۹ ریال می باشد که با اعمال ضریب تصحیح مقدار درآمد به ۱,۰۹۴,۱۶۶,۸۳۹ ریال افزایش پیدا می کند. لذا می توان گفت که افزایش ۴/۷ درصدی در مقدار آب مصرفی در صورت اعمال ضریب تصحیح کنتورها، باعث

افزایش ۱۶/۸۹ در صدی در میزان درآمد این شرکت در محل فروش آب به مشترکین مورد مطالعه در سال ۱۳۹۶ می شود.

جدول (۱۸): درآمد فروش آب قبل و بعد از اعمال ضریب تصحیح کنتور به تفکیک دوره در سال ۱۳۹۶

دوره قرائت	درآمد قبل از اعمال ضریب تصحیح (ریال)	درآمد بعد از اعمال ضریب تصحیح (ریال)	افزایش درآمد (ریال)	افزایش درآمد (درصد)
دوره ۱	۱۱۹,۵۸۰,۶۹۲	۱۳۹,۵۹۸,۰۶۶	۲۰,۰۱۷,۳۷۴	۱۴/۳۴
دوره ۲	۳۹۵,۴۵۴,۸۳۰	۴۴۷,۶۳۳,۵۲۷	۵۲,۱۷۸,۶۹۷	۱۱/۶۶
دوره ۳	۱۸۲,۳۶۰,۷۵۳	۲۲۸,۳۷۷,۲۰۹	۴۶,۰۱۶,۴۵۷	۲۰/۱۵
دوره ۴	۸۵,۱۷۸,۷۲۱	۱۰۸,۳۸۴,۴۶۵	۲۳,۲۰۵,۷۴۴	۲۱/۴۱
دوره ۵	۶۹,۴۲۲,۳۴۱	۸۹,۹۸۳,۲۹۶	۲۰,۵۶۰,۹۵۶	۲۲/۸۵
دوره ۶	۵۷,۳۴۴,۵۰۳	۸۰,۱۹۰,۲۷۵	۲۲,۸۴۵,۷۲۲	۲۸/۴۹
کل سال	۹۰۹,۳۴۱,۸۳۹	۱,۰۹۴,۱۶۶,۸۳۹	۱۸۴,۸۲۵,۰۰۰	۱۶/۸۹

آب بدون درآمد ناشی از خطای کنتور مشترکین

برای محا سبه حجم آب بدون درآمد نا شی از عدم دقت کنتورهای مشترکین می توان از رابطه ۴ استفاده نمود.

$$Q_{NRW}= Q_m \times (C_T - 1) \quad (۴)$$

که در آن Q_{NRW} حجم آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتورها برحسب مترمکعب در سال و Q_m حجم مصارف مجاز با درآمد مشترکین بر حسب مترمکعب در سال و C_T متوسط ضریب تصحیح کنتورها است. با توجه اطلاعات بالانسینگ آب شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۶، حجم مصارف مجاز با درآمد مشترکین آب روستاهای استان ۱۶۸۱۶۶۲۱ مترمکعب برآورد گردیده است. لذا با درنظر گرفتن ضریب تصحیح ۱/۰۴۹ برای کنتور مشترکین، حجم آب بدون درآمد نا شی از عدم دقت کنتور مشترکین در سال فوق ۸۲۴۰۱۴ مترمکعب می باشد. به عبارتی با توجه به حجم آب تولیدی این شرکت در سال ۱۳۹۶، سهم آب بدون درآمد نا شی از عدم دقت کنتور مشترکین ۲/۹۷ درصد حجم آب تولیدی در سال و ۴/۹ درصد حجم مصارف مجاز با درآمد این شرکت در سال می باشد.

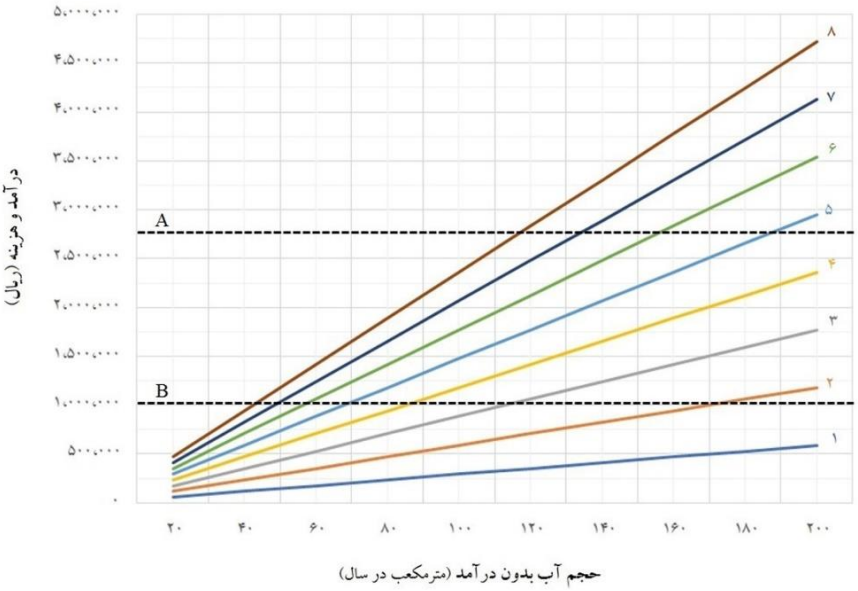
تحلیل اقتصادی تعویض کنتور

تعویض کنتورهای خراب و فرسوده، یکی از برنامه های سالانه شرکت های آب و فاضلاب برای کاهش هدرفت ظاهری و افزایش درآمد است. با توجه به اعمال تحریم‌ها و افزایش نرخ ارز در سال جاری، هزینه خرید و تعویض هر کنتور آب خانگی دارای افزایش چشمگیری داشته است، بطوریکه در سال ۱۳۹۶ هزینه خرید و تعویض هر کنتور خانگی با سایز $1/2$ حدود ۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال بوده ولی در سال ۱۳۹۷ این هزینه به ۲,۷۵۰,۰۰۰ ریال رسیده است. لذا بایستی شرکتهای آب و فا ضلاب با و سواس بیشتر نسبت به تعویض کنتور آب اقدام نمایند تا علاوه بر افزایش درآمد، هزینه خرید کنتور در کمترین سال ممکن برگشت نماید.

با توجه متوسط قیمت فروش ۲۹۵۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب در کاربری خانگی برای شرکت آب و فاضلاب رو ستایی خرا سان جنوبی، شکل ۲ بر ا ساس هزینه خرید و تعویض هر کنتور خانگی با سایز $1/2$ و درآمد حاصل از جایگزینی کنتورهای جدید (کاهش حجم آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتور) برای ۸ سال متوالی بدست آمده است. در شکل فوق محور افقی حجم آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتور بر حسب مترمکعب در سال و محور عمودی هزینه خرید و تعویض کنتور و درآمد حاصل از تبدیل حجم آب بدون درآمد به آب با درآمد بعد از تعویض کنتور است. همچنین در شکل فوق، منحنی‌ها با شماره ۱ تا ۸ بیانگر درآمد حا صل از تعویض کنتور از سال اول تا ه شتم با فرض

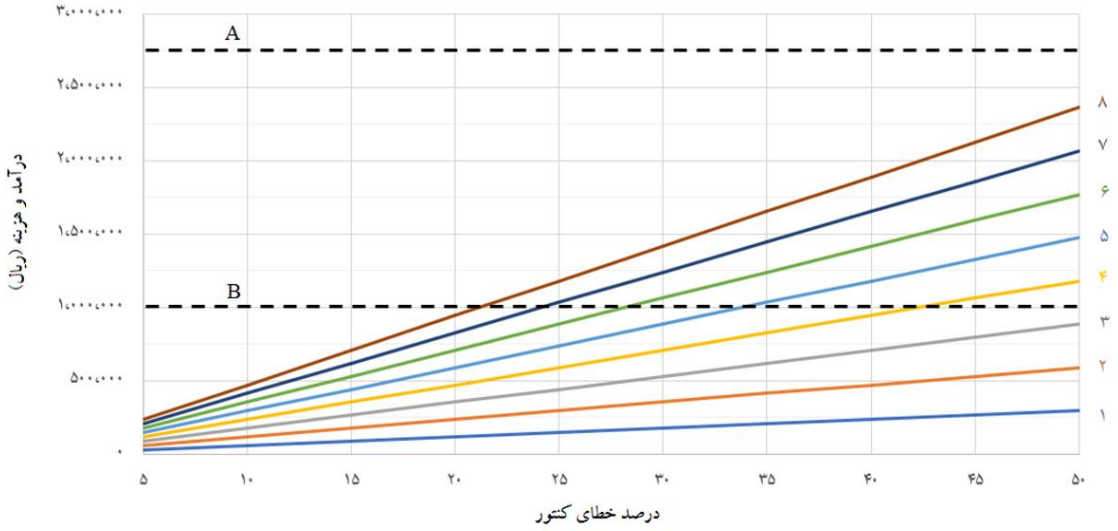
قیمت فروش ثابت و خط A هزینه خرید و تعویض هر کنتور خانگی سایز ۱/۲ بعد از افزایش نرخ ارز در سال ۱۳۹۷ و خط B هزینه خرید و تعویض هر کنتور خانگی سایز $\frac{1}{2}$ در سال ۱۳۹۶ قبل از اعمال تحریم ها است.

مطابق شکل ۲، در سال ۱۳۹۶ با تعویض کنتوری که حجم آب درآمد ناشی از عدم دقت آن ۱۲۰ مترمکعب در سال بوده، بعد از ۳ سال هزینه خرید و تعویض کنتور به شرکت برگشت می کرد، اما در صورتیکه همین کنتور در سال ۱۳۹۷ تعویض شود، هزینه خرید و تعویض آن بعد از ۸ سال برگشت می کند.

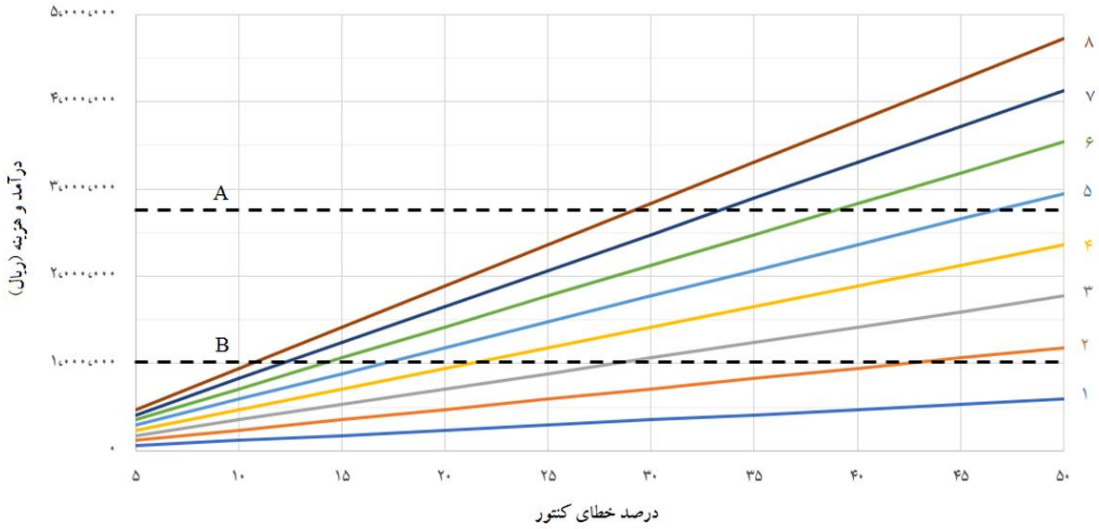


شکل(۲): هزینه تعویض کنتور و درآمد حاصل طی ۸ سال متوالی براساس قیمت فروش هر مترمکعب آب خانگی

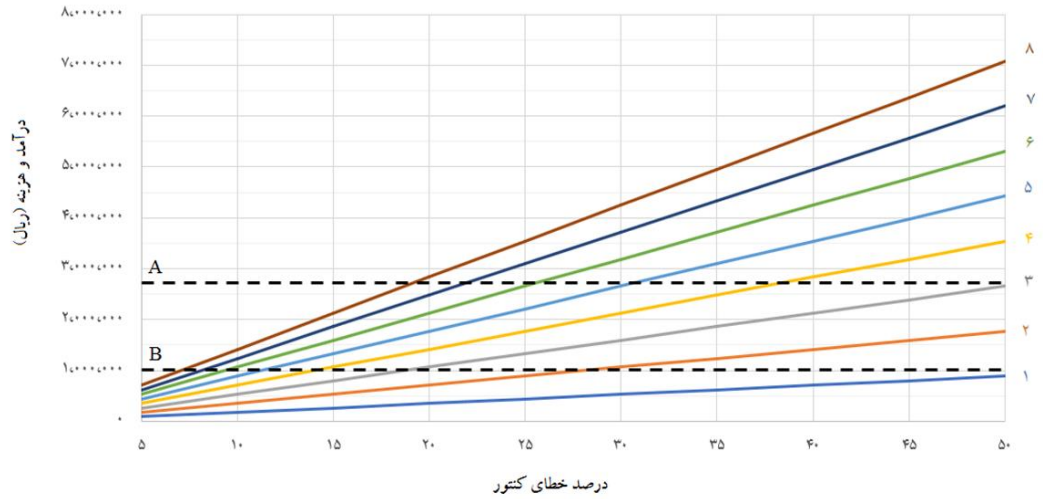
امروزه با دلیل افزایش نرخ ارز، شرکت های آب و فاضلاب برای تهیه و تعویض کنتورهای خراب هزینه بالایی محتمل می شوند، لذا باید کنتورهای برای تعویض انتخاب شوند که علاوه بر کاهش بیشتر حجم آب بدون درآمد، هزینه تهیه و تعویض کنتور سریعتر بدست آید. برای تعویض بایستی کنتورهای انتخاب شوند که علاوه بر بالا بودن درصد خطا، میزان مصرف سالانه بالایی داشته باشند. برای درک بهتر این موضوع تفاوت برگشت سرمایه برنامه تعویض کنتور ۳ مشترک با میزان مصرف ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ مترمکعب در سال به ازای درصد خطای یکسان به ترتیب در اشکال ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. مطابق اشکال فوق بطور مثال اگر کنتور مشترکی دارای ۳۰٪ خطا باشد، در صورتیکه میزان مصرف سالانه آن مشترک ۲۰۰ مترمکعب باشد، هزینه تهیه و تعویض کنتور بعد از ۸ سال هم برگشت نخواهد کرد، اما اگر میزان مصرف همین مشترک در سال ۴۰۰ و ۶۰۰ مترمکعب باشد، هزینه تهیه و تعویض کنتور مشترک به ترتیب بعد از ۸ و ۵ سال برگشت خواهد کرد، لذا بررسی میزان مصرف سالانه مشترک یک فاکتور مهم برای انتخاب کنتور جهت تعویض است.



شکل(۳:هزینه تعویض کنتور و درآمد حاصل طی ۸ سال متوالی برای مشترک با مصرف ۲۰۰ مترمکعب در سال



شکل (۴): هزینه تعویض کنتور و درآمد حاصل طی ۸ سال متوالی برای مشترک با مصرف ۴۰۰ مترمکعب در سال



شکل(۵): هزینه تعویض کنتور و درآمد حاصل طی ۸ سال متوالی برای مشترک با مصرف ۶۰۰ مترمکعب در سال

نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور بررسی میزان آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتور مشترکین آب، با روش نمونه گیری تصادفی سیستماتیک از بین ۲۰۱۴۰ مشترک آب روستاهای شهرستان بیرجند، ۱۰۰۷ مشترک جهت تست کنتور آب انتخاب شدند. که جمع بندی نتایج این تحقیق به شرح ذیل بیان می شود.

- براساس نتایج تست دقت ۱۰۰۷ کنتور انتخاب شده، ۷۵۹ کنتور (۷۵/۳٪) دارای خطا در محدوده مجاز (±۵٪) بود و ۲۴۸ کنتور (۲۴/۷٪) دارای خطای خارج محدوده مجاز بوده و بایستی تعویض شوند. از بین کنتورهای با خطای بیشتر از محدود مجاز، ۱۹۶ کنتور (۱۹/۵٪) دارای خطای مثبت بوده یعنی کنتور مشترک حجم آب واقعی عبوری را کمتر ثبت می‌کند و ۵۲ کنتور (۵/۲٪) دارای خطای منفی بوده و کنتور مشترک حجم آب واقعی عبوری را بیشتر ثبت می‌کند.
- در این تحقیق با درنظر گرفتن پارامتر سن، کنتورهای انتخاب شده به شش طبقه با عمر کنتور ۳-۱ سال، ۶-۴ سال، ۹-۷ سال، ۱۲-۱۰ سال، ۱۵-۱۳ سال و ۱۸-۱۶ سال تقسیم بندی شدند. نتایج تست نشان داد که با افزایش عمر کنتور، عمدتاً از دقت کنتورها کاسته می شود به این صورت که در طبقه کنتورهای با عمر کمتر از ۳ سال، ۸۲/۲ درصد کنتورها دارای خطای در محدود مجاز بوده ولی برای کنتورهای با عمر ۱۵ تا ۱۸ سال فقط ۶۶/۵ درصد دارای خطای در محدوده مجاز بود ند. همچنین با افزایش عمر کنتور، میزان خطای منفی کنتورها افزایش داشته و کنتور مشترک حجم آب واقعی عبوری را بیشتر ثبت می‌کند.
- در این تحقیق با توجه به نتایج تست و ضریب تصحیح محاسبه شده برای هر کنتور مشخص شد که از بین ۱۰۰۷ کنتورهای تست شده، ۷۵۲ کنتور (۷۴/۷٪) دارای ضریب تصحیح بیشتر از یک بوده و کنتورها رقم کمتر از مقدار واقعی مصرف را نشان داده و شرکت آب و فاضلاب روستایی درآمد کمتری کسب می کنند. ۲۰۹ کنتور (۲۰/۸٪) دارای ضریب تصحیح کمتر از یک بوده و کنتورها رقم بیشتر از مقدار واقعی مصرف را نشان داده و در حق مشترکین آب بابت پرداخت هزینه آب بهاء اضافی، احجاف می‌شود و تنها ۴۶ کنتور (۴/۵٪) از بین ۱۰۰۷ کنتور تست شده دارای ضریب تصحیح یک بوده و به عبارتی کاملاً سالم بودند.
- با اعمال ضریب تصحیح کنتورهای تست شده در میزان مصرف مشترکین در سال ۱۳۹۶، مشخص شد که میزان مصرف مشترکین در سال فوق بعد از اعمال ضریب تصحیح از ۱۵۰۲۰۰ مترمکعب در سال به ۱۵۷۶۰۸ مترمکعب در سال افزایش پیدا کرده و با محاسبه مجدد آبهاء آب مصرفی بعد از اعمال ضریب تصحیح، درآمد این شرکت از ۹۰۹,۳۴۱,۸۳۹ ریال به ۱,۰۹۴,۱۶۶,۸۳۹ ریال افزایش پیدا می‌کند. لذا

می‌توان گفت که افزایش ۴/۷ درصدی در مقدار آب مصرفی در صورت اعمال ضریب تصحیح کنتورها، باعث افزایش ۱۶/۸۹ درصدی در میزان درآمد این شرکت از محل فروش آب به مشترکین مورد مطالعه در سال ۱۳۹۶ می شود. همچنین با اعمال ضریب تصحیح در مصارف سال ۱۳۹۶، متوسط وزنی ضریب تصحیح کنتورها ۱/۰۴۹ بدست آمد.

- با توجه اطلاعات بالانسینگ آب شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۶، با درنظر گرفتن ضریب تصحیح ۱/۰۴۹ برای کنتور مشترکین، حجم آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتور مشترکین در سال فوق ۸۲۴۰۱۴ مترمکعب است. به عبارتی سهم آب بدون درآمد ناشی از عدم دقت کنتور مشترکین ۲/۹۷ درصد حجم آب تولیدی در سال و ۴/۹ درصد حجم مصارف مجاز با درآمد این شرکت در سال است.

منابع

ازلی،ش. ۱۳۸۸. تاثیر تعویض کنتورها مشترکین بر آب بدون درآمد (مطالعه موردی دو شهر فریدونشهر و نایین). سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف. دانشگاه صنعت آب و برق. تهران.

اکرام نیا،ع.ر و علیخاصی،م. ۱۳۹۰. ارزیابی دقت کنتورهای خانگی و تاثیر آن در مقدار مصرف واقعی آب مشترکین مسکونی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.

پوراسحاق،م.، مبینی،ع.ا و پوراسحاق،م. ۱۳۹۶. ارزیابی دقت کنتورهای آب خانگی و تاثیر آن در میزان آب بدون درآمد ۱۳ شهر تابعه شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی. اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

پیش یار،م. ۱۳۹۶. مطالعه موردی میزان صحت عملکرد کنتورهای آب مشترکین شهر سبزوار. اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

خادمی فر، س.ع.ر.، طیبه،ا و پهلوان زاده،ح. ۱۳۸۸. بررسی اقتصادی تعویض کنتورهای خطادار (اجزای هدررفت ظاهری). سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف. دانشگاه صنعت آب و برق. تهران.

دلاوری،ب.، سا سانی،ع و کشاورز،س. ۱۳۹۶. بررسی نقش تعویض کنتورهای فر سوده کم کار بر کاهش آب بدون درآمد (مطالعه موردی: بندر گناوه). اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

سبحانی فرد،ی. ۱۳۹۷. تحلیل آماری پیشرفته. انتشارات دانشگاه امام جعفر صادق (ع). ویرایش دوم.

شمسیان،م.ر.، شاه منصوریان،ا.، باقری،ا و لشکری،ا. ۱۳۸۷. مطالعه موردی تاثیر تعویض کنتورهای با عمر بالای ۱۰ سال و دستاوردهای حاصل از آن در جامعه نمونه (شهر آرادان). دومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف. دانشگاه صنعت آب و برق. تهران.

طاهری،ص. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر کنتورهای آب کلاس C بر کاهش آب بدون درآمد. همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب. مشهد.

لشکری،ا و لطفعلیان،ر. ۱۳۸۸. مطالعه و بررسی خطای اندازه گیری کنتورها در حسابرسی آب (درجامعه نمونه: شهرهای سمنان، شاهرود، گرمسار، دامغان). سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف. دانشگاه صنعت آب و برق. تهران.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و وزارت نیرو. ۱۳۹۱. راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن (نشریه شماره ۵۵۶). تهران.

Arregui,F.J., Cabrera,E., Cobacho,R and Espert,V. 2011. A graphical method to calculate the optimum replacement period of water meters. Journal of Water Resources Planning and Management. 137(1):143-146.

Arregui,F.J., Soriano,J., Cabrera,E and Cobacho,R. 2012. Nine steps towards a better water meter management. Journal of Water Science and Technology. 65(7):1273-1280.

Fontanazza,C.M., Notaro,V., Puleo,V and Freni,G. 2015. The apparent losses due to metering errors: A proactive approach to predict losses and schedule maintenance. Journal of Urban Water. 12(3):229-239.

Francisco,J.A., Francesc,J.G., Javier,S and Laura,P.J. 2018. Performance Analysis of Ageing Single-Jet Water Meters for Measuring Residential Water Consumption. Journal of Water. 10(5),612:1-18.

Mbabazi,D., Banadda,N., Kiggundu,N., Mutikanga,H and Babu,M. 2015. Determination of domestic water meter accuracy degradation rates in Uganda. Journal of Water Supply: Research and Technology. 64(4) :486-492.

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.

Economic Study and Analysis of the Flowmeters Error of the Home Subscribersand its Effect on the Amount of Non-Revenue Water

Abolfazl Akbarpour[1*] , Mohsen Azizi[2]

Abstract

Checking of flow meters and increasing their accuracy will increase the efficiency of the water distribution network, optimal use of water resources and decrease the amount of Non-Revenue water. This study was carried out to identify the amount of Non-Revenue water due to the inaccuracy of the flow meters of subscribers in the villages of Birjand. In this research, a systematic random sampling method of 1007 flow meters was used. This is equivalent to 5% of household subscribers in the villages of Birjand. Taking into account the lifetime of the flow meter, the flow meters were divided into six groups of 1-3 years, 6-4 years, 9-7 years, 10-12 years, 13-15 years and 16-18 years. The results of this study showed that 75.3% of the flow meters had an error in the allowed range and 24.7% had a higher error than the permitted range, 19.5% of them had a positive error and 5.2% had a negative error. By increasing the life of the flow meter, the precision of the flow meter is reduced and the volume of the actual flow of water is mostly recorded. According to the expenditures of 1396, the average weight of the corrected coefficient of the tested meters was 1.049 and the application of this coefficient in the consumption of the year studied subscribers and the recalculation of water bills, increased by 4.7 percent of the cost and 16.98 percent of revenue It was a company. Also, with these correction coefficients in total water consumption in 1396, the total subscribers of the province, it was found that the volume of Non Revenue water due to the lack of precision of the meter consumed 2.97% of the volume of producing water and 4.9% of the volume of allowable consumption of the company's revenue.

Keywords: Accuracy of flow meter, Non-Revenue water, Birjand city

1- Associate Prof., Dept. of Civil Engineering, University of Birjand Email: akbarpour@birjand.ac.ir
2- PhD Student, Dept. of Science and Water Engineering, University of Birjand, Head of the Department of Non-Revenue Water and Consumer Management, Rural Water and Wastewater Company of South Khorasan Province.
*- Corresponding Author Email: akbarpour@birjand.ac.ir